COLOQUIO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA

JOURNAL CIM – REVISTA DIGITAL
ISSN 2007 8102
Volumen 11. Núm. 1, Octubre 2023

REVISTA PERIÓDICA



latindex
OpenAIRE

DIFUSIÓN VÍA RED DE CÓMPUTO
http://cim.orizaba.tecnm.mx/?page_id=161

EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

COLOQUIO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA
JOURNAL CIM
Science, Technology and Educational Research

VOLUMEN 11, NÚMERO 1, OCTUBRE 2023 ISSN: 2007-8102

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

Coloquio de Investigación Multidisciplinaria, Vol. 11, Núm. 1, octubre 2023, es una publicación anual, publicada y editada por el Tecnológico Nacional de México dependiente de la Secretaría de Educación Pública, a través del Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico de Orizaba, Avenida Universidad 1200 5º Piso, Colonia Xoco, Delegación Benito Juárez, C.P. 03330, Ciudad de México, Tel. + (52) 5536002500 Ext. 65064, d_vinculacion05@tecnm.mx. Editora Responsable M.C. María Antonieta Abud Figueroa. Reserva de derecho al Uso Exclusivo NO. 04-2013-093010380600-203, ISSN 2007-8102, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsable de la última actualización de este número M.C. María Antonieta Abud Figueroa, en la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México / I.T. Orizaba, Oriente 9, No. 852, Col. Emiliano Zapata, Orizaba Veracruz, México, C.P. 94320, Tel. + (52) 2721105360. Fecha de última modificación, 30 de septiembre de 2023.

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

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

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

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

Revista Indexada en LATINDEX y en OpenAire

 ISSN: 2007 8102

COLOQUIO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA
JOURNAL CIM
Science, Technology and Educational Research

VOLUMEN 11, NÚMERO 1, OCTUBRE 2023 ISSN: 2007-8102

DIRECTORIO

Dr. Ramón Jiménez López	Director General del TecNM
M.A. Maricela Gallardo Córdova	Directora del TecNM Campus Orizaba
M.C. Gabriela Cabrera Zepeda	Subdirectora Académica
Dr. Eduardo Roldán Reyes	Subdirector de Planeación y Vinculación
Dra. Guadalupe Luna Solano	Subdirectora de Servicios Administrativos

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Cuauhtémoc Sánchez Ramírez	Responsable General
Dr. Fernando Ortiz Flores	Responsable Técnico
Dr. Mauricio Romero Montoya	Responsable de Logística
Dr. Víctor Ricardo Castillo Intriago	Ingeniería Administrativa
Dra. Ma. Eloísa Gurruchaga Rodríguez	Ingeniería Industrial
Dr. Gerardo Águila Rodríguez	Ingeniería Electrónica y Eléctrica
Dr. Ignacio Herrera Aguilar	Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
M.S.C. Luis Ángel Reyes Hernández	Sistemas Computacionales
Dr. Juan Manuel Méndez Contreras	Ingeniería Química
Dr. Guillermo Alfredo Arrioja Carrera	Investigación Educativa

COORDINACIÓN EDITORIAL

M.C. María Antonieta Abud Figueroa

 ISSN: 2007 8102

COMITÉ DE ARBITRAJE
Ingeniería Administrativa

Nombre	Institución
Dra. Guillermina Pérez González	Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán
Dr. Eduardo Rafael Poblano Ojinaga	Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
Dra. Claudia Vásquez Rojas	Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico Superior de Alvarado Veracruz
Dr. Roberto González Acolt	Universidad Autónoma de Aguascalientes
Dr. Porfirio Tamayo Contreras	Universidad de Guanajuato
Dr. Guillermo Mejía Méndez	Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla
Mtro. Carlos Medina Tello	Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Zitácuaro
Dr. Joel Everardo Valtierra Olivares	Universidad de Guanajuato
Dr. Luis Emiro Belloso Araujo	Instituto de Estudios Superiores de Investigación y Postgrado (IESIP)
Dr. Noel Enrique Rodríguez Maya	Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico de Zitácuaro
Dra. Corina Guillermina Ocegueda Mercado	Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Matamoros
Dra. Gabriela Alcalde Pérez	Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Fernando Aguirre y Hernández	Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Alicia Águeda Conde Islas	Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Marcos Salazar Medina	Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Edna Araceli Romero Flores	Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Guillermo Cortés Robles	Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Mauricio Romero Montoya	Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Víctor Ricardo Castillo Intriago	Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba

COMITÉ DE ARBITRAJE
Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Nombre	Institución
Dr. José Pastor Rodríguez Jarquin	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Gerardo Aguila Rodríguez	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Severino Muñoz Aguirre	BUAP
Dr. Eduardo Mael Sánchez Coronado	U. T. C. V.
Dr. Manuel Adam Medina	Tecnológico Nacional de México / Cenidet TecNM
Dr. Oscar Osvaldo Sandoval González	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Rubén Posada Gómez	Tecnológico Nacional de México / CRODE Orizaba
Dr. José de Jesús Agustín Flores Cuautle	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Albino Martínez Sibaja	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
MIE. Luis Alberto Ibáñez Zamora	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de G. A. Madero
M.C. Jesús Medina Cervantes	Facultade de Ingeniería de la. U. V.
Dra. Nereyda Castro Gutiérrez	Facultade de Ingeniería de la U. V.
C. Dra. Blanca Estela González Sánchez	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Ignacio Herrera Aguilar	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba

ISSN: 2007 8102

COMITÉ DE ARBITRAJE

Ingeniería Industrial

Nombre	Institución
Dr Federico Walas Mateo	*Universidad Nacional Arturo Jauretche, Argentina*
Dr. Federico Walas Mateo	*Universidad Nacional Lomas de Zamora, Argentina*
Dr. Fernando Salazar Arrieta	*Universidad Escuela Naval Almirante Padilla Colombia*
M.I.I. Missael Alberto Román del Valle	*Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ, Unidad Tabasco*
M.I.I. José Carlos Hernández González	*Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ, Unidad Tabasco*
M.I.I. Erick Cervantes Mendieta	*Universidad Autónoma de Nuevo León*
M.I.I. Fernando Ortiz López	*Crown México planta Orizaba*
M.I.I. Rosa Isela Castro Salas	*Universidad Veracruzana - Facultad de Ciencias Químicas*
Dra. Karla Diaz Castellanos	*Universidad Veracruzana - Facultad de Ciencias Químicas*
Dr. Carlos Diaz Ramos	*Universidad Veracruzana - Facultad de Ciencias Químicas*
Dra. Elizabeth Díaz Castellanos	*Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey*
Dra. Lucila Tobón Galicia	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca*
M.I.I. César Argüelles López	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre*
M.I.I. Bruno Adolfo Villalobos Martínez	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez*
M.I.I. Isaac Sánchez Anastacio	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Zongolica*
M.I.I. Luis Alberto Hernández Sánchez	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán*
M.I.I. María Antonieta Rosas Trinidad	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán*
M.I.I Alejandra Cristhian Valdes Alvarez	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán*
M.I.I. Antonio Calderón Jiménez	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán*
M.I.I. Héctor Jesús Juan Santiago	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica*
Dr. José Roberto Grande Ramírez	*Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz UTCV*
Dr. José Roberto Grande Ramírez	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
Dr. Ramiro Meza Palacios	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
Dr. Jonathan Josué Cid Galliot	*Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz UTCV*
M.C. Laura Martínez Hernández	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
Dr. Carlos Díaz Ramos	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
Dra. Elizabeth Díaz Castellanos	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
Dr. Alberto Alfonso Aguilar Lasserre	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
Dr. Guillermo Cortes Robles	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
Dr. Mauricio Romero Montoya	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
Dr. Cuauhtémoc Sánchez Ramírez	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
Dr. Oscar Báez Sentíes	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
Dr. Miguel Josué Heredia Roldán	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
Dr. Fernando Ortiz Flores	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
Dr. Mario Leoncio Arrioja Rodríguez	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
M.C. Jorge Luis Hernández Mortera	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
M.C. Constantino Gerardo Moras Sánchez	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
M.C. Magno Ángel González Huerta	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
Dra. Ma. Eloísa Gurruchaga Rodríguez	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*

 ISSN: 2007 8102

COMITÉ DE ARBITRAJE
Ingeniería Mecánica y Mecatrónica

Nombre	Institución
Dr. Jorge Bedolla Hernández	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Apizaco
Dr. Juan Manuel Jacinto Villegas	Universidad Autonoma del Estado de México
Dr. José Pastor Rodríguez Jarquín	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Pablo Alberto Limón Leyva	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Sonora
Dr. Luis Felipe Marín Urias	Universidad Veracruzana
Dr. José de Jesús Agustín Flores Cuautle	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Antonio Marín Hernández	Universidad Veracruzana
Dr. Oscar Osvaldo Sandoval González	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. Enrique Alejandro Cuellar Cortés	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. Blanca Estela González Sánchez	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba

COMITÉ DE ARBITRAJE
Ingeniería Química

Nombre	Institución
Dr. Alejandro Alvarado Lassman	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Alfredo Domínguez Niño	Instituto de Energías Renovables de la UNAM
Dr. Carlos Manuel Astorga Zaragoza Dr.	CENIDET
César Antonio Ortiz Sánchez	Universidad Veracruzana/Facultad de Ciencias Químicas
Dra. Diana Ibeth Romero Mota	Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz
Dr. Eduardo Hernández Aguilar	Universidad Veracruzana/Facultad de Ciencias Químicas
Dr. Erasmo Herman y Lara	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Tuxtepec
Dr. Erik Samuel Rosas Mendoza	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. Esaú Solano Ruiz	Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz
Dr. Eusebio Bolaños Reynoso	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Gabriela Leo Avelino	Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ A.C.)
Dr. Galo Rafael Urrea García	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Gratia Deii Flores Salgado	Instituto de Ingeniería/Unidad Académica Juriquilla
Dra. Guadalupe Luna Solano	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Haydee Eliza Romero Luna	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. Joaquín Estrada García	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. José Guadalupe Vian Pérez	Universidad Politécnica de Huatusco
M.C. José Manuel Hernández Martínez	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Juan Enrique Ruiz Espinoza	Universidad Autónoma de Yucatán
Dr. Juan Manuel Méndez Contreras	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Kelvyn Baruc Sánchez Sánchez	ASPEN
Dra. Leticia López Zamora	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Luis Antonio López Escobar	Universidad Politécnica de Huatusco
Dr. Mario Alejandro Rodríguez Rivera	Centro de Investigaciones en Óptica, A.C./CONAHCYT
Dra. Nayeli Gutiérrez Casiano	Universidad Veracruzana/Facultad de Ciencias Químicas
Dra. Noemí Nava Valente	Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ A.C.)
M.I.Q. Norma Alejandra Vallejo Cantú	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Ofelia Landeta Escamilla	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. Roger Emmanuel Sales Pérez Dra.	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Rosalía Cerecero Enríquez	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. Solmaría Mandi Pérez Guzmán	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Viviana Rodríguez Rivera	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba

ISSN: 2007 8102

COMITÉ DE ARBITRAJE
Sistemas Computacionales

Nombre	Institución
Dr. René López Flores	Universidad Autónoma De Yucatán
Dr. Asdrúbal López Chau	Universidad Autónoma Del Estado De México
Dr. Noel Enrique Rodríguez Maya	Instituto Tecnológico De Zitácuaro
Dr. Juan Carlos Rojas Pérez	Centro Nacional De Investigación Y Desarrollo Tecnológico CENIDET
Dr. Fevrier Adolfo Valdez Acosta.	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico De Tijuana
Dr. Vicente García Jiménez	Universidad Autónoma De Ciudad Juárez
Dr. Raymundo Buenrostro Mariscal	Universidad De Colima
Dr. Isaac Machorro Cano	Universidad Del Papaloapan
Dr. Benjamín Moreno Montiel	Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)
Dr. Iván Gallardo Bernal	Universidad Autónoma De Guerrero
M.S.C. Norma Leticia Hernández Chaparro	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior De Zongolica
M.S.C. Mariela Lezama Sánchez	Universidad Tecnológica Del Centro De Veracruz
M.S.C. Nancy Cruz Ramos	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico De Orizaba
Dra. Laura Angélica Décaro Santiago	Universidad Autónoma Del Estado De México
Dra. María Karen Cortés Verdín	Universidad Veracruzana
M.I.S. Lizbeth Alejandra Hernández González	Universidad Veracruzana
Dra. Luisa Angelica Viñas Meza	Instituto Tecnológico Superior De Teziutlán
Dra. Liliana Ibeth Barbosa Santillán	Universidad De Guadalajara
M.S.C. Patricia Ochoa Trujillo	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior De Teziutlán
Dr. Oscar Mario Rodríguez Elías	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico De Hermosillo
Dr. Arnulfo Alanís Garza	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico De Tijuana
M.S.C. Sergio David Ixmatlahua Díaz	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior De Zongolica
M. en E-Learning Emmanuel Vázquez Benito	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior De Teziutlán
MRySI. Maria Reina Zarate Nava	Universidad Tecnológica Del Centro De Veracruz (UTCV)
Dr. Jorge Rivera Flores	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior De Teziutlán
Dra. Adriana Pérez López	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior De Teziutlán
Dr. Rafael Salas Zarate	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zitácuaro
Dra. María Eugenia Carreón Romero	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior De Teziutlán
M.S.C. Raúl Mora Reyes	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior De Teziutlán
M.C. José Antonio Morales Flores	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior De La Sierra Negra De Ajalpan
Dra. Guadalupe Robles Calderón	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior De Teziutlán
M.R.T. Ricardo Castro Valdivia	Universidad Tecnológica Del Centro De Veracruz (UTCV)
Dr. Humberto Marín Vega	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior De Zongolica
Dr. Luis Antonio Pereda Jiménez	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior De La Sierra Negra De Ajalpan
Dr. Jacobo Robles Calderón	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior De Teziutlán
Dr. Giner Alor Hernández	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Ulises Juárez Martínez	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. María Antonieta Abud Figueroa	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Hilarión Muñoz Contreras	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C.E. Beatriz Alejandra Olivares Zepahua	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.R.T. Ignacio López Martínez	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. Celia Romero Torres	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Lisbeth Rodríguez Mazahua	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. José Luis Sánchez Cervantes	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Laura Nely Sánchez Morales	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.S.C. Luis Ángel Reyes Hernández	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Maritza Bustos López	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Jonathan Hernández Capistran	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico De Orizaba
M.C. Jorge Ernesto González Díaz	Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico De Orizaba

ISSN: 2007 8102

COMITÉ DE ARBITRAJE
Investigación Educativa

Nombre	Institución
Mtro. David Fernando Mercado Acero	*Universidad Autónoma de Nuevo León*
Mtra. Zoé Iyari Arrioja Carrera	*Secretaría de Educación de Veracruz*
Mtro. Jesús Darío González Prado	*Secretaría de Educación de Veracruz*
Dr. Mario Leoncio Arrioja Rodríguez	*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba*
MD. Pedro Humberto Velázquez Morales	*Instituto Mexicano del Seguro Social*
MD. Eduardo Castro Flores	*Universidad Veracruzana*
Mtra. Marybeth Guadalupe Ávalos Organista	*Universidad Veracruzana*
Dra. Karina Guadalupe Alarcón Rosas	*Universidad de Xalapa*
Mtra. María Alarcón Landa	*Secretaría de Educación de Veracruz*

ISSN: 2007 8102

MENSAJE DEL COMITÉ ORGANIZADOR

La edición 2023 de la revista "Coloquio de investigación Multidisciplinaria" contiene 224 publicaciones de investigación, de 309 recibidas para evaluación, en las siguientes siete áreas:

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

Las evaluaciones de los trabajos iniciaron con la verificación, por cada uno de los responsables de área, del formato solicitado para publicación y, posteriormente, por la profundidad del tema, por un comité técnico formado por 154 especialistas de 51 instituciones. La publicación enviada, al comité técnico, se realizó mediante ´seudónimos de nombres y de procedencia para evitar el sesgo que pudiera generarse.

Las publicaciones aceptadas por la revista, que ya muestran los nombres de autor y coautores, así como las instituciones de procedencia, resaltan la creatividad de los investigadores para detectar, en empresas de bienes y servicios, problemáticas y darles solución, mediante la aplicación de diversas metodologías, procesos, técnicas y herramientas; soluciones que contribuyen a la minimización de recursos: mano de obra, materia prima, energía; o la propuesta de fuentes renovables con la finalidad de preservar y mejorar nuestro medio ambiente.

Creemos que las aportaciones de la presente edición contribuirán al desarrollo de nuevas ideas, y nuevas investigaciones y la divulgación de nuevas aplicaciones de la ciencia y la tecnología. Por otro lado, nosotros revalidamos el compromiso de mejorar, en cada edición, la cobertura y los procesos que se necesiten para que la revista siga manteniéndose en su preferencia.

Atentamente

Comité Organizador

ISSN: 2007 8102

INDICE GENERAL

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

 ISSN: 2007 8102

ÁREA INGENIERÍA ADMINISTRATIVA

IA01 **El flujo migratorio y su asociación con la economía de las entidades federativas** IA-05
Porfirio Tamayo Contreras, María Fernanda Aguilar Rivera

IA02 **Uso de tecnologías de IoT en la región agrícola del Valle de Tecomán, Colima, México.** IA-13
O. Mares Bañuelos, H. Moreno Zacarías, A. Arcega Ponce, E. Macías Calleros, A. Cárdenas Villalpando

IA03 **Impacto de la pandemia por COVID-19 en los rendimientos de las acciones del índice S&P/BMV IPC: 2017-2023** IA-20
Hilda Esperanza Álvarez Tostado Ceballos, Juan Fernando García Mejía, Pedro Enrique Lizola Margolis, Arturo Morales Castro

IA04 **Optimización de la gestión de ventas de café en la región de Coatepec mediante Inteligencia de Negocios y Análisis de Datos** IA-30
J. Robles Calderón, G. Robles Calderón, M.A. Aguilar Cortés, M. Martínez Demetrio

IA05 **Análisis de las condiciones ambientales y su impacto en el rendimiento de la actividad docente** IA-40
María del Carmen Chacón Olivares, Raúl Armenta Villanueva

IA06 **Visualización de datos usando Power BI aplicado en el análisis de accidentes automovilísticos** IA-50
María Gabriela Vázquez Portillo, Argelia B. Urbina-Nájera

IA07 **La influencia de las Variables Sociodemográficas en el Desempeño Individual de un Ayuntamiento de Veracruz** IA-60
Martínez Rodríguez Pablo, Quintero Fuentes Martha Patricia, Flores García Estela, Vargas Escobar Lizbeth

IA08 **Estudio de mercado para una cafetería de especialidad en la ciudad de Teziutlán, Puebla** IA-69
Magdaleno Martínez Demetrio, Víctor Millán Tinoco, Adriana Pérez López

IA09 **Modelo alternativo de optimización de factores productivos** IA-79
Orlando Gallegos Ibarra, Divvio Gallegos Paniagua

IA10 **Diseño y automatización de ruta de abastecimiento de agua potable en el municipio de Ahualulco, S.L.P.** IA-86
G. C. Rendón Sustaita, J. A. Domínguez López, V. Rodríguez Avalos, H. A. Saavedra Hernández, B. Ruiz Martínez.

IA11 **Formación de Supervisores de Educación Física: acciones estratégicas** IA-95
Javier Contreras Ruiz, José Antonio Yáñez Figueroa, Xavier Contreras Calvario, Luis Ángel Carretero Muñoz, Héctor Jorge Ferrer Petrilli

IA12 **Plan de ventas, estrategia para incrementar ingresos: caso de estudio microempresa recicladora de plástico** IA-103
Alma Delia Hernández Vargas, María de Lourdes Ruiz Tejeda, Patricia Leonor Tejeda Polo, Edmundo Juárez Martiñón, Ariadna Cabrera Ramírez

IA13 **Optimización en el área de Corte para la reducción de tiempo de espera y costos** IA-113
E. Covarrubias Ramírez, M. Gallegos López, D.F. Reynoso Hernández, J.M. Capetillo Gómez, H.E. Rivera Cabrera

IA14 **Aplicación de un programa de Mantenimiento de máquinas expendedoras tipo Vending** IA-123
Oscar Jiménez Estévez, Celina Hiosilene Ocampo Ponce, Claudia Itsel Casique García, Angélica Gómez Cárdenas, Guillermo Abraham Gamboa Vázquez

IA15 **Capacitación presencial en el sector público bajo la metodología ADDIE** IA-132
Flor Lucero Rangel Vieyra, María Guadalupe Beltran Lizárraga

IA16	**Habilidades que demandan los empleadores de los egresados universitarios para la empleabilidad; Estado de México.** *J.L. Marín Villanueva, A. Alonso Reyes*	IA-142
IA17	**Consumo alimentario de hogares en Zonas de Atención Prioritaria durante la pandemia, Tijuana, Baja California** *Olga Alejandra Sierra López y Belem Dolores Avendaño Ruiz*	IA-152
IA18	**Estrategias para desarrollar la resiliencia de las microempresas del sector abarrotero** *Rojas Santiago Cynthia Noemi, Rodríguez Lázaro José, Barradas Martínez María del Rosario*	IA-162
IA19	**Aplicación contable de normas internacionales de información financiera para pymes colombianas, en México** *Irbin Salomón Zavaleta Arellanes, Diana Gabriela Gaytán Noyola, Mario Andrés Peña Duarte, Gloria Almeida Parra*	IA-171
IA20	**Uso de la tecnología del Blockchain en la contratación de personal: Oportunidades y retos** *J. Cruz Manzo, L.C. Ortuño Barba, F. Merlo Magaña*	IA-182
IA21	**Implementación de un Sistema de Gestión para el Control de Inventarios** Elizabeth Covarrubias Ramírez, Dolores Florina Reynoso Hernández, Martha Gallegos López, Edmundo Cerda Rodríguez, Itzel Cabrera Gallegos	IA-190
IA22	**Modelo de data mining para la generación de clústers en comorbilidades durante el periodo 2022** *Isaac David Sánchez Morales, Eduardo Roldan Reyes, Guillermo A. Arrioja Carrera, Fernando Aguirre y Hernández, Nuria Ortega Petterson*	IA-200
IA23	**Administración de la merma dentro de la cadena de suministro** *Porfirio Tamayo Contreras, Adriana Margarita Longoria Magallanes*	IA-210
IA24	**Modelo estratégico de comercio electrónico basado en herramienta digital para la factibilidad en el comercio al por menor de ropa de Torreón** *Emmanuel Contreras Medina, Tannya Meraz Aldaba, Eyran Roberto Diaz Gurrola*	IA-218
IA25	**Modelo de Competencias de la Industria 4.0 para la Transformación Digital de las Pymes Manufactureras** *Norma Angélica Bello Conde, María del Rocío Guadalupe Morales Salgado*	IA-227
IA26	**Bioenergía urbana viable: pellets de muérdago a partir de podas de árboles en León, Guanajuato** *Arturo Guerrero Barranco, Andrés Aguilar Ortega, Domancar Orona Tamayo, Elizabeth Quintana Rodríguez, José de Jesús Esparza Claudio*	IA-237
IA27	**Factores de riesgo psicosocial en una dependencia de la Universidad Veracruzana, región Coatzacoalcos-Minatitlán** *B. Antonio Pacheco, M. B. Ordaz Hernández, C.M. Mis Linares, A. Alonso Guillén*	IA-246
IA28	**Análisis diagnóstico para determinar el branding en las micro y pequeñas empresas de los Tuxtlas** *M. del C. David Miros, P. E. David Miros, R. M. Berea Gutiérrez, L. O. Reyes Chapol, M. de J. Gallardo Polito*	IA-254
IA29	**Importancia y diseño de un plan estratégico en la promoción de las carreras de Ingeniería** *Luisa Angélica Viñas Meza, Patricia Ochoa Trujillo, Edgar Degante Aguilar, Emmanuel Vázquez Benito*	IA-262
IA30	**Desarrollo Tecnológico para el mejoramiento de comandas y su optimización de tiempos en restaurante "PEPE'S"** *Rosa Isela Castro Capistrán, Delia del Carmen Gamboa Olivares, Vanessa Lizette Hernández Guzmán, Adalberto Torreblanca Zorrilla, Elsa Elena Corona Mayoral*	IA-272

IA31	**Modelo inclusivo en la industria restaurantera, una visión con compromiso social en Teziutlán, Puebla.** *Patricia Leonor Tejeda Polo, María de Lourdes Ruiz Tejeda, Edmundo Juárez Martiñón, Alma Delia Hernández Vargas*	IA-282
IA32	**Proceso sistemático para seleccionar indicadores de dimensión social criminalista que afectan a la competitividad empresarial** *Romero Lezama José Enrique, Quintero Fuentes Martha Patricia. García Aguilar Nadia Carolina, Chiunti González Nayeli, Sampayo Cárcamo Matilde*	IA-292
IA33	**Diseño de mejora del proceso de captación de ingresos propios para el TecNM campus Colima** *Mendoza Castellanos Pablo, Pedraza Marín María Cristina, Herrera Delgado Gilberto, Cárdenas Velasco Héctor Eduardo, Sánchez Losoya María*	IA-302
IA34	**Alternativas de desarrollo turístico en Tlatlauquitepec a partir de necesidades y expectativas reveladas por visitantes** *A. Sánchez García, C. Hernández Méndez, Á. Chávez Galaviz, I. Muñiz Montero*	IA-312
IA35	**Valoración del Servicio Público de Recolección de Basura** Esperanza Hernández Cruz, Alejandro de Jesús Hernández Peralta, Paula Rosalinda Antonio Vidaña, Irving Ilhuicamina Mendoza Ruiz y Manuel Valladolid Prado	IA-321
IA36	**Diseño de Investigación de Mercado para Productores de Papaya en el Municipio de Tlalixcoyan, Veracruz** *B. Conde Carreño, C.M. Herrera Blanca, S.M. Ramos Cortez, J. J. Saucedo Cisneros, L. del C. Zamudio Corona*	IA-329
IA37	**El involucramiento del microempresario en estrategias ambientales: Un acercamiento a la responsabilidad social empresarial** *Llamas Mangin Yuritzi, Ferro Azcona Hakna, Magdaleno Ramírez Francisco*	IA-336
IA38	**Modelo de negocios, elemento clave para generar la propuesta de valor en empresas rurales de pan artesanal** *Ortiz Castro Miguel Ángel, Barradas Martínez María del Rosario, Rodríguez Lázaro José*	IA-346
IA39	**Punto de vista de los stakeholders acerca de las ciudades +B** Sainz Barajas M. T., Chiñas Valencia J. J., Aguirre Alemán M. G., Vázquez Roque K. L.	IA-357
IA40	**Análisis del cierre de las tiendas de abarrotes en el estado de Colima, México durante el año 2022** *Francisco Preciado Álvarez, Fabian Ojeda Pérez, Marco Antonio Sambrano Aguayo, Rocío de Jesús Moreno Meza*	IA-367
IA41	**Validez de instrumento para medir la cultura social inclusiva respecto a discapacidad: Juicio de expertos** *Sampayo Cárcamo Matilde, Quintero Fuentes Martha Patricia, Limón Díaz Miguel Ángel, Romero Lezama José Enrique, Chiunti-González Nayeli*	IA-376
IA42	**Validación del Instrumento para medir Creación de Valor Compartido a empresas lácteas: Juicio de expertos** *García Aguilar Nadia Carolina, Quintero Fuentes Martha Patricia, Sampayo Cárcamo Matilde, Romero Lezama José Enrique, Chiunti-González Nayeli*	IA-386
IA43	**Usabilidad del proceso de capacitación por aplicación en el departamento de contaduría de una entidad.** *Juan Pedro Benítez Guadarrama, Brenda Anahí Pérez Elizondo*	IA-396

ISSN: 2007 8102

IA44	**Aplicación de la metodología Design Thinking en una empresa familiar denominada Churrería Rocha** Edmundo Juárez Martiñón, María de Lourdes Ruiz Tejeda, Patricia Leonor Tejeda Polo, Alma Delia Hernández Vargas	IA-406
IA45	**La cultura organizacional como factor de la supervivencia en las EF en un entorno competitivo** *Rosa Mayela Mendoza Esparza, Rebeca Hernández Torres, Saúl Hernández Amparan, Andrés Mauricio García Gómez*	IA-415
IA46	**Desarrollo de una metodología para la construcción de modelos de gestión del conocimiento basado en técnicas de RBC de inteligencia artificial** *Nayelly Rosas Gallardo, Eduardo Roldán Reyes, Guillermo A. Arrioja Carrera, Fernando Aguirre y Hernández, Nuria Ortega Petterson*	IA-423

ISSN: 2007 8102

El flujo migratorio y su asociación con la economía de las entidades federativas

P. Tamayo Contreras.[1], M. F. Aguilar Rivera [2]

[1] Departamento de Gestión y Dirección de Empresas de la División de Ciencias Económico-Administrativas de la Universidad de Guanajuato. Fraccionamiento el Establo, Guanajuato, Gto. CP. 36250, aeinegocios1@gmail. [2] Universidad Iberoamericana León. Blvd. Jorge Vértiz Campero 1640. Col. Cañada de Alfaro. León, Gto. CP 37238, 188459-2@iberoleon.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

La migración internacional cada vez es más significativa para la administración pública por su impacto en la economía de la república mexicana. Esta investigación analiza por medio de herramientas estadísticas el impacto positivo que genera la migración, en los estados de México con mayor flujo. La hipótesis planteada es: el flujo migratorio afecta positivamente la economía de las entidades federativas mexicanas. Se aplicó una correlación, así como el percentil vigésimo quinto y el septuagésimo para realizar una división de las economías en débiles resultando los estados de Chiapas, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Tlaxcala y Zacatecas. Y otra de entidades federativas prósperas quedando la Ciudad de México, Estado de México, Nuevo León, Jalisco, Veracruz, Guanajuato y Michoacán. Los resultados muestran una asociación entre el flujo migratorio a las economías de los estados.

***Palabras clave**: Migración, estados, economía*

Abstract

International migration is increasingly significant for public administration due to its impact on the economy of the Mexican Republic. This research analyzes through statistical tools the positive impact generated by migration, in the states of Mexico with the highest flow. The proposed hypothesis is: the migratory flow positively affects the economy of the Mexican states. A correlation was applied, as well as the twenty-fifth and seventieth percentile to make a division of the economies into weak ones, resulting in the states of Chiapas, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Tlaxcala, and Zacatecas. And another of prosperous federal entities, leaving Mexico City, the State of Mexico, Nuevo León, Jalisco, Veracruz, Guanajuato, and Michoacán. The results show an association between the migratory flow to the economies of the states.

***Key words**: Migration, states, economy*

Introducción

La migración internacional, entendida como todo aquel que se traslada desde el lugar en el que habita o del que es originario hacia otro, diferente del primero, tiene diversos impactos económicos que dependen desde el enfoque que se midan, pueden desplazan fuentes de empleos, cubren las vacantes que los nacionales no desean trabajar, generan divisas a favor de las familias de los migrantes, se convierten en un problema de delincuencia, absorben recursos económicos de los

 ISSN: 2007 8102

estados involucrados, entre otros más. No obstante, la Organización de las Naciones Unidas identifica a la migración como positiva, al percibirla como un poderoso motor del crecimiento económico, donde su dinamismo permite que millones de personas busquen nuevas oportunidades, lo que beneficia por igual a las comunidades de origen y de destino [1].

La migración internacional seguirá permaneciendo, e incluso aumentando, en los próximos años y resultará beneficiosa para todos si se administra correctamente. De lo contrario se tornará, paulatinamente, en una amenaza de desequilibrio social y económico tanto para el país emisor y receptor, sobre todo, cuando la globalización tiende a unir las fronteras nacionales en busca de una expansión de mercado, de cultura, información, conocimiento y tecnología. Este fenómeno social no puede permanecer aislado de la administración pública, y mucho menos minimizar su importancia cuando es notorio que va adquiriendo mayor importancia y fuerza en la sociedad [2].

La migración debe ser entendida como un movimiento volátil que esta vinculada con la globalización, de ahí el nombre “internacional”; la apertura de los mercados a través de los años ha dado la facilidad de que hoy en día el ser humano pueda comprar una serie de productos, o adquirir servicios que representan a una infinidad de marcas. Una empresa internacional no puede operar y destacar de manera óptima en su propia nación o en otro país, sin que ésta no cuente con personal capacitado originario o migrante. La migración llegó para quedarse y permitirá el desarrollo económico mundial contribuyendo a la evolución de los estados y sociedades, enriqueciendo a muchas culturas y civilizaciones [3].

Más allá del concepto equivoco que se tiene sobre la pérdida de oportunidades laborales locales como un resultado de la migración, ésta permite la promoción del desarrollo y la reducción de la pobreza en el lugar donde se presenta [4]. Organismos como la Organización Internacional para las Migraciones (OIM), buscan generar alianzas laborales con el sector empresarial para poder concientizar a las empresas en cuanto al papel fundamental que desarrolla la migración en los asuntos nacionales, regionales y mundiales. [5].

En diversos países en vías de desarrollo, los fondos enviados por los emigrantes llegan a constituir una fuente de ingresos de gran relevancia, incluso, mayor que la proporcionada de manera oficial al desarrollo o las inversiones extranjeras directas [4]. El que personas extranjeras emigren hacia un país con mejores oportunidades económicas, derivará la existencia de mano de obra, conocimientos y aptitudes destacables, que condescenderán el desarrollo de la empresa que emplee a dichos individuos, así como el de la sociedad que los acoja. Como preámbulo, es importante destacar que al menos en México, hasta hace 15 años, la migración fue despenalizada [6]. En el año2008, la migración indocumentada en el país no era considerada como una falta administrativa, si no que se aplicaban castigos severos como pena carcelaria de hasta 2 años de prisión y una multa de 300 a 5 mil pesos al extranjero que se albergara ilegalmente en el país [7]. De manera que, si en este tiempo transcurrido, un cambio tan alarmante pudo ser realizado, la aceptación y contratación de migrantes internacionales podrá ser un hecho mayormente visible en un futuro no muy lejano que beneficie y propicie el desarrollo empresarial.

Desde hace algunos años, el enfoque hacia la mano de obra ha ido incrementando notablemente, ya que se ha demostrado que es un factor clave para el correcto funcionamiento de cualquier organismo del sector privado como gubernamental. El futuro exitoso de las empresas depende, en su totalidad, de la capacidad de respuesta e innovación, por lo que contar con excelente mano de obra capacitada y motivada, permitirá contar con una ventaja competitiva sobre la competencia [8]. El que una compañía contrate a personal extranjero con voracidad de crecimiento y superación, le brindará un crecimiento constante, ya que la motivación de poder subsistir en un país ajeno al suyo permitirá un desempeño seguro y comprometido por parte del trabajador, responsabilidad que, en repetidas ocasiones, los locales carecen.

Los censos realizados por gobiernos locales y organismos internacionales, como lo es la OIM, en distintos países, incluyendo México, han destacado que la migración puede contribuir de manera positiva al crecimiento demográfico; la edad promedio de las personas que tienden a migrar, es entre

 ISSN: 2007 8102

los 20 y 40 años, considerados como los años más productivos en la vida de una persona [9]. Se tiene el concepto erróneo que las personas que emigran son personas analfabetas, con escasez de conocimientos, sin embargo, Frank Bruni, en su columna del New York Times "¿Quieres genios? Dales la bienvenida a los inmigrantes", habla acerca de las becas y programas que han sido brindadas a los migrantes y han propiciado a alcanzar un gran número de premios incluyendo Pulitzer y Nobel 10].

La migración trae consigo talento y capital humano, aspectos que, en el medio correcto, pueden ser factores para explotar su potencial; los migrantes llegan, afortunadamente, a un puesto laboral que buscan desempeñar y cumplir de forma correcta, aportando a esa economía y a dicha empresa, provocando una expansión en mercados, creando nuevos puestos y, en consecuencia, mejorando los salarios y las condiciones laborales. Como mencionó el economista Wolgang Fengler, en su artículo *"If you like football, you should welcome migrants*", menciona que la migración aporta equilibrio en la fuerza laboral de los países que se encuentran en un declive demográfico, donde la llegada de migrantes ayudaría a estabilizar una futura disminución de la fuerza laboral [11]. Al ser un movimiento con mayor presencia y relevancia en diversos países, las Naciones Unidas han establecido acuerdos y agendas, enfocadas en la migración, que permitirán una regulación homogénea [12].

En la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, los Estados miembros de las Naciones Unidas, se comprometieron a dar pie a una migración ordenada, segura, regular y responsable [13] lo que representa un compromiso en conjunto para aprovechar la migración y la movilidad como una parte normal y beneficiosa de la economía mundial del siglo XXI, menciona Shamshad Akhtar, Secretaria General Adjunta y Secretaria Ejecutiva Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico (CESPAP); este tipo de acuerdos promulgará que los migrantes puedan desplazarse libremente y con seguridad, además de competir en pie de igualdad en todos los países de la región [14].

Cada vez son más frecuentes los estudios que indican y comprueban que la migración es un factor de mejora para las economías receptoras, tal es el caso del capítulo 4 de la edición de abril de 2020 de "Perspectivas de la economía mundial", donde se analizan las repercusiones económicas que la migración tiene para los países y se señala que mejora el crecimiento económico y la productividad en los lugares de acogida [15]. Además, el aplicar políticas de migración y del mercado laboral, orientados a la integración de los recién llegados, pueden contribuir aún más a los resultados de la migración en los países receptores. Este mismo análisis menciona que los migrantes realizan una gran contribución tributaria; en las economías de los países, cada aumento de 1% de migrantes adultos aumenta el producto interno bruto por persona hasta en un 2% [15].

Por ello, esta investigación analiza por medio de herramientas estadísticas el impacto positivo que genera la migración, en las entidades federativas de México con mayor flujo. Por tanto, la hipótesis es la siguiente:
H1: El flujo migratorio afecta positivamente la economía de las entidades federativas mexicanas.

Metodología

Se recabó información perteneciente al producto interno bruto de las 32 Entidades Federativas del país, conforme al último censo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) [16] y datos del Banco Nacional de México [17], siendo el de los años 2010,2018,2019,2020 y 2021 (véase la figura 1).

 ISSN: 2007 8102

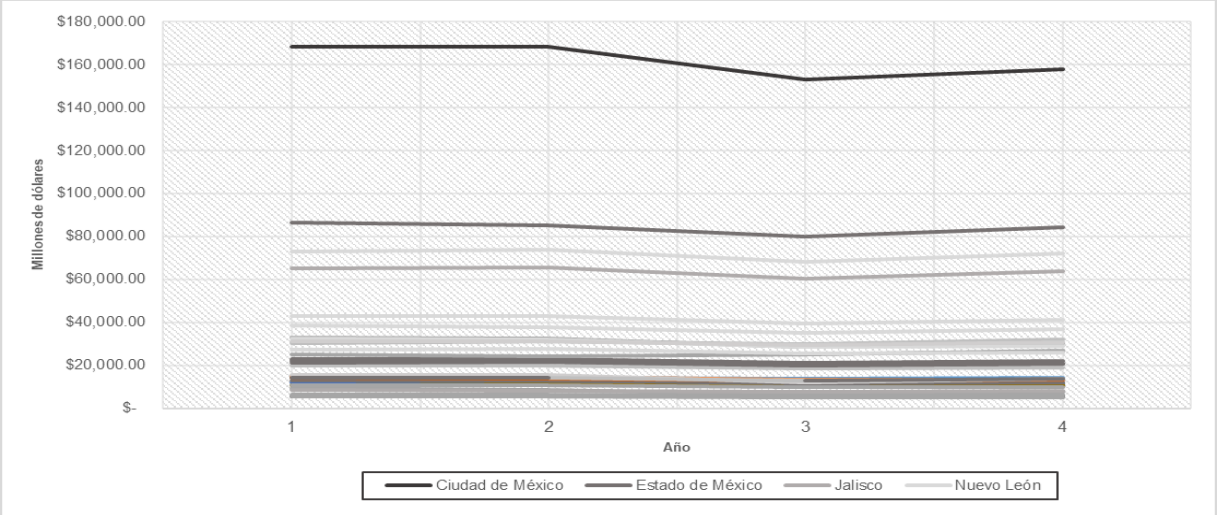


Figura 1. Producto interno bruto por entidades federativas en México (2018-2021) [17]

Asimismo, se tomó en cuenta remesas en las 32 Entidades Federativas del país para el periodo 2018-2021, (INEGI) [16] y del Banco Nacional de México [17]. (véase tabla 1).

Tabla 1. Ingreso de remesas por Entidad Federativa en México [17 y18].

Entidad Federativa	2018 (Mdd)	2019 (Mdd)	2020 (Mdd)	2021 (Mdd)
Aguascalientes	$ 473.00	$ 506.00	$ 540.00	$ 696.50
Baja California	$ 891.00	$ 949.00	$ 1,235.00	$ 1,398.20
Baja California Sur	$ 78.00	$ 88.00	$ 112.00	$ 133.80
Campeche	$ 79.00	$ 89.00	$ 115.00	$ 147.50
Chiapas	$ 821.00	$ 1,007.00	$ 1,143.00	$ 1,893.50
Chihuahua	$ 992.00	$ 1,135.00	$ 1,279.00	$ 1,588.20
Ciudad de México	$ 1,437.00	$ 1,724.00	$ 2,141.00	$ 2,942.90
Coahuila	$ 589.00	$ 640.00	$ 711.00	$ 904.20
Colima	$ 322.00	$ 304.00	$ 348.00	$ 434.80
Durango	$ 809.00	$ 879.00	$ 955.00	$ 1,243.60
Estado de México	$ 1,912.00	$ 2,055.00	$ 2,415.00	$ 3,145.50
Guanajuato	$ 3,058.00	$ 3,322.00	$ 3,468.00	$ 4,308.10
Guerrero	$ 1,620.00	$ 1,557.00	$ 1,942.00	$ 2,621.10
Hidalgo	$ 905.00	$ 962.00	$ 1,023.00	$ 1,296.50
Jalisco	$ 3,305.00	$ 3,537.00	$ 4,153.00	$ 5,235.30
Michoacán	$ 3,406.00	$ 3,623.00	$ 4,055.00	$ 4,984.10
Morelos	$ 676.00	$ 710.00	$ 757.00	$ 1,007.10
Nayarit	$ 548.00	$ 584.00	$ 673.00	$ 854.10
Nuevo León	$ 954.00	$ 960.00	$ 1,024.00	$ 1,314.80
Oaxaca	$ 1,737.00	$ 1,823.00	$ 1,897.00	$ 2,404.80
Puebla	$ 1,706.00	$ 1,782.00	$ 1,873.00	$ 2,138.10
Querétaro	$ 663.00	$ 711.00	$ 802.00	$ 1,012.60
Quintana Roo	$ 166.00	$ 187.00	$ 239.00	$ 310.60
San Luis Potosí	$ 1,240.00	$ 1,345.00	$ 1,425.00	$ 1,721.60
Sinaloa	$ 807.00	$ 923.00	$ 1,039.00	$ 1,161.90
Sonora	$ 530.00	$ 593.00	$ 708.00	$ 865.90
Tabasco	$ 208.00	$ 252.00	$ 279.00	$ 430.10
Tamaulipas	$ 804.00	$ 873.00	$ 944.00	$ 1,128.60
Tlaxcala	$ 256.00	$ 257.00	$ 244.00	$ 317.10
Veracruz	$ 1,384.00	$ 1,512.00	$ 1,614.00	$ 2,034.30
Yucatán	$ 206.00	$ 221.00	$ 244.00	$ 335.10
Zacatecas	$ 1,096.00	$ 1,129.00	$ 1,202.00	$ 1,575.30
Total	$ 33,678.00	$ 36,239.00	$ 40,599.00	$ 51,585.90

ISSN: 2007 8102

Diseño y procedimiento

El procedimiento fue cuantitativo, de tipo no experimental y transversal simple, para llevarlo a cabo se usaron datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) [16] y del Banco Nacional de México [17]. A la información recabada se le aplicó el percentil vigésimo quinto y el septuagésimo para realizar una división de las economías débiles resultando los estados de Chiapas, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Tlaxcala y Zacatecas. Y otra de entidades federativas prósperas quedando la Ciudad de México, Estado de México, Nuevo León, Jalisco, Veracruz, Guanajuato y Michoacán.

Instrumento

Se utilizaron métodos estadísticos para manejar datos cuantitativos y cualitativos, los diferentes tipos de datos fueron clasificados y separados por concepto y año para una mejor comparación. La información obtenida en torno al comportamiento del PIB durante el periodo mencionado (2018-2021), fue segregada por año, por entidad federativa y se obtuvo el porcentaje representativo del estado del PIB total de ese año. Se realizó un comparativo de los datos de ingreso de remesas y el PIB de las entidades federativas para realizar una correlación de la información y analizar el comportamiento de las variables durante el periodo antes indicado.

Resultados y discusión

Al realizar el análisis correlativo en las distintas entidades federativas, el impacto de las remesas como resultado del flujo migratorio si mostró una asociación positiva en la mayoría de las economías de las entidades federativas mexicanas, resaltado Ciudad de México, Estado de México, Nuevo León, Jalisco, Veracruz, Guanajuato y Michoacán, es de notar que la tendencia va al alza, lo que se puede deducir que a mayores remesas, mayor es el PIB; para las economías de los estados. En suma, las remesas representan un ingreso relevante (véase figura 2).

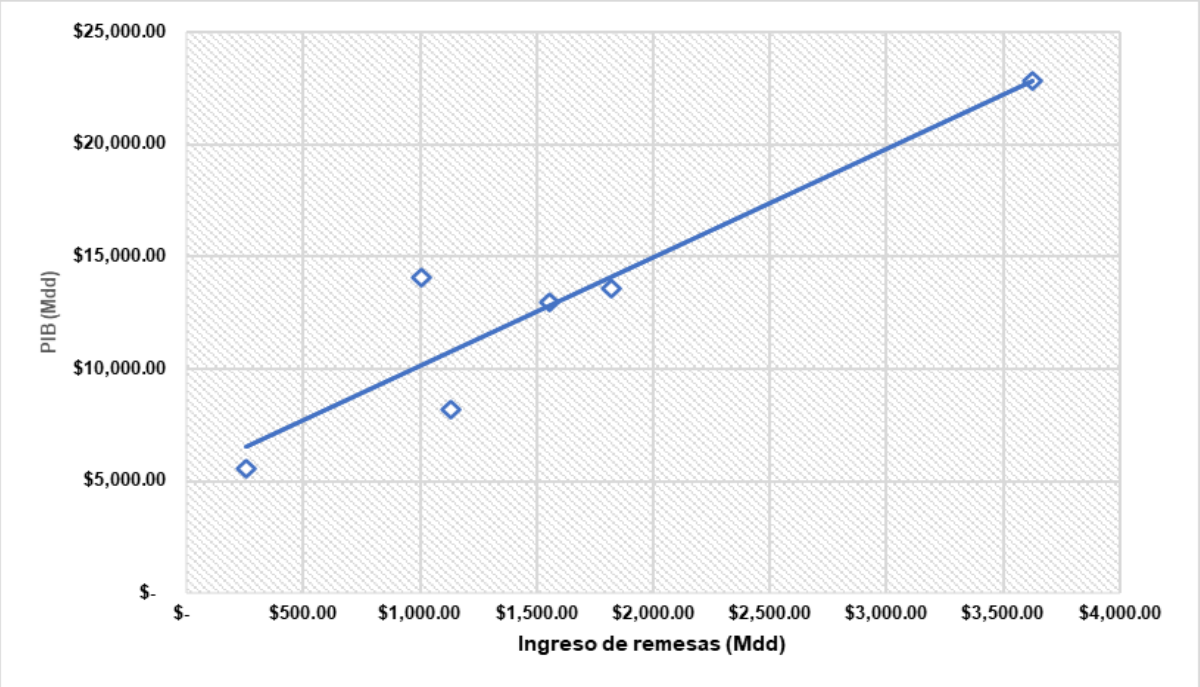


Imagen 2. Efecto positivo con tendencia al incremento de las remesas en las economías de los estados [18].

ISSN: 2007 8102

En el lapso de los años del 2018-2021 se observó que las entidades que mediante el flujo migratorio mostraron una asociación positiva con su economía, y que por tal motivo aportaron y apoyaron de una manera significativa el crecimiento del país fueron Ciudad de México, Estado de México, Nuevo León, Jalisco, Veracruz y Guanajuato, considerados los estados más prósperos. Lo anterior se mostró un impacto relevante en sus principales actividades económicas siendo las siguientes:

- Ciudad de México, turismo, los servicios financieros, tecnológicos, deportivos, culturales, así como el comercio de productos y el sector inmobiliario.
- Estado de México, sector automotriz, de alimentos y bebidas, químico- farmacéutico, textil y turístico.
- Nuevo León, comercio, construcción, manufactura, otras (transporte público, los servicios inmobiliarios y también los servicios financieros han generado creación de pequeñas y medianas empresas).
- Jalisco, comercio, servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles, construcción, agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza e, industria alimentaria.
- Veracruz, comercio, construcción, industria del plástico y del hule, servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles, transportes, correos y almacenamiento.,
- Guanajuato, comercio, la construcción, la fabricación de maquinaria y equipo, la industria alimentaria, y los servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles.

Por otro lado, se encontró que aquellos estados que su economía no ha resultado favorable en los últimos 4 años, a los que se les denominan entidades federativas con menos prosperidad. Las remesas del flujo migratorio si tuvieron un efecto positivo no tan notorio como los estados antes indicados, son Chiapas, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Tlaxcala y Zacatecas.

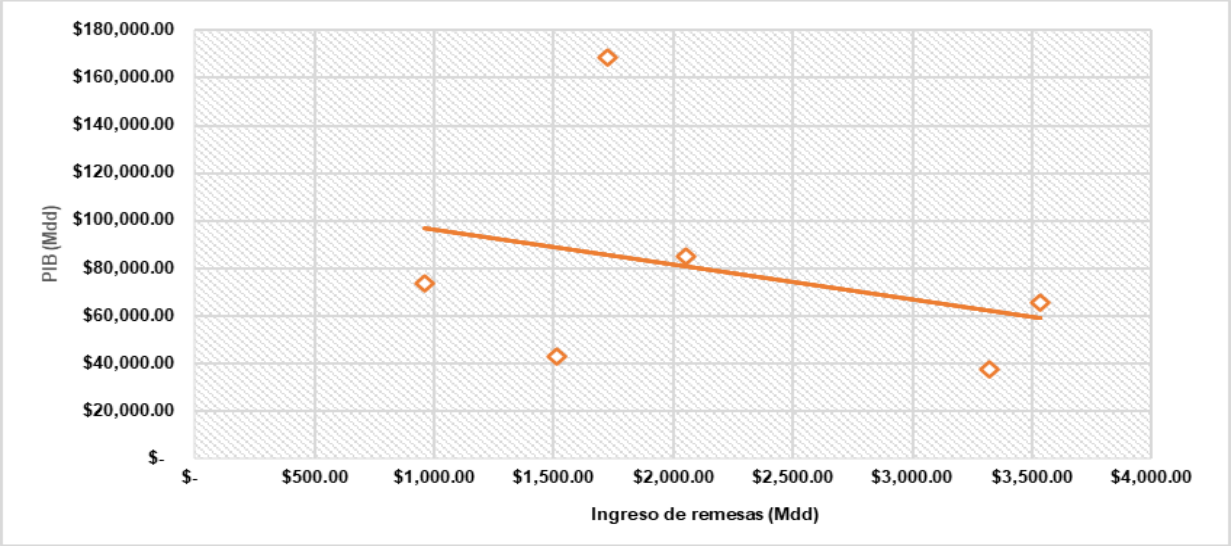


Imagen 3.- Impacto de las remesas en las economías de las entidades federativas con menos prosperidad [18].

El efecto en los estados de Chiapas, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Tlaxcala y Zacatecas se manifestaron en las siguientes actividades económicas:

- Chiapas, agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza; comercio, construcción, servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles y servicios educativos.

 ISSN: 2007 8102

- Guerrero, comercio, servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles, construcción, transportes, correos y almacenamiento y servicios educativos.
- Michoacán, comercio, agricultura, crianza de animales, aprovechamiento forestal, servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles, transporte y almacenamiento
- Oaxaca, comercio, construcción, industria del plástico y del hule, servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles y servicios educativos.
- Tlaxcala, comercio, restaurantes y hoteles, servicios financieros, actividad agropecuaria, silvicultura y pesca, construcción, electricidad, gas y agua, minería y servicios bancarios imputados.
- Zacatecas, el comercio, servicios inmobiliarios, manufactura, minería de minerales metálicos y la construcción.

Los datos anteriores tanto de los estados prósperos (Ciudad de México, Estado de México, Nuevo León, Jalisco, Veracruz, Guanajuato y Michoacán), así como la de los de economías débiles (Chiapas, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Tlaxcala y Zacatecas) en distintos niveles reflejaron que efectivamente las remesas del flujo migratoria tienen un efecto positivo en sus economías.

Trabajo a futuro

La importancia de la migración en de gran relevancia, lo que induce a continuar con nuevas exploraciones que apoyen la administración pública en la innovación de políticas que beneficien tanto al migrante como a las entidades federativas receptoras, y aprovechen los beneficios como se mostró en la presente investigación. El proceso de integración económica de México, es ya una realidad, con naciones de alto nivel económico como son los Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y con países de la Unión Económica Europea, así como con Japón y otros, lo que implica poner en claro los procesos de migración buscando la integración de estos y con los seres humanos que provienen de regiones con un bajo nivel económico, que buscan oportunidades, y que desafortunadamente muchos encuentran restricciones e incluso llegan a perder la vida. El trabajo sobre el campo migratorio es infinito y de trascendencia para lograr el respeto y derecho humano a tener un mejor nivel de vida

Conclusiones

El envío y recepción de remesas constituye uno de los aspectos más visibles de la migración internacional y son un reflejo de los vínculos existentes entre las personas migrantes, sus familias y comunidades en los lugares de origen y destino. El beneficio que aportan los connacionales en el extranjero al enviar parte de su patrimonio se ve reflejado en la economía de todo el país, pues funge como un soporte a la economía local. Se observó en los resultados de esta investigación, los estados que obtienen un mayor beneficio económico son aquellas entidades federativas catalogadas como economías prosperas en comparación con las débiles. Además, de que las remesas también contribuyen a la fortaleza del peso frente al dólar, como actualmente esta ocurriendo, lo que conlleva a una solidez creciente de la economía mexicana [19]. La migración es y seguirá siendo un movimiento internacional que aumentará conforme al proceso de integración entre las naciones.

Referencias

[1] Mohammadani, KH, Hossen, M., Butt, RA, Memon, KA y Shaikh, MM (2022). Migración de ONU utilizando la técnica de codificación de red en arquitectura Virtual Multi-OLT PON. *Tecnología de Fibra Óptica , 68* , N.PAG. https://doi.org/10.1016/j.yofte.2021.102788

[2] Coordinación Shinde, SM y Gurrala, VR (2023). Asegurar evidencia confiable para un sólido entorno forense de cadena de bloques en la nube para la gestión de inmigración con cifrado

ECC mejorado. *Sistemas Expertos con Aplicaciones , 229* , N.PAG. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120478

[3] Cattaneo, C. y Foreman, T. (2023). Cambio climático, migración internacional y conflictos interestatales. *Economía Ecológica , 211* , N.PAG. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107890

[4] Murshed, M. (2023). La relevancia de reducir la desigualdad de ingresos para eliminar la brecha urbano-rural en el acceso a combustibles limpios para cocinar: evidencia de América Latina y el Caribe. *Energía , 278* , N.PAG. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127718

[5] Lepri, G., Cardona Huerta, S., & Salas Segovia, U. (2022). Movilidad humana: perspectiva de Protección Internacional. *Iuris Tantum , 36* (35), 89–107. https://doi.org/10.36105/iut.2022n35.04

[6] Danze, A. (2023). Migración en los márgenes: burocracia fronteriza y barreras a los derechos de los migrantes durante <italic>Programa Frontera Sur</italic>. *Género, lugar y cultura: una revista de geografía feminista , 1–22*. https://doi.org/10.1080/0966369x.2023.2228506

[7] Huber, J., Madurga-López, I., Murray, U., McKeown, PC, Pacillo, G., Laderach, P. y Spillane, C. (2023). Migración relacionada con el clima y el nexo clima-seguridad-migración en el Corredor Seco Centroamericano. *Cambio climático , 176* (6), 1–22. https://doi.org/10.1007/s10584-023-03549-6

[8] MENDIZÁBAL BERMÚDEZ, G., & LÓPEZ PÉREZ, E. (2023). Autopercepción de los migrantes en situación migratoria irregular en México en el acceso a sus derechos sociales. *Revista de Derecho de La Seguridad Social, Laborum, 35*, 155–176.

[9] Optimización María Beth Sheridan. (5 CE, verano de 2023). México enfrenta una crisis en la frontera a medida que la política migratoria de EE. UU. se endurece. *Washington Post, El* .

[10] Esperando el caos en la frontera. (2023). *Economista , 447* (9346), 22–23.

[11] Brissett, NOM (2023). “Me fui porque...”: las razones de los emigrantes caribeños altamente calificados para migrar a EE.UU. Comparar: *Revista de educación internacional y comparativa , 53* (2), 235–252. https://doi.org/10.1080/03057925.2021.1887723

[12] Zerubavel, Y. (2023). Ori Yehudai. Saliendo de Sión: la emigración judía de Palestina e Israel después de la Segunda Guerra Mundial. *Revisión histórica estadounidense , 128* (2), 1070–1071. https://doi.org/10.1093/ahr/rhad191

[13] Green, B. y Pécoud, A. (2023). Hablando de Migración en Tiempos de Crisis: Un Análisis Textual de Narrativas de OIM y ACNUR sobre Migrantes y Refugiados. *Científico estadounidense del comportamiento , 1*. https://doi.org/10.1177/00027642231182899

[14] Lambert, L. (2023). Promesas impugnadas. La política material de los migrantes frente a la frontera humanitaria en Níger. *La ciencia como cultura , 1–24.* https://doi.org/10.1080/09505431.2023.2221289

[15] Una introducción a la economía internacional: nuevas perspectivas sobre la economía mundial. (2021). *Registro económico , 97 (318),* 440–441. https://doi.org/10.1111/1475-4932.12629

[16] INEGI (2023). *Producto interno bruto*. Recuperado de : https://www.inegi.org.mx/

[17] Banco de México (2023). *Balanza comercial.* Recuperado de: https://www.banxico.org.mx/

[18] Fuente propia.

[19] INEGI. (2023). Producto Interno Bruto (PIB). *Cuéntame de México*. Recuperado de: https://cuentame.inegi.org.mx/economia/pib.aspx?tema=e#:~:text=Se%20dice%20

 ISSN: 2007 8102

Uso de tecnologías de IoT en la región agrícola del Valle de Tecomán, Colima, México.

O. Mares Bañuelos[1], H. Moreno Zacarías[1], A. Arcega Ponce[1],*
E. Macías Calleros[1], A. Cárdenas Villalpando [1]
[1]Facultad de Contabilidad y Administración de Tecomán, Universidad de Colima, Carretera Colima-Manzanillo Kilómetro 40, Col. La Estación, C. P. 28934, Tecomán, Col., México.

**oscar_mares@ucol.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

De acuerdo con SIAP SAGARPA 2022 se ha tenido una producción agroalimentaria rentable en el país. En este contexto, en donde en los últimos tres años se han vivido la afectación de una pandemia de orden global y una guerra entre Rusia y Occidente, que ha impactado a las economías como nunca, cabe la mención que la seguridad alimentaria es seguridad nacional. En este mismo sentido, la FAO considera como un bastión agroalimentario a México, y el Valle de Tecomán, lo es también, al pertenecer a la zona Centro Occidente, que es la más productiva en el país y que representa la producción de cuatro sistemas producto en los primeros lugares nacionales e internacionales. Es por ello que la presente investigación centra su análisis en la aplicación y evaluación de tecnologías IoT en los sistemas de producción agrícola y lo que en términos de eficiencia representan para esta labor humana.

Palabras clave: *Producción agrícola, Internet de las cosas, Cultivos protegidos, Seguridad alimentaria.*

Abstract

According to the SIAP SAGARPA 2022, there has been a favorable agri-food production in the country. In this context, where in the last three years the effects of a global order pandemic and a war between Russia and the West have been, that has impacted economies like never before, it is worth mentioning that food security is national security. In this same sense, the FAO considers Mexico and the Tecomán Valley as an agri-food bastion, It is also, because it belongs to the Central West zone, which is the most productive in the country and which represents the production of four product systems in the first national and international places. That is why this research focuses its analysis on the application and evaluation of IoT technologies in agricultural production systems and what in terms of efficiency they represent for this human labor.

Key words: *Agricultural production, Internet of things, Protected crops, Food security.*

Introducción

La convergencia entre los sistemas de producción agrícola[1], los sistemas de administración científica y la intervención de proyectos de base tecnológica[2], representan una constante para la academia, en esta triple hélice de la gestión económica y social de nuestro entorno. Es de esta manera que la presente investigación versa sobre los siguientes ejes:

a. Tecnologías IoT para la producción agrícola
b. Evaluación de análisis clásicos versus disruptivos, aplicados al campo
c. La importancia que tienen los proyectos de base tecnológica, en el desarrollo del contexto socioeconómico

Las primeras (IoT) se evalúan en términos de su eficiencia relativa, de sus ventajas y desventajas, considerando tiempo, costo y alcance, como lo define la guía de proyectos del PMI, PMBOK [3].

El segundo aspecto trata sobre dos estudios aplicados a plantas de banano a casi 2 hectáreas, denominado análisis de suelo, el cual es de corte clásico, realizado in situ, por el INIFAP en 2022, el cual ha sido contrastado con un análisis satelital de cultivos de tipo disruptivo, mediante colorimetría, fotometría y espectrometría realizado por el Clúster TI Colima, A.C. en 2020.

 ISSN: 2007 8102

Con referencia al tercer aspecto de la investigación, se documenta la experiencia de desplegar y gestionar proyectos de base tecnológica, en los cuales participan la academia y la sociedad organizada, en este caso se trata de la intervención del INIFAP, el Clúster TIC, y el Cuerpo colegiado de la Universidad de Colima, Gestión de proyectos y sociedad competitiva, ubicado en el Campus Tecomán, con la participación de un pequeño productor del Valle de Tecomán Colima, referenciado en párrafos anteriores por el SIAP SAGARPA 2022 como bastión agroalimentario y destacando cuatro sistemas producto: coco, limón, plátano y papayo, en los primeros lugares nacionales e internacionales[4].

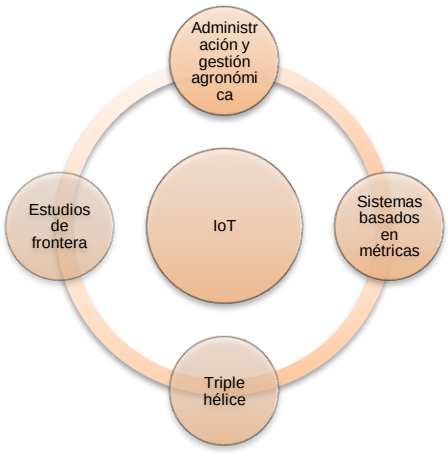


Figura 1. Innovación tecnológica de la agricultura moderna, sustentada en una gestión proactiva que implementa enfoques participativos de I+D, estudios de frontera y sensores para el campo, sustentados en las teorías: Evolutiva del cambio tecnológico, Innovación de tecnología agrícola y la Evolución tecnológica en la producción agrícola. Adaptada de [3].

En la presente investigación, se presentan puntos de evaluación sobre todo de la automatización del riego[5], por ser el agua uno de los elementos cruciales en los procesos productivos. Se tiene por ejemplo que en los puntos clave de los sistemas de riego, automatizado, versus por gravedad, solo el punto de menor costo es el que favorece al sistema de gravedad, puesto que los demás: gestión, preparación de terreno, mantenimiento y programación, quedan rebasados de forma determinante[6].

Tabla 1. Desglosados por tiempo, costo y alcance, de acuerdo con PMBOK, se presentan los datos de la eficiencia comparativa entre los diferentes métodos de irrigación de cultivos, datos empíricos de productores [7].

Herramienta	Agras T20 DJI 20 litros	Aspersor Honda WJR2525T 25 litros	Aspersor de 2000 litros marca Yukón
Tiempo por hectárea	8 a 10 min	2 horas y 30 min (entre 6 trabajadores)	25 min
Costo	$400.00	$250.00 por trabajador	$2666.66
Litros necesarios por hectárea	15 litros	200 litros	666.66 litros

Toda vez que se ha determinado a la agricultura moderna, como un conjunto de procesos, en los que se requiere de una gestión que implique I+D, y de esfuerzos triple hélice, se presenta como análisis empírico y metodológico, se presenta un análisis comparativo entre dos metodologías de análisis de fertilidad de suelos y cultivos, que pudiera resultar innovador, pero sobre todo de utilidad al darle certidumbre al productor en la veracidad de los datos-resultado, puesto que son de costos muy asimétricos, el primero, que es de suelo clásico suele estar entre $ 2,500 pesos por muestra por hectárea, y el segundo, en $ 300 pesos por hectárea. En ambos se requiere el análisis e interpretación del ingeniero agrónomo para el plan de producción agrícola correspondiente. En este caso el de plátano macho, para un promedio de 1800 plantas.

ISSN: 2007 8102

Metodología

Materiales

Mediante estrategia triple hélice con impacto en los sistemas productivos del sector agroalimentario, el cual tiene gran importancia después de la pandemia y escasez de fertilizante para el campo, debido el conflicto geopolítico, ante el cual, para la FAO la región agroalimentaria del occidente del país es una de las más productivas [8]. En este contexto, el Valle de Tecomán, objeto del presente estudio, también pertenece a esta región y una de las mas productivas en cuatro sistemas producto, según los sistemas de referencia agroalimentaria del 2022. De esta manera se convierte en urgencia, el apoyar a productores mediante proyectos que los hagan ser más productivos, pues algunos insumos se han incrementado a más del 100% de su costo. De esta manera, se ha trabajado un huerto de banano en el Valle de Tecomán, Colima, México, para su análisis dual: clásico y disruptivo.



Figura 2. Poligonal de cultivo de plátano macho de casi 2 hectáreas, vecina de Laguna Alcuzahue, Cofradía de Morelos, Tecomán, Colima, vista satelital, vecino a pequeño huerto de limón criollo, otro cultivo del sistema producto nacional [9]**,**

Procesos y métodos

La estrategia consistió en desplegar análisis de fertilidad de suelos: in situ (INIFAP) y satelital (Clúster TIC) para posteriormente verificar el contraste de los resultados (UCOL-111) Considerando que el estudio permitirá al productor contar con un plan de acción para mejorar sus procesos productivos, al gestionar planes de acción productivos[10].

Desarrollo

El estudio se realizó bajo un enfoque descriptivo y experimental. Es de esta forma que se ha intervenido una siembra de plátano de casi 2 hectáreas, en media densidad a la vera de un canal de agua. En suelo-franco arenoso, ambos estudios realizados previo a la floración:

a. Análisis con datos empíricos agro irrigación
b. Análisis mediante satélite para cultivos
c. Fertilidad de suelos in situ

Tabla 2. Propiedades generales del suelo INIFAP 2022, datos inherentes a la mecánica del suelo y a entregar información valiosa para el plan de sistemas de riego, al tratarse del análisis de nutrientes básicos para los cultivos. Adaptada de [11]

Información General	Propiedades físicas del suelo	+ Determinaciones
Profundidad de muestra 30.00 cm.	Franco arenoso Arena - 55.00% Arcilla - 15.00% Limo - 30.00% Humedad aprovechable 12.00%	pH (1:2 agua) – 9.0 Alcalino 0.00% libre de carbonatos

 ISSN: 2007 8102

Tabla 3. Análisis de fertilidad INIFAP 2022, datos relativos a los principales micro y macronutrientes, los cuales son indispensables para el enraizamiento de la planta y de su turgencia. Indicando también Ca (8.19%, sug. 65-70%), Mg (15.76%, sug. 15-20%), k(1.96%, sug. 4.5-7%), Na (1.08%, sug. 0-5 %). Adaptada de [11]

Determinación	Unidades en ppm	Índice relativo
MO	0.3%	Muy bajo
N-N0₃	13.89	Med-Mod alto
Ca	2655.20	Alto
Mg	312.64	Mod alto
Mn	12.29	Mod alto

Resultados y discusión

La importancia del contexto y la implementación de proyectos de base tecnológica

Es menester recalcar la importancia en el sistema económico local y nacional que la agroindustria en Colima procesa cada año aproximadamente un millón 150 mil 643 toneladas de productos agrícolas, destacando caña de azúcar, limón, maíz, arroz, copra, mango, naranja, café, leche, atún, harina de pescado y miel de abeja. A los mercados de exportación se destinan 264 mil 324 toneladas de agro productos colimenses, alrededor del 13.4% de la producción promedio anual de la entidad. Destacan el limón mexicano, melón, sandía, plátano, mango y papaya. Otros productos que se exportan aun en menor escala son el jitomate, chile, pepino y zarzamora; posicionándose esta última en el mercado estadounidense por su calidad y vida de anaquel. El estudio realizado por medio de análisis satelital de cultivos[12] representa en sí mismo una ventaja de tipo espacial, debido a que se rompe la barrera geográfica al utilizar los sistemas satelitales para la detección por medio de la fotometría y la espectrometría en cualquier parte del globo terrestre. Se presentan a continuación los resultados de este análisis cuyos datos hoy permiten perfilar al ingeniero agrónomo hola una planeación para el ciclo de vida de un cultivo en particular, en este caso de un pequeño sembradío de plátano macho.

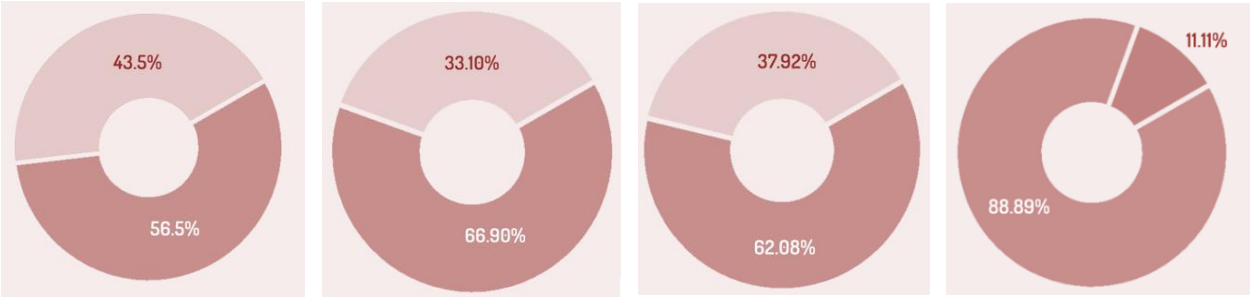


Figura 3. Un 43.5% del área analizada presenta estrés de plantas en general, un 33.10 no ha generado clorofila adecuadamente, el 37.92% con estrés hídrico, sin embargo, un 11.11% con alto nivel de nitrógeno, para un resto de nivel aceptable [9]**.**

Visión sobre organización y gestión moderna

Uno de los propósitos fundamentales del presente de trabajo es mostrar incluso promover la planeación proactiva con fundamento en el modelo de la triple hélice y de la gestión de proyectos de base tecnológica[13] para incidir en el mejoramiento de los procesos productivos del campo mexicano. De acuerdo con esto debemos ser enfáticos en el empleo de la ecuación en la que intervienen elementos proactivos de gestión, de acuerdo con visiones de la planeación y organización científica, la cual se fundamenta en modelos basados en métricas:

a. Administración y gestión agronómica
b. Sistemas basados en métricas
c. Modelo de gestión triple hélice
d. Conocimientos de frontera

 ISSN: 2007 8102

e. Tecnologías disruptivas para el agro

Es de esta manera que el trabajo de hacer producir al campo mexicano tiene como parte central la administración científica moderna la estrategia bien comprendida de la seguridad alimentaria, y el entendimiento de aplicar conocimientos de frontera, así como herramientas disruptivas como lo son el uso de sensores y de dispositivos especiales para el logro de estos propósitos. Es de esta manera qué se corrobora la triada antes planteada y que tiene el propósito de potenciar los efectos positivos en la producción agrícola:

a. Tecnologías IoT para la producción agrícola
b. Evaluación de análisis clásicos versus disruptivos, aplicados al campo
c. La importancia que tienen los proyectos de base tecnológica, en el desarrollo del contexto socioeconómico

Es en este sentido que se puede demostrar y mostrar que en países desarrollados esta visión de estado y de nación se pone en práctica al desarrollar conocimiento de frontera, dejándole a los países en desarrollo el uso y la aplicación de tecnología con patentes no nacionales[14]. Queremos enfatizar la idea replantear la administración al más alto nivel en la que se contemple un propósito de largo aliento, así como lo han trabajado estos países que ya se encuentran produciendo conocimiento para la seguridad alimentaria y no sólo como un propósito de tipo político o social.

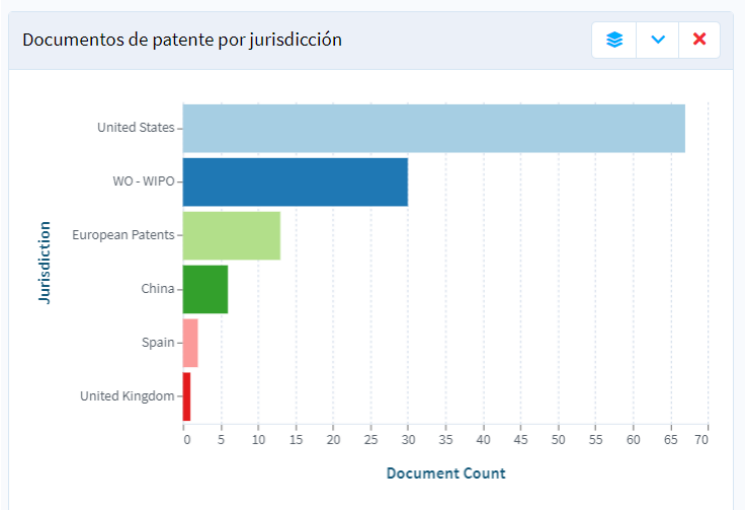


Figura 4. Gráfica correspondiente a documentos que se encuentran en bases de datos y que son patentes en estado de aplicación, relacionadas con la producción del campo. Estas patentes pertenecen generalmente a países desarrollados o altamente tecnificados en los sistemas de producción agrícola [15]**.**

La comparación de datos en estudios de un mismo objetivo

Nitrógeno

El análisis de este micronutriente deja ver que existe una relación de valores en referentes a la fertilidad del suelo, y debido a que este nutriente es paulatinamente consumido en su ciclo de vida de la planta, implica entonces la activación de un programa de fertilización periódica de este.

Estrés hídrico

La evaluación presenta en ambos estudios, niveles equivalentes de afectación, lo cual implica que los datos de muestreo de suelo son en esencia, muy similares a los obtenidos por el método de espectrometría. Se recomienda entonces como estrategia aumentar los intervalos de riego e implementar el desarrollo hormonal de las raíces y la producción de hojas y de toda la planta y en consecuencia aumentar la clorofila.

 ISSN: 2007 8102

Fosforo y potasio

En ambos estudios se verifica una leve deficiencia de fosforo y potasio, por lo tanto, se requiere de realizar un monitoreo y control de los niveles de concentración en el suelo. La permanencia hídrica en el suelo proporciona una protección natural contra daño por patógenos y plagas, y favorece a la turgencia de la planta.

Trabajo futuro

En términos de procesos productivos relacionados con el agro y en especial con el agro mexicano, son muchos los factores y aspectos que aún faltan por cubrir, hablamos aquí de más procesos que pueden ser atendidos con proyectos de base tecnológica. Se considera pues en ese tenor, que para trabajos futuros se atenderán áreas primordiales en estos procesos productivos, considerando los elementos de conocimiento de frontera sin olvidar los aspectos éticos de fondo en la producción y en la seguridad alimentaria[16], [17].

Conclusiones

La presente investigación ha determinado un estudio con fundamento en la gestión de proyectos de frontera para incidir en los procesos productivos del campo mexicano, que en esta ocasión se trató de agricultura desarrollada en la región centro occidente de nuestro país, considerando el caso de un sembradío de 16 hectáreas de plátano macho, al cual se le aplicaron estudios clásicos y estudios disruptivos de fertilidad de suelo y de análisis de estrés hídrico, así como el cruce de datos entre ambos estudios considerando sus nutrientes y las características de la planta desarrollada. También consideró la investigación el hecho de tener encuentra una visión de largo aliento al proponer como estrategia el empleo o la gestión de una planeación proactiva y considerar entre sus estrategias La sinergia que nos ofrece el modelo triple hélice, es de esta manera qué se concluye, que es bastante beneficioso integrar dichos elementos al empujar iniciativas que abonen a un tema tan importante como la seguridad alimentaria, considerando un contexto de futuro, en tiempos de guerra geopolítica y postpandemia global.

Referencias

[1] A. Pérez, M. Milla, and M. Mesa, “Impacto de las tecnologías de la información y la comunicación en la agricultura,” *Cultivos Tropicales*, vol. 27, no. 1, pp. 11–17, 2006.

[2] G. García, “Uso de drones en la agricultura ofrece importantes beneficios al campo,” *The food tech*, Feb. 15, 2021. https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/uso-de-drones-en-la-agricultura-beneficios-para-el-campo/ (accessed Jul. 31, 2023).

[3] F. Herrera Tapia, “Innovaciones tecnológicas en la agricultura empresarial mexicana: Una aproximación teórica,” *Gaceta Laboral* , vol. 12, no. 1, pp. 93–119, 2006, Accessed: Jul. 31, 2023. [Online]. Available: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-85972006000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

[4] G. Fundação, B. Vargas, M. Luengo, ; Jesús, and M. Obeso, “El Efecto de la Triple Hélice en los Resultados de Innovación,” *RAE - Revista de Administração de Empresas*, vol. 53, no. 4, pp. 388–399, 2013, Accessed: Jul. 31, 2023. [Online]. Available: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=155127925006

 ISSN: 2007 8102

[5] M. Lugo Espinosa *et al.*, "Prototipo para automatizar un sistema de riego multicultivo," *Rev Mex De Cienc Agric*, vol. 2, no. 5, pp. 659–672, 2011, Accessed: Jul. 31, 2023. [Online]. Available: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263121118003

[6] M. B. González, E. P. Vélez, C. Scott, and A. E. García, "Estimación del volumen de agua usado en una zona de riego mediante una imagen de satelite e información complementaria," *Agrociencia*, vol. 35, no. 6, pp. 589–597, 2001, Accessed: Jul. 31, 2023. [Online]. Available: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30200602

[7] "DESCARGAS | coeplim." https://www.coeplimcolima.com/descargas (accessed Aug. 14, 2023).

[8] M. J. Ibarrola-Rivas and L. Galicia, "Rethinking Food Security in Mexico: Discussing the Need for Sustainable Transversal Policies Linking Food Production and Food Consumption," *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, vol. 2017, no. 94, pp. 106–121, Dec. 2017, doi: 10.14350/RIG.57538.

[9] "Agriprex | Agricultura de precisión para todos." https://agriprex.com/ (accessed Aug. 14, 2023).

[10] M. E. Gavito *et al.*, "Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México," *Rev Mex Biodivers*, vol. 88, pp. 150–160, Dec. 2017, doi: 10.1016/J.RMB.2017.09.001.

[11] "(2) Facebook." https://www.facebook.com/INIFAPCampoExperimentalTecoman/?locale=es_LA (accessed Aug. 14, 2023).

[12] F. Pech May, J. V. Sánchez Hernández, and H. Sánchez Jacinto, "Análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua mediante el cálculo de índices radiométricos con imágenes Sentinel-2," *Lámpsakos*, no. 24, p. 48, Mar. 2021, doi: 10.21501/21454086.3601.

[13] "Precision Ag Definition | International Society of Precision Agriculture." https://www.ispag.org/about/definition (accessed Aug. 01, 2023).

[14] L. T. Cobas, O. Gutiérrez, and C. C. Payreta, "China in South America: Patents, herbicides, and genetically modified crops," *Estud Asia Afr*, vol. 56, no. 2, pp. 347–372, Aug. 2021, doi: 10.24201/EAA.V56I2.2627.

[15] "Lens Patent Search: sensores agricultura." https://www.lens.org/lens/search/patent/analysis?q=sensores%20agricultura (accessed Aug. 14, 2023).

[16] J. M. Medina Rey, M. L. Ortega Carpio, and G. Martínez Cousinou, "¿Seguridad alimentaria, soberanía alimentaria o derecho a la alimentación? Estado de la cuestión," *Cuadernos de Desarrollo Rural*, vol. 18, Oct. 2021, doi: 10.11144/JAVERIANA.CDR18.SASA.

[17] F. Torres and A. Rojas, "Food security and regional imbalances in mexico," *Probl Desarro*, vol. 51, no. 201, pp. 57–83, Mar. 2020, doi: 10.22201/IIEC.20078951E.2020.201.69521.

 ISSN: 2007 8102

Impacto de la pandemia por COVID-19 en los rendimientos de las acciones del índice S&P/BMV IPC: 2017-2023

Hilda Esperanza Alvarez Tostado Ceballos [1], Juan Fernando García Mejía [2], Pedro Enrique Lizola Margolis[3], Arturo Morales Castro [4]
[1]Universidad Autónoma del Estado de México, healvarezt@uaemex.mx
[2] Centro Universitario UAEM Atlacomulco, fgarciam@uaemex.mx
[3] Universidad Autónoma del Estado de México, plizolam@uaemex.mx
[4]Universidad Nacional Autónoma de México, amorales@fca.unam.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

A causa de la contingencia sanitaria suscitada en 2019, la economía y las cotizaciones de los índices bursátiles mostraron incertidumbre y volatilidad, luchar contra la situación inherente a la inestabilidad del entorno fue complejo, los precios y rendimientos de los activos cotizados en dichas bolsas sufrieron movimientos considerables. El presente trabajo tiene como finalidad analizar el impacto de la pandemia por COVID-19 en los rendimientos de las emisoras que conforman la muestra del índice S&P/BMV IPC en el periodo del 2017-2023, dividido en 5 sub periodos significativos en torno a los acontecimientos de la pandemia.

Para tal fin se recabaron 1521 precios diarios de cierre de dichas emisoras, se realizó un análisis estadístico, pruebas de normalidad, se aplicó el Exponente de Hurst y se calcularon los coeficientes del modelo GARCH (1,1). Con lo anterior se demuestra que los rendimientos de las acciones que cotizan en la Bolsa Mexicana de Valores (BMV) sufrieron afectaciones como consecuencia del incremento en la volatilidad y variación en sus comportamientos, de igual manera, existen periodos de tiempo donde la mayoría de las emisoras se ajustó de manera positiva al modelo GARCH (1,1) y otros donde no es así.

***Palabras clave**: COVID-19, Volatilidad, Exponente de Hurst, Modelo GARCH.*

Abstract

Due to the health contingency that occurred in 2019, the economy and stock index prices showed uncertainty and volatility, fighting against the situation inherent to the unstable environment was complex, the prices and yields of the assets listed on these stock exchanges suffered considerable movements. The purpose of this paper is to analyze the impact of the COVID-19 pandemic on the returns of the issuers that make up the S&P/BMV IPC index sample in the 2017-2023 period, divided into 5 significant sub-periods around the pandemic events.

For this purpose, 1521 daily closing prices of these issuers were collected, a statistical analysis was performed, normality tests were performed, the Hurst Exponent was applied and the coefficients of the GARCH (1,1) model were calculated. The above shows that the returns of the shares listed on the Mexican Stock Exchange (BMV) were affected as a consequence of the increase in volatility and variation in their behavior, likewise, there are periods of time where most of the issuers adjusted positively to the GARCH (1.1) model and others where this is not the case.

***Key words**: COVID-19, Volatility, Hurst exponent, GARCH model.*

ISSN: 2007 8102

Introducción

El mercado bursátil mundial, es el pilar de millones de transacciones de activos financieros negociados diariamente, actividad que impacta de manera directa al sector económico de cada país, relacionando a inversionistas con empresas y entes gubernamentales, generando un impacto en los índices económicos, sin perder de vista la sensibilidad inherente del mercado a factores externos, un acontecimiento contundente fue la contingencia sanitaria por COVID-19 presentada inicialmente en China, la cual se extiende a nivel mundial en 2019 y es declarada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como epidemia el 21 de enero de 2020 y como pandemia el 11 de marzo del mismo año [1] fechas que se tomaron como referencia en México para las investigaciones realizadas.

Al detectarse los primeros casos de contagio y los primeros decesos a nivel mundial, la información transmitida en los medios de comunicación y redes sociales, provocó miedo e incertidumbre entre los inversionistas, provocando reacciones de pánico a nivel mundial en las bolsas de valores, lo cual, se tradujo en caídas de precios, rendimientos negativos y aumento de volatilidad, la cual se define como el riesgo sistemático del precio de las acciones en el mercado bursátil, dado que, en todo mercado financiero es la sumatoria de aspectos sociales, políticos, financieros, económicos, ambientales, etc. que influyen en el precio, también se puede decir que es un parámetro que mide el riesgo y la forma de afrontar la incertidumbre que los inversores suponen al realizar la compra de activos financieros [2].

Por lo anterior se define a la volatilidad como un factor determinante de la toma de decisiones de inversión, considerando que ésta tiende a aumentar en momentos críticos o de incertidumbre y que la conceptualización y cálculo de la volatilidad tendrá significado distinto en otras series de mercados financieros como el mercado cambiario por ejemplo, sin embargo, el interés de la investigación es estudiar la volatilidad que se tiene como memoria a largo plazo, por ello la propuesta del exponente de Hurts para medir el impacto de la pandemia dentro de los mercados de valores, específicamente en el caso de México.

Actualmente, la literatura existente sobre el tema es limitada, dado que, las investigaciones afines, consideran el periodo del 2019 al 2021 sin considerar un análisis previo o posterior a la pandemia que permita realizar comparativos cuantitativos al respecto, o bien, que determinen los cambios de comportamiento y tendencia del mercado. Además, los análisis documentados son realizados a escala global, en el caso de México están centrados en el sector salud sin estudiar los impactos en los sectores económicos y financieros, siendo esto una oportunidad de enriquecimiento del estado del arte, por tal motivo el objetivo de esta propuesta es mostrar el impacto de la pandemia por COVID-19 en los rendimientos de las acciones del índice S&P/BMV IPC en el periodo de junio del 2017 a junio de 2023, analizando los precios diarios de cierre de las emisoras que actualmente conforman el índice.

Con los rendimientos de las acciones se realizó un análisis estadístico, calculando la media, desviación estándar, asimetría y curtosis; se realizaron pruebas de normalidad; se aplicó el Exponente de Hurst y finalmente se calcularon los coeficientes del modelo GARCH (1,1), en el entendido de que los modelos de volatilidad condicional de la llamada familia GARCH (ARCH, GARCH, IGARCH, EGARCH, ARCH-M, TARCH) son los más utilizados y probados en la literatura de econometría financiera, en este trabajo solo se calcula el modelo GARCH como referente inicial para contrastarlo con otras metodologías propuestas en esta investigación, ya que la finalidad no es probar la eficiencia de los modelos de la familia GARCH, sino proponer otras metodologías para identificar el comportamiento del mercado.

En la literatura especializada se documenta el uso exhaustivo de modelos regresivos en mercados financieros de países desarrollados, sin embargo, hay pocos estudios sobre su aplicabilidad en el modelado de mercados financieros en países como los latinoamericanos, por esa razón se propone en este trabajo el uso del modelo GARCH asumiendo, que el comportamiento será simétrico, es decir las noticias positivas y negativas tienen el mismo impacto sobre la volatilidad de los rendimientos. Dichos procedimientos son aplicados comparando los resultados en cinco periodos relevantes en torno a la pandemia, siguiendo los anuncios de la OMS durante el transcurso de la misma.

Con el fin de cumplir el objetivo planteado, el trabajo se divide en cinco secciones: primero los fundamentos teóricos; seguido de la metodología; después los resultados obtenidos; posteriormente se propone la línea de trabajo futuro y finalmente las conclusiones.

Fundamentos Teóricos

Es necesario considerar, para realizar el análisis propuesto en este trabajo, la distribución que siguen los rendimientos de la muestra de los datos del índice S&P/BMV IPC para los diferentes periodos de tiempo considerados en esta propuesta, con este fin se realiza una prueba de normalidad atreves del test de Kolmogorov-Smirnov, que parte de los siguientes supuestos:

H_0: Los datos provienen de una población que se distribuye normalmente
H_1: Los datos provienen de una población que no se distribuye normalmente

El test de Kolmogorov-Smirnov, es una prueba de bondad de ajuste utilizada para determinar la normalidad de los datos muestrales, especialmente cuando ésta es grande y se está trabajando con procesos no lineales e interactivos [3], dado que, éstos podrían sesgar los datos hacia distribuciones no gaussianas donde el estadístico se describe de la siguiente manera: $F_n(x) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left\{\frac{1:si\ y_i \leq x_i}{0:alternativa}\right\}$ Dónde: F(x) es la distribución presentada como hipótesis y los valores críticos de este estadístico se obtienen aplicando la corrección de significación propuesta por Lilliefors. [4]

El exponente de Hurst es utilizado como una medida estadística que define patrones en los rendimientos de los activos financieros midiendo la memoria o dependencia a largo plazo, es decir, la influencia de los rendimientos históricos en los presentes y futuros de la acción y se define con la ecuación: $\left(\frac{R}{S}\right)n = cn^H$, donde H es el exponente buscado, si éste es igual a 0.5 indica un comportamiento aleatorio en los rendimientos, un valor entre 0.5 y 1 da indicios de memoria a largo plazo y un valor entre 0 y 0.5 indica carencia de tendencia, más bien tiene reversión hacia la media. [5]

En el contexto de los modelos autorregresivos y de medias móviles, se aplicó el Modelo Autoregresivo Generalizado de Heterocedasticidad Condicional (Generalized Auto Regressive Conditional Heteroscedasticity, GARCH, por sus siglas en inglés), el cual, está sustentado en los modelos Autoregresivos ARMA y los modelos Autorregresivo de Heterocedasticidad Condicionada ARCH, sin embargo, los modelos GARCH reducen el número de parámetros autoregresivos que explican el comportamiento dinámico de la varianza, retardando la varianza condicional, es decir, el cuadrado de los errores rezagados *q* periodos. [6]

Para el estudio se utilizaron los modelos GARCH, dado que, son los ideales para ajustar series de tiempo con exceso de curtosis y volatilidad agrupada, conservando características autoregresivas a causa de la dependencia histórica de la varianza y heterocedásticas, debido al ajuste de la varianza con la serie. Este tipo de modelos son aplicados en la predicción de volatilidad a corto y mediano plazo, dado que, consideran la volatilidad del período previo, lo cual no ocurre en los modelos ARCH [7]. El modelo GARCH (*p, q*) se denota con la siguiente expresión: $\sigma_t^2 = w + \sum_{i=1}^{q} \propto_{\mathrm{i}} \epsilon_{t-\mathrm{i}}^2 + \sum_{j=1}^{p} \beta_{\mathrm{j}} \sigma_{t-\mathrm{j}}^2$ Donde: w es una contante $w > 0$; $\propto_1 y\ \beta_1$ son los coeficientes de los parámetros que determinan la importancia de los términos de los errores al cuadrado y la varianza condicional histórica de la ecuación, respectivamente, $\propto_1 y\ \beta_1 \geq 0$, $\propto_1 + \beta_1 < 1$, ϵ_t es ruido blanco con media cero y varianza finita $Var(w_t) = \frac{\propto_0}{1-\propto_1-\beta_1}$. [2, 8, 9, 10]

Metodología

Con el fin de analizar el impacto de la pandemia por COVID-19 en la volatilidad de los rendimientos del mercado financiero mexicano, se consideró como población las emisoras pertenecientes a la BMV y de manera inherente, la muestra previamente definida por las 36 emisoras que conforman el índice S&P/BMV IPC, actualizadas al 31 de mayo del año en curso, las cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Emisoras que conforman el índice S&P/BMV IPC en 2023. Elaboración Propia con datos de [11, 12 y 13]

Emisora	Activo	Emisora	Activo
Alfa S.A. A	ALFA A	Grupo Aeroportuario del Pacifico, S.A.B. de C.V.	GAP B
Alsea S.A.	ALSEA *	Grupo Aeroportuario del Sureste S.A.B. de C.V. B	ASUR B
América Móvil S.A.B. de C.V. B	AMX B	Grupo Bimbo S.A.B.	BIMBO A
Arca Continental, S.A.B. de C.V.	AC *	Grupo Carso S.A.B. de C.V.	GCARSO A1
Banco del Bajío, S.A.	BBAJIO O	Grupo Cementos de Chihuahua S.A.B. de C.V.	GCC *
Becle, S.A. De C.V.	CUERVO *	Grupo Elektra S.A.B. de C.V.	ELEKTRA *
Bolsa Mexicana de Valores S.A. de C.V.	BOLSA A	Grupo Financiero Banorte O	GFNORTE O
Cemex S.A. CPO	CEMEX CPO	Grupo Financiero Inbursa O	GFINBUR O
Coca-Cola Femsa S.A.B. de C.V.	KOF UBL	Grupo México S.A.B. de C.V. B.	GMEXICO B
Controladora Axtel S.A.B. de C.V. A	CTAXTEL A	Grupo Televisa S.A.B. C.P.O.	TLEVISA CPO
Controladora Vuela Compañía de Aviación S.A.B. de C.V.	VOLAR A	Industrias Peñoles, S.A.B. de C.V.	PE&OLES
Corporación Inmobiliaria Vesta, S.A.B. DE C.V.	VESTA *	Kimberly Clark de México S.A.B. de C.V. A.	KIMBER A
El Puerto de Liverpool S.A.B. de C.V.	LIVEPOL C-1	Megacable Holdings S.A.B. de C.V.	MEGA CPO
Fomento Económico Mexicano S.A.B. de C.V.	FEMSA UBD	Orbia Advance Corporation S.A.B. de C.V.	ORBIA *
Genomma Lab Internacional S.A. de C.V.	LAB B	Promotora y Operadora de Infraestructura S.A.B. de C.V.	PINFRA *
Gentera S.A.B. de C.V.	GENTERA *	Qualitas Controladora S.A.B de C.V.	Q *
Gruma S.A.B. B	GRUMA B	Regional, S.A. de C.V.	R A
Grupo Aeroportuario del Centro Norte, S.A.B. de C.V.	OMA B	Wal-Mart de México S.A.B. de C.V.	WALMEX *

Se consideraron los precios diarios de cierre de las emisoras de la muestra, en el periodo del 15/06/2017 al 15/06/2023, datos obtenidos de las páginas de Infosel y Yahoo! Finanzas, los cuales se dividieron en cinco periodos de tiempo de acuerdo a las etapas de desarrollo de la crisis sanitaria, fechas que fueron adaptadas según el desarrollo de la pandemia y soportadas por los avisos emitidos por la OMS [1] de la siguiente manera:

1. 15/01/2017 al 31/11/2019 Previo a los primeros brotes
2. 01/12/2019 al 10/03/2020 Primeros casos confirmados a nivel mundial
3. 11/03/2020 al 15/12/2021 Se declara la pandemia en México, casos confirmados moderados
4. 16/12/2021 al 15/11/2022 Repunte de casos confirmados en México
5. 16/11/2022 al 15/06/2023 Disminuyen los casos confirmados en México

Con el fin de dar respuesta al objetivo planteado y dimensionar el impacto de la alerta sanitaria en la volatilidad del mercado financiero mexicano, se comenzó realizando un análisis descriptivo y el cálculo de las desviaciones estándar de los rendimientos diarios, posteriormente se aplicó la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, se realizó el cálculo del Exponente de Hurst y finalmente los modelos GARCH verificando la presencia de memoria a largo plazo y la posibilidad de realizar pronósticos de la tendencia en el comportamiento de los rendimientos.

Resultados y Discusión

De manera inicial se realizó un análisis descriptivo comparativo en los diferentes periodos considerados, con la finalidad de verificar si hay cambios en el comportamiento de los rendimientos, respecto a la media, desviación estándar, asimetría y curtosis, resultados que se exponen en la Tabla 2, donde se observa que, en el segundo y cuarto periodo, momento de aumento de casos confirmados por Covid-19 en México, el 75% y 30.5% de emisoras respectivamente, muestran presencia de promedios negativos en los rendimientos, comparado con el primer periodo con 25%, el tercero con 2.77% y el quinto con 16.66%. Respecto a la desviación estándar como medida de volatilidad en el mercado, se observa que el 88.88% de las emisoras mostró mayor volatilidad al declararse los primeros casos a nivel mundial, el 63.88% de las emisoras, alcanzó su nivel de volatilidad más alto en el tercer periodo, el 16.66% en el cuarto y el 5.55% en el quinto.

Tabla 2. Análisis estadístico por periodos. Elaboración Propia con datos de [11 y 12]

	Media					Desv. Desviación					Asimetría					Curtosis				
Emisora/Periodo	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
IPC	-0.0002	-0.0012	0.0006	0.0000	0.0005	0.0087	0.0142	0.0124	0.0106	0.0089	-0.7234	-1.3277	-0.3295	0.0339	0.0355	5.6752	5.7201	2.3016	-0.5237	0.2665
AC *	-0.0005	0.0007	0.0005	0.0009	0.0005	0.0122	0.0128	0.0141	0.0154	0.0142	0.0465	0.9630	0.1651	0.3480	0.0018	1.2488	6.0163	2.0001	2.3718	0.3134
ALFA A	-0.0009	-0.0038	0.0006	-0.0003	-0.0015	0.0175	0.0228	0.0323	0.0192	0.0210	-0.2684	-0.2030	-0.4214	-0.4568	-0.3690	1.3145	1.6386	17.2450	1.4440	6.6474
ALSEA *	-0.0004	-0.0045	-0.0002	0.0003	0.0029	0.0158	0.0210	0.0349	0.0209	0.0161	0.1957	-0.8054	-3.3158	-0.0791	0.0634	1.8401	2.2464	34.3937	1.4736	0.6070
AMX B	0.0000	0.0009	0.0005	-0.0001	-0.0001	0.0168	0.0104	0.0179	0.0165	0.0132	-0.2352	0.1930	-0.5285	-0.1333	-6.7185	10.0112	2.8376	8.0054	5.7415	70.2718
ASUR B	-0.0001	-0.0010	0.0006	0.0007	0.0005	0.0153	0.0215	0.0243	0.0172	0.0154	-0.1621	-0.4967	0.1188	-0.2790	-0.0482	1.3331	1.7042	5.0864	0.6090	0.5929
BBAJIO O	0.0000	-0.0009	0.0005	0.0021	-0.0004	0.0149	0.0163	0.0257	0.0201	0.0205	-0.6349	-0.2527	-0.4544	-0.3766	0.2950	4.5953	0.5376	2.7921	5.3221	1.0761
BIMBO A	-0.0005	-0.0027	0.0017	0.0016	0.0006	0.0156	0.0225	0.0234	0.0244	0.0138	0.0387	-1.1340	0.5056	0.0090	0.1949	3.0456	5.1462	4.7868	1.0530	-0.4640
BOLSA A	0.0005	-0.0004	-0.0002	-0.0002	0.0001	0.0165	0.0174	0.0239	0.0186	0.0128	0.1481	0.0707	1.0483	-0.4320	-1.3004	0.9707	0.2316	14.3981	1.1555	6.2576
CEMEX CPO	-0.0013	-0.0034	0.0019	-0.0017	0.0025	0.0189	0.0286	0.0298	0.0270	0.0203	0.0092	-0.4176	0.4939	0.0920	0.7908	1.8870	1.1785	1.2897	0.2334	1.6497
CTAXTEL A	-0.0002	0.0045	-0.0001	-0.0039	-0.0039	0.0209	0.0258	0.0287	0.0333	0.0569	0.1200	0.1655	0.2725	0.3103	-0.5994	1.8479	1.6519	3.8941	2.6276	39.0664
CUERVO *	0.0000	-0.0008	0.0011	-0.0008	-0.0001	0.0152	0.0169	0.0200	0.0174	0.0139	-1.3544	0.0525	0.4348	0.1889	0.0224	17.4573	0.4664	2.1112	0.5460	0.3883
ELEKTRA *	0.0009	-0.0006	0.0001	-0.0015	0.0011	0.0184	0.0072	0.0078	0.0147	0.0160	0.3581	-0.5003	1.2995	0.1977	0.1443	4.7703	3.4554	9.4395	3.6361	0.2235
FEMSA UBD	0.0000	-0.0023	0.0000	-0.0001	0.0016	0.0115	0.0154	0.0184	0.0157	0.0126	0.1132	-1.2793	0.8873	-0.4155	2.2963	1.4080	4.7998	6.2189	1.6961	12.9921
GAP B	0.0001	0.0001	0.0007	0.0008	0.0000	0.0150	0.0238	0.0286	0.0217	0.0191	-0.1778	0.9985	-0.9464	-0.2173	-0.4576	1.2278	5.1583	7.9693	0.2627	1.1230
GCARSO A1	-0.0003	-0.0025	0.0002	0.0015	0.0023	0.0193	0.0296	0.0271	0.0230	0.0201	0.1852	0.5284	-0.3533	0.5895	-0.0933	0.7700	1.9697	4.1961	1.2792	1.2352
GCC *	0.0003	-0.0017	0.0011	-0.0004	0.0009	0.0135	0.0177	0.0193	0.0188	0.0166	0.7258	-2.3816	-0.1471	0.2913	0.1640	2.4149	12.9306	2.7331	0.3181	1.6567
GENTERA *	-0.0008	-0.0012	-0.0006	0.0020	-0.0004	0.0222	0.0232	0.0357	0.0222	0.0220	0.0264	-0.5993	0.3220	0.3671	0.1285	3.1126	1.1674	7.1805	0.4894	0.8340
GFINBUR O	-0.0005	-0.0025	0.0002	0.0023	0.0012	0.0170	0.0248	0.0254	0.0235	0.0195	-0.2324	-0.1200	-0.6333	0.2114	0.2278	2.8708	1.6546	5.7336	0.1858	0.0188
GFNORTE O	-0.0001	-0.0012	0.0006	0.0009	-0.0005	0.0200	0.0233	0.0276	0.0232	0.0201	-1.3565	-1.0478	-0.4834	0.1812	0.2432	8.0243	3.6505	2.5472	0.8826	1.3507
GMEXICO B	0.0000	-0.0017	0.0015	-0.0004	0.0005	0.0178	0.0271	0.0243	0.0285	0.0260	0.0926	-0.0256	0.1363	0.4155	-0.0676	0.7819	1.0694	0.9721	0.7772	1.7177
GRUMA B	-0.0003	-0.0012	0.0008	-0.0006	0.0013	0.0135	0.0143	0.0185	0.0189	0.0158	0.3816	-0.3291	0.0727	0.2208	0.3232	1.7272	-0.3358	2.7640	1.5276	0.3320
KIMBER A	0.0000	-0.0011	-0.0003	0.0004	0.0012	0.0162	0.0204	0.0187	0.0198	0.0131	-0.0456	0.1945	0.3848	-0.1540	0.0194	0.6168	1.6317	3.9980	0.2087	0.3716
KOF UBL	-0.0005	-0.0024	0.0001	0.0041	0.0010	0.0146	0.0195	0.0197	0.0496	0.0120	-0.0689	-2.4405	-0.7209	13.1612	0.0535	1.4331	10.9994	3.1126	190.9441	-0.0384
LAB B	-0.0004	0.0000	0.0003	-0.0011	-0.0008	0.0213	0.0214	0.0239	0.0210	0.0207	0.0103	-0.4813	-0.1583	0.1811	-0.9528	1.9787	1.2309	7.1858	0.4498	3.7073
LIVEPOL C-1	-0.0006	-0.0012	0.0000	0.0008	0.0004	0.0170	0.0206	0.0242	0.0169	0.0119	-0.1990	-1.3101	-0.2840	0.0198	-0.0456	3.1779	8.0294	5.5253	0.6309	-0.1031
MEGA CPO	-0.0001	-0.0016	0.0001	-0.0013	-0.0009	0.0142	0.0180	0.0185	0.0178	0.0231	0.1060	0.0192	0.5786	0.1375	0.5791	3.1066	1.6759	3.3459	0.1633	5.5480
OMA B	0.0004	-0.0014	0.0003	0.0009	0.0009	0.0163	0.0238	0.0285	0.0186	0.0188	-0.6445	-0.3215	-0.1299	-0.5117	-0.6036	5.3040	4.6062	6.3505	1.9548	0.8069
ORBIA *	-0.0002	-0.0031	0.0009	-0.0012	-0.0002	0.0167	0.0305	0.0250	0.0183	0.0198	-0.0565	0.9530	-0.5581	-0.1508	0.4663	3.7777	6.0244	8.4526	0.1957	1.0319
PE&OLES *	-0.0011	-0.0022	0.0007	0.0006	-0.0001	0.0219	0.0241	0.0302	0.0347	0.0285	-0.4924	-0.1759	0.6477	0.8484	0.1400	2.7778	0.6698	5.6992	6.1371	1.3550
PINFRA *	0.0000	-0.0003	-0.0004	0.0004	0.0007	0.0129	0.0161	0.0191	0.0154	0.0170	0.2326	-0.2283	-0.4722	-0.0942	-0.1241	0.7298	2.7654	4.0237	1.2746	0.6664
Q *	0.0015	0.0005	0.0003	-0.0007	0.0025	0.0155	0.0201	0.0222	0.0174	0.0156	0.3062	0.1089	0.0686	0.4725	0.2109	7.0009	0.9979	10.7734	2.7904	0.6396
R A	0.0000	-0.0015	0.0000	0.0018	-0.0005	0.0152	0.0190	0.0290	0.0219	0.0194	-0.0919	-0.3036	-0.8683	-0.1793	-0.3594	3.1216	0.7186	6.8936	1.8003	1.5049
TLEVISA CPO	-0.0012	-0.0040	0.0004	-0.0024	-0.0014	0.0191	0.0254	0.0318	0.0231	0.0253	-0.1370	-0.7651	0.7944	0.1483	-0.6725	1.7442	2.0244	6.8495	0.7595	1.9421
VOLAR A	-0.0003	-0.0038	0.0017	-0.0022	0.0015	0.0247	0.0293	0.0373	0.0373	0.0278	-1.2407	-1.7448	-1.9344	-0.7267	0.2424	12.0384	5.4680	17.5020	3.1966	2.6560
VESTA *	0.0004	0.0001	0.0003	0.0005	0.0020	0.0145	0.0156	0.0199	0.0158	0.0144	0.0332	0.8829	0.8137	0.3455	0.0646	2.5853	1.2026	8.9534	1.9844	0.8866
WALMEX *	0.0004	0.0011	0.0006	-0.0002	-0.0003	0.0151	0.0179	0.0175	0.0167	0.0140	-0.4487	0.0690	-0.0891	0.2803	0.2512	2.8567	0.5515	0.8714	0.0334	1.6644

En lo concerniente a la asimetría, para el primer periodo, se tiene que: el 47.22% de las emisoras mostraron asimetría positiva y el mismo porcentaje aplica para las de asimetría negativa, sólo dos emisoras se acercan a una distribución simétrica; en el segundo periodo: el 30.55% son simétricas a la derecha y el 69.44% hacia la izquierda, lo cual significa que, se inclina más hacia los rendimientos negativos; en el tercer periodo: el 47.22% son simétricas positivas y el 52.77% negativas; en el cuarto y quinto periodo, mostrando una recuperación de los rendimientos, el 61.11% mostró asimetría positiva y el 38.88% negativa, el índice se mantuvo siempre sesgado a la derecha.

Finalmente, en este análisis se analizó la curtosis, describiendo el grado de concentración de datos alrededor de la media, es decir, como una distribución agrupa datos en los extremos (colas) en comparación con una distribución normal con la misma varianza. En los resultados se observó que, en el primero, tercero y cuarto periodos todas las emisoras mostraron curtosis positiva, lo que indica que la distribución es leptocúrtica, con la mayoría de sus datos cercanos a la media, es decir, poco dispersos; en el periodo 2, únicamente una emisora muestra valor negativo, lo que implica que los rendimientos están más dispersos y su distribución es platicúrtica, el resto continúan siendo leptocúrticas; en el último periodo esta característica se muestra en tres emisoras, el resto continúa de manera positiva.

En la Tabla 3 se muestra los resultados de aplicar la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, donde se refiere que, en el periodo 1 y 3, el 97.22% de las emisoras generan rendimientos que no se comportan de acuerdo a la distribución normal; para el segundo y cuarto periodo, las emisoras con tendencia a una distribución normal en sus rendimientos conforman un porcentaje de 38.88% y 52.77% respectivamente; en el último periodo, los rendimientos del 72.22% de las emisoras se comportan de manera normal, lo cual, difiere en cierta medida, al comportamiento descrito previamente, el cual, mostraba comportamiento leptocúrtico y no mesocúrtico.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 3. Aplicación de Prueba de Normalidad. Elaboración Propia con datos de [11 y 12]

	Pruebas de Normalidad									
	Periodo 1		Periodo 2		Periodo 3		Periodo 4		Periodo 5	
	Kolmogorov-Smirnov[a]		Kolmogorov-Smirnov[a]		Kolmogorov-Smirnov[a]		Kolmogorov-Smirnov[a]		Kolmogorov-Smirnov[a]	
	Estadístico	Sig.	Estadístico	Sig.	Estadístico	Sig.	Estadístico	Sig.	Estadístico	Sig.
IPC	0.488	0.000	0.481	0.000	0.488	0.000	0.488	0.000	0.487	0.000
AC *	0.061	0.000	0.178	0.000	0.068	0.000	0.038	.200*	0.047	.200*
ALFA A	0.047	0.002	0.133	0.005	0.067	0.000	0.086	0.000	0.045	.200*
ALSEA *	0.024	.200*	0.111	0.039	0.136	0.000	0.051	.200*	0.100	0.001
AMX B	0.059	0.000	0.104	0.067	0.121	0.000	0.054	0.092	0.056	.200*
ASUR B	0.294	0.000	0.335	0.000	0.244	0.000	0.274	0.000	0.439	0.000
BBAJIO O	0.046	0.003	0.102	0.075	0.080	0.000	0.036	.200*	0.069	0.091
BIMBO A	0.065	0.000	0.074	.200*	0.062	0.000	0.090	0.000	0.069	0.093
BOLSA A	0.055	0.000	0.095	.200*	0.074	0.000	0.065	0.019	0.051	.200*
CEMEX CPO	0.052	0.000	0.063	.200*	0.094	0.000	0.057	0.064	0.100	0.001
CTAXTEL A	0.057	0.000	0.106	0.057	0.064	0.000	0.047	.200*	0.092	0.004
CUERVO *	0.072	0.000	0.105	0.058	0.092	0.000	0.082	0.001	0.261	0.000
ELEKTRA *	0.086	0.000	0.066	.200*	0.076	0.000	0.041	.200*	0.060	.200*
FEMSA UBD	0.105	0.000	0.118	0.020	0.148	0.000	0.146	0.000	0.071	0.073
GAP B	0.052	0.000	0.133	0.004	0.095	0.000	0.044	.200*	0.113	0.000
GCARSO A1	0.045	0.004	0.117	0.023	0.097	0.000	0.058	0.052	0.065	.200*
GCC *	0.040	0.021	0.127	0.009	0.059	0.001	0.059	0.050	0.056	.200*
GENTERA *	0.104	0.000	0.149	0.001	0.073	0.000	0.059	0.049	0.074	0.050
GFINBUR O	0.087	0.000	0.099	0.098	0.091	0.000	0.052	.200*	0.058	.200*
GFNORTE O	0.050	0.001	0.103	0.073	0.088	0.000	0.045	.200*	0.055	.200*
GMEXICO B	0.068	0.000	0.144	0.001	0.066	0.000	0.045	.200*	0.056	.200*
GRUMA B	0.049	0.001	0.070	.200*	0.042	0.056	0.050	.200*	0.056	.200*
KIMBER A	0.058	0.000	0.076	.200*	0.080	0.000	0.084	0.000	0.044	.200*
KOF UBL	0.037	0.044	0.098	0.171	0.080	0.000	0.041	.200*	0.061	.200*
LAB B	0.037	0.043	0.171	0.000	0.074	0.000	0.276	0.000	0.053	.200*
LIVEPOL C-1	0.065	0.000	0.089	.200*	0.076	0.000	0.039	.200*	0.045	.200*
MEGA CPO	0.045	0.004	0.113	0.031	0.077	0.000	0.043	.200*	0.043	.200*
OMA B	0.075	0.000	0.084	.200*	0.108	0.000	0.061	0.037	0.108	0.000
ORBIA *	0.062	0.000	0.146	0.001	0.112	0.000	0.094	0.000	0.056	.200*
PE&OLES *	0.069	0.000	0.184	0.000	0.070	0.000	0.034	.200*	0.044	.200*
PINFRA *	0.039	0.024	0.083	.200*	0.082	0.000	0.078	0.002	0.085	0.012
Q *	0.063	0.000	0.126	0.009	0.084	0.000	0.048	.200*	0.049	.200*
R A	0.071	0.000	0.108	0.048	0.121	0.000	0.069	0.009	0.048	.200*
TLEVISA CPO	0.040	0.016	0.052	.200*	0.078	0.000	0.071	0.006	0.060	.200*
VOLAR A	0.051	0.000	0.114	0.028	0.086	0.000	0.033	.200*	0.063	.200*
VESTA *	0.069	0.000	0.179	0.000	0.093	0.000	0.063	0.025	0.102	0.001
WALMEX *	0.074	0.000	0.081	.200*	0.092	0.000	0.079	0.001	0.050	.200*

La Tabla 4 muestra los resultados de la aplicación del Exponente de Hurst como indicador de memoria a largo plazo en los rendimientos de las emisoras en los distintos periodos de estudio y la Tabla 5 un resumen de dichos resultados, como se observa, el mayor número de emisoras mantuvo memoria a largo plazo, dado que, su comportamiento es persistente, lo que se considera como fractal o con tendencia definida, el comportamiento aleatorio se presentó en el menor porcentaje de emisoras, incluso fue nulo en tres periodos, el comportamiento antipersistente o reversible a la media se presentó en un porcentaje reducido, siendo menor en los periodos de estabilidad que de incertidumbre.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 4. Aplicación del Exponente de Hurst. Elaboración Propia con datos de [11 y 12]

		Periodos								Periodos					
	Emisora	Completo	1	2	3	4	5		Emisora	Completo	1	2	3	4	5
	IPC	0.5385	0.5448	0.5546	0.5043	0.6507	0.5809								
1	AC *	0.4925	0.4434	0.3814	0.4889	0.4706	0.4489	19	GFNORTE O	0.5138	0.5180	0.5893	0.5489	0.6168	0.4345
2	ALFA A	0.5640	0.5576	0.5943	0.5838	0.4464	0.5306	20	GMEXICO B	0.5339	0.5748	0.5500	0.5694	0.5740	0.5083
3	ALSEA *	0.6020	0.6216	0.3995	0.6398	0.5458	0.6248	21	GRUMA B	0.5002	0.5429	0.7044	0.5792	0.5336	0.5347
4	AMX B	0.4800	0.4737	0.4444	0.5086	0.6047	0.5265	22	KIMBER A	0.4652	0.4851	0.3875	0.4368	0.4639	0.5523
5	ASUR B	0.5353	0.5405	0.6235	0.5028	0.4473	0.5784	23	KOF UBL	0.5539	0.5197	0.6629	0.5401	0.5235	0.5676
6	BBAJIO O	0.6348	0.5671	0.4153	0.6301	0.6467	0.6139	24	LAB B	0.5160	0.5660	0.6464	0.4492	0.6494	0.6158
7	BIMBO A	0.4975	0.4763	0.5598	0.4862	0.4521	0.5186	25	LIVEPOL C-1	0.5619	0.5301	0.6536	0.5959	0.5921	0.7116
8	BOLSA A	0.4591	0.4894	0.5398	0.5665	0.4732	0.5452	26	MEGA CPO	0.4969	0.4835	0.4310	0.4976	0.5428	0.5886
9	CEMEX CPO	0.5926	0.5791	0.6893	0.5736	0.6059	0.5222	27	OMA B	0.5329	0.5999	0.6075	0.5703	0.5072	0.5921
10	CTAXTEL A	0.6044	0.5914	0.7536	0.6857	0.5940	0.5764	28	ORBIA *	0.5588	0.6201	0.5365	0.5613	0.6192	0.4855
11	CUERVO *	0.5219	0.5841	0.5542	0.5461	0.5697	0.5711	29	PE&OLES *	0.5167	0.5130	0.4236	0.5950	0.6030	0.4746
12	ELEKTRA *	0.6362	0.6465	0.5497	0.7237	0.5347	0.6318	30	PINFRA *	0.4586	0.5370	0.5616	0.4521	0.5786	0.5058
13	FEMSA UBD	0.4974	0.4119	0.5211	0.5634	0.6001	0.4736	31	Q *	0.5676	0.6197	0.6826	0.6212	0.5901	0.6238
14	GAP B	0.5177	0.5786	0.6296	0.5110	0.5282	0.6292	32	R A	0.5974	0.5360	0.5746	0.6309	0.6976	0.6348
15	GCARSO A1	0.5084	0.4819	0.6936	0.5501	0.4905	0.5342	33	TLEVISA CPO	0.5910	0.6083	0.8327	0.6041	0.5635	0.5534
16	GCC *	0.5880	0.5378	0.4685	0.6217	0.5272	0.6417	34	VESTA *	0.5624	0.6071	0.6546	0.5625	0.6418	0.5857
17	GENTERA *	0.6300	0.6010	0.6522	0.6311	0.5162	0.5289	35	VOLAR A	0.4709	0.4717	0.6550	0.5537	0.4697	0.5180
18	GFINBUR O	0.5563	0.4517	0.5298	0.4737	0.6966	0.5540	36	WALMEX *	0.4064	0.4091	0.4385	0.8008	0.4606	0.4548

Tabla 5. Comportamiento de los Rendimientos de las Emisoras según el Exponente de Hurst.

Periodos	% Antipersistente	% Aleatorio	% Persistente o Fractal
Completo	27.78	-	72.22
1	30.56	-	69.44
2	25	-	75
3	19.4	5.6	75
4	25	2.8	72.2
5	16.7	5.6	77.8

El comportamiento del índice S&P/BMV IPC en conjunto en todos los periodos fue persistente o fractal, con excepción del tercero, a pesar de los periodos de volatilidad causados por el aumento de los contagios por COVID-19 en México, con ello, se puede deducir que el mercado bursátil mexicano mantuvo un comportamiento fractal durante el proceso de la pandemia, únicamente el periodo tres se acercó a ser aleatorio. Lo anterior concluye que, a pesar de los momentos de incertidumbre y volatilidad, las emisoras en su mayoría conservan las propiedades de persistencia o fractalidad en su comportamiento, afirmando que los datos de las series tienen memoria a largo plazo, lo cual, permite tomar como referencia datos históricos para realizar pronósticos a futuro.

En la Tabla 6 se muestran los parámetros de la aplicación de los modelos GARCH (1,1) para cada periodo, con ellos se realizaron comparaciones de los datos estimados y observados para los rendimientos de las emisoras, encontrando que el 94.44% de las emisoras y el índice se ajustan de manera satisfactoria al modelo GARCH (1,1) en el periodo completo; a diferencia de los periodos subsecuentes, donde el ajuste corresponde al 69.44%, 25%, 77.77%, 13.88% y 8.33% respectivamente, el resto de las emisoras mostró diferencias en los valores estimados y observados.

Con lo anterior, se observó que, en los periodos de mayor volatilidad, que corresponden al 2, 4 y 5, los modelos GARCH (1,1) no son los modelos de mejor ajuste para las series de rendimientos del mercado bursátil e indica que es necesario recurrir a otro modelo de ajuste y predicción de los datos, en momentos de alta volatilidad o incertidumbre.

Tabla 6. Parámetros del Modelo GARCH (1,1). Elaboración Propia con Datos de [11 y 12]

Modelos GARCH (1,1) para el Periodo Completo (1/01/2017-15/06/2023)																	
Parámetros	IPC	AC *	ALFA A	ALSEA *	AMX B	ASUR B	BBAJIO O	BIMBO A	BOLSA A	CEMEX CPO	CTAXTEL A	CUERVO *	ELEKTRA *	FEMSA UBD	GAP B	GCARSO A1	GCC *
μ	0.0000	0.0003	-0.0008	0.0002	0.0003	0.0003	0.0005	0.0003	0.0002	0.0000	-0.0003	0.0000	0.0003	0.0002	0.0005	0.0002	0.0004
ω	0.0000	0.0001	0.0000	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
a1	0.1386	0.1955	0.0955	0.2707	0.0000	0.1236	0.1166	0.0506	0.1151	0.0499	0.3428	0.0373	0.1506	0.1631	0.1157	0.1230	0.2036
b1	0.8260	0.4963	0.8599	0.1983	0.5450	0.8281	0.7700	0.9261	0.7942	0.9339	0.5040	0.9121	0.8264	0.7282	0.8491	0.8352	0.6265
Modelos GARCH (1,1) para el Periodo 1 (1/06/2017-31/11/2019)																	
μ	-0.0002	-0.0004	-0.0011	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	-0.0005	0.0006	-0.0011	0.0000	-0.0005	0.0007	0.0004	0.0003	-0.0004	0.0004
ω	0.0000	0.0001	0.0000	0.0006	0.0001	0.0000	0.2006	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001
a1	0.1615	0.0704	0.0289	0.5774	0.0000	0.0803	1.7320	0.0369	0.1602	0.0800	0.0913	0.0081	0.0773	0.1448	0.2348	0.0653	0.1609
b1	0.7906	0.5073	0.9090	0.0000	0.6060	0.8399	0.0000	0.8896	0.4252	0.8486	0.6721	0.9591	0.8986	0.6396	0.4890	0.9019	0.4394
Modelos GARCH (1,1) para el Periodo 2 (1/12/2019-10/03/2020)																	
μ	-0.0001	0.0021	-0.0034	0.0002	0.0005	-0.0003	-0.0009	-0.0007	0.0011	0.0020	0.0054	-0.0006	0.0001	0.0006	0.0001	-0.0005	0.0004
ω	0.0000	0.0001	0.0002	0.0002	0.0000	0.0002	0.1000	0.0001	0.0000	0.0002	0.0004	0.0002	0.0000	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001
a1	0.2052	0.5774	0.2244	0.2035	0.0481	0.2476	0.2118	0.1843	0.1779	0.1733	0.5125	0.2125	0.5774	0.5774	0.4047	0.2991	0.5773
b1	0.7518	0.0000	0.5072	0.6890	0.9319	0.3598	0.7474	0.6058	0.7539	0.7736	0.0000	0.6719	0.0000	0.0000	0.4154	0.4515	0.0000
Modelos GARCH (1,1) para el Periodo 3 (11/03/2020-15/12/2021)																	
μ	0.0005	0.0014	0.0011	0.0011	0.0006	0.0006	0.0012	0.0011	-0.0008	0.0018	0.0017	0.0028	0.0002	-0.0003	0.0030	0.0002	0.0017
ω	0.0000	0.0000	0.0002	0.0004	0.0002	0.0001	0.0002	0.0002	0.0000	0.0005	0.0002	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0002	0.0000
a1	0.2388	0.0498	0.3494	0.2908	0.0000	0.2368	0.1703	0.2834	0.2137	0.1063	0.3647	0.0180	0.3419	0.1696	0.3742	0.2751	0.0576
b1	0.6987	0.9477	0.5117	0.2061	0.3606	0.5427	0.5739	0.4443	0.7396	0.2997	0.4920	0.9816	0.5334	0.6667	0.4743	0.5121	0.9391
Modelos GARCH (1,1) para el Periodo 4 (16/12/2021-15/11/2022)																	
μ	-0.0002	0.0000	-0.0006	0.0004	0.0000	0.0012	0.0011	0.0020	-0.0004	-0.0016	-0.0032	-0.0008	-0.0014	-0.0003	0.0008	0.0060	-0.0005
ω	0.0001	0.0001	0.0003	0.0001	0.0002	0.0002	0.0003	0.0005	0.0003	0.0006	0.0007	0.0003	0.0001	0.0002	0.0004	0.0000	0.0003
a1	0.1440	0.4023	0.0643	0.1149	0.0000	0.2138	0.2343	0.1085	0.1732	0.1291	0.3026	0.0000	0.4555	0.2885	0.1277	0.0301	0.0541
b1	0.0397	0.3136	0.0000	0.6451	0.1772	0.2572	0.0000	0.0003	0.0000	0.0828	0.0618	0.0000	0.3093	0.1007	0.0643	0.9689	0.0000
Modelos GARCH (1,1) para el Periodo 5 (16/11/2022-15/06/2023)																	
μ	0.0004	0.0010	0.0005	0.0023	-0.0001	0.0005	-0.0001	0.0007	0.0001	0.0027	-0.0003	0.0000	0.0007	0.0017	-0.0001	0.0015	-0.0003
ω	0.0000	0.0001	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0005	0.0002	0.0000	0.0001	0.0002	0.0001	0.0000
a1	0.0915	0.2671	0.4616	0.1352	0.0238	0.0000	0.0918	0.0000	0.0000	0.0000	0.5773	0.0826	0.0348	0.5664	0.2279	0.1665	0.1719
b1	0.5945	0.3879	0.1111	0.0000	0.2861	0.3751	0.6928	0.1638	0.1017	0.6667	0.0000	0.0000	0.8435	0.0000	0.2290	0.5632	0.7549

Modelos GARCH (1,1) para el Periodo Completo (1/01/2017-15/06/2023)																		
GENTERA *	GFINBURO	GFNORTE O	GMEXICO B	GRUMA B	KIMBER A	KOF UBL	LAB B	LIVEPOL C-1	MEGA CPO	OMA B	ORBIA *	PE&OLES *	PINFRA *	Q *	R A	TLEVISA CPO	VOLAR A	VESTA *	WALMEX *
0.0005	0.0002	0.0004	0.0006	0.0001	0.0001	0.0004	-0.0002	0.0002	0.0000	0.0008	0.0002	-0.0007	-0.0002	0.0012	0.0008	-0.0016	0.0010	0.0005	0.0001
0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
0.1355	0.1633	0.1149	0.0781	0.1235	0.0664	0.0000	0.1125	0.0911	0.1322	0.0861	0.1090	0.1300	0.1448	0.1284	0.1349	0.0564	0.1750	0.1107	0.0480
0.7566	0.6745	0.8311	0.8957	0.7924	0.8751	0.0000	0.7743	0.8423	0.7632	0.8789	0.8218	0.8249	0.7934	0.7970	0.7690	0.9328	0.7319	0.8028	0.0480
Modelos GARCH (1,1) para el Periodo 1 (1/06/2017-31/11/2019)																		
0.0000	-0.0006	0.0002	0.0004	-0.0004	-0.0001	-0.0004	-0.0001	-0.0004	0.0002	0.0005	0.0002	-0.0007	-0.0001	0.0019	0.0005	-0.0018	-0.0002	0.0004	0.0002
0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0001	0.0000	0.0005	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000
0.1140	0.0456	0.0552	0.0664	0.3400	0.0405	0.0416	0.4175	0.0899	0.4857	0.0727	0.5300	0.1027	0.1890	0.1585	0.0858	0.0441	0.1458	0.1070	0.0225
0.8226	0.0000	0.8980	0.8688	0.3821	0.8639	0.8952	0.3895	0.8389	0.2411	0.8670	0.1320	0.7543	0.4622	0.6929	0.8277	0.9334	0.3423	0.7968	0.0225
Modelos GARCH (1,1) para el Periodo 2 (1/12/2019-10/03/2020)																		
-0.0007	-0.0019	0.0009	-0.0017	0.0000	-0.0002	0.0015	0.0000	-0.0020	-0.0017	0.0000	-0.0023	-0.0013	-0.0006	-0.0010	-0.0014	0.0029	0.0015	0.0007	0.0002
0.0005	0.0002	0.0000	0.0007	0.0001	0.0000	0.0000	0.0005	0.0001	0.0000	0.0002	0.0007	0.0002	0.0002	0.0002	0.0000	0.0015	0.0000	0.0002	0
0.1005	0.2801	0.2448	0.0000	0.4787	0.0000	0.1830	0.0000	0.3132	0.0001	0.4848	0.2156	0.1184	0.3376	0.3570	0.0000	0.5774	0.1170	0.1169	0.0754
0.0000	0.3738	0.6934	0.0139	0.1993	0.9423	0.7829	0.0000	0.5833	0.9081	0.2433	0.0000	0.5757	0.0000	0.1028	0.9556	0.0000	0.8692	0.0000	0.0754
Modelos GARCH (1,1) para el Periodo 3 (11/03/2020-15/12/2021)																		
0.0006	-0.0004	0.0008	0.0011	0.0000	0.0005	0.0003	0.0001	0.0017	0.0002	0.0003	0.0012	0.0000	-0.0009	0.0002	0.0013	0.0010	0.0017	0.0004	-0.0001
0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.1000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0009	0.1000	0.0000	0.0000
0.2329	0.3281	0.1855	0.1681	0.2320	0.1370	0.2564	0.1796	0.1862	0.1001	0.0972	0.1307	0.2146	0.1757	0.1248	0.2282	0.1270	0.1180	0.2469	0.0446
0.7113	0.5578	0.7468	0.5577	0.4481	0.8441	0.6756	0.6278	0.7785	0.7359	0.8982	0.8108	0.7383	0.7929	0.7792	0.6652	0.0000	0.8702	0.6456	0.0446
Modelos GARCH (1,1) para el Periodo 4 (16/12/2021-15/11/2022)																		
0.0025	0.0024	0.0005	-0.0009	0.0003	0.0006	0.0054	-0.0008	0.0008	-0.0013	0.0008	0.0010	-0.0015	0.0005	-0.0007	0.0018	-0.0023	-0.0020	0.0006	-0.0001
0.0003	0.0006	0.0003	0.0001	0.0000	0.0001	0.0011	0.0006	0.0001	0.0003	0.0002	0.0009	0.0001	0.0001	0.0003	0.0005	0.0004	0.0007	0.0002	0.0001
0.1079	0.0000	0.2237	0.0410	0.1751	0.1041	0.0000	0.4282	0.1886	0.0000	0.0731	0.4930	0.1627	0.1394	0.0000	0.0401	0.0300	0.1587	0.1845	0.0000
0.3768	0.0000	0.2633	0.8266	0.7188	0.6124	0.5695	0.3656	0.3084	0.0220	0.2668	0.0000	0.8105	0.5187	0.0085	0.0000	0.1729	0.3147	0.0031	0.0000
Modelos GARCH (1,1) para el Periodo 5 (16/11/2022-15/06/2023)																		
0.0002	0.0014	0.0004	0.0006	0.0014	0.0014	0.0008	-0.0003	0.0004	-0.0008	0.0011	0.0000	-0.0011	0.0002	0.0026	-0.0003	-0.0014	0.0017	0.0023	-0.0001
0.0003	0.0002	0.0001	0.0006	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0000	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0006	0.0006	0.0000	0.0000
0.2975	0.1719	0.1388	0.0840	0.0000	0.1696	0.0486	0.0258	0.0910	0.2586	0.0870	0.0355	0.1443	0.1770	0.0000	0.1007	0.0000	0.2133	0.0505	0.1569
0.0000	0.2060	0.6310	0.0000	0.3331	0.0000	0.8677	0.8717	0.0000	0.4787	0.8178	0.0000	0.6212	0.4230	0.7983	0.6087	0.0000	0.0000	0.8091	0.1569

 ISSN: 2007 8102

Trabajo a Futuro

Autores como [9] y [10] aplicaron en sus estudios los modelos GARCH exponencial y asimétrico respectivamente, sin embargo, ambos coinciden que el mejor modelo de ajuste para incluir volatilidades es el modelo EGARCH, dado que, permite optimizar de manera más estable las series, teniendo menos restricciones en cuanto a sus parámetros, ésta puede ser una línea de investigación futura. De igual manera continuar el presente estudio con una evaluación bajo el exponente de Lyapunov en el índice S&P/BMV IPC, además de mostrar si existe comportamiento simétrico o no, para ver la factibilidad de aplicar un modelado EGARCH.

Conclusiones

Los resultados previos proporcionan información con la cual es posible interpretar el comportamiento de los rendimientos del mercado, indicando que, en los periodos estables o de menor incertidumbre, como el 1, 3 y 5 es posible realizar predicción en la tendencia de los rendimientos, dado que, no se ajustan al comportamiento normal, a diferencia de los periodos con mayor volatilidad, como el 2 y 4, los cuales se acercan más a un comportamiento normal y de acuerdo con el supuesto de independencia estadística, no es posible tomar como referencia datos históricos para hacer pronósticos.

Con los resultados expuestos previamente, se concluye de manera coincidente con los estudios realizados por [10, 14, 15 y 16] en cuanto al impacto de la pandemia en los mercados financieros, en los momentos con mayor número de casos positivos en México, los rendimientos pasan de positivos a negativos rápidamente, el índice en conjunto pasó de rendimientos negativos a positivos a lo largo del tiempo y a pesar del aumento de casos y defunciones.

Coincidiendo con los autores previos, el aumentando de volatilidad en los mercados fue inminente, dado que su desviación estándar se vuelve más alta en los periodos de mayor incertidumbre, aportando que dicho comportamiento fue causado por las expectativas y el pánico a largo plazo, es decir, el sentimiento inmerso en el mercado como respuesta al aumento de los contagios se intensificó por el pánico que se transmitió a través de las noticias, los medios de comunicación y las redes sociales, lo cual, incitó a reacciones negativas en las actividades comerciales y al movimiento de los precios del mercado. En cuanto al comportamiento de la tendencia de las series de tiempo estudiadas, a través del exponente de Hurst se concluye que, pese a la incertidumbre y volatilidad del mercado entre el 60% y el 80% de las emisoras, así como el índice en su conjunto, mantienen un comportamiento persistente o fractal a lo largo del periodo de estudio, pese a la presencia de la pandemia.

De igual manera los resultados son coincidentes con [17] ya que la aplicación del Exponente de Hurst brinda resultados en tendencia a persistencia, memoria a largo plazo y fractal, a pesar de ser una serie de datos de un instrumento financiero distinto con aplicación al tipo de cambio y un periodo de tiempo previo a la pandemia.

Referencias

[1] Organización Mundial de la Salud (revisado el 30 de julio), COVID-19: cronología de la actuación de la OMS, https://www.who.int/es/news/item/27-04-2020-who-timeline---covid-19, 2020.
[2] E. Endri, W. Aipama, S. Laynita & R. Septiano, “ Stock price volatility during the COVID-19 pandemic: The GARCH model”, Investment Management and Financial Innovations, Vol. 18 (4), pp. 12-20, 2021, doi:10.21511/imfi.18(4).2021.02.
[3] S. Shapiro y B.Wilk, “An analysis of variance test for normality” (complete samples),1965.
[4] K. Flores y C. Flores, “Tests to Verify the Normality of Data in Production Processes: Andersondarling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk and Kolmogorov-Smirnov Societas”, Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas Universidad de Panamá, Vol. 23 (2), 2021.
[5] M. Ponce, J. Frausto, G. Castilla, J. González, J. Pérez, y J. Terán, “With ARIMA and simple exponential smoothing for measuring persistency”, IEEE Latin America Transactions, Vol. 17 (5), pp. 815-822, 2019.
[6] P. Mora, “Comparación de modelos clásicos en series de tiempo y modelos bayesianos para pronosticar tres acciones colombianas en el último año”, Universidad de Santo Tomás, 2020.

 ISSN: 2007 8102

[7] R. De Jesús, E. Ortiz y O. García, “Los efectos de largo plazo de la asimetría y persistencia en la predicción de la volatilidad: evidencia para mercados accionarios de América Latina”, Contaduría y Administración, Universidad Nacional Autónoma de México, 2016.
[8] J. Yu y K. Hassan, “Global and regional integration of the Middle East and North African (MENA) stock markets”, The Quarterly Review of Economics and Finance, Vol. 48 (3), pp. 482-504. 2008, https://doi.org/10.1016/j.qref.2006.06.003.
[9] A. Mohsin, A. Nafis & R. Syed Aun, “Coronavirus (COVID-19)-An epidemic or pandemic for financial markets”, Journal of Behavioral and Experimental Finance, Vol. 27, 2020, https://doi.org/10.1016/j.jbef.2020.100341.
[10] H. Omair y R. Syed Aun, “ COVID-19: Media coverage and financial markets behavior—A sectoral inquiry, Journal of Behavioral and Experimental Finance”, Vol. 27, 2020, https://doi.org/10.1016/j.jbef.2020.100343.
[11] Bolsa Mexicana de Valores, 2023.
[12] Infosel, 2023.
[13] Yahoo! Finance, 2023.
[14] Z. Dayong, H. Min, y J. Qiang, “Financial markets under the global pandemic of COVID-19”, Finance Research Letters, Vol. 36, 2020, https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101528.
[15] A. Al-Awadhi, K. Alsaifi, A. Al-Awadhi y S. Alhammadi, “Death and contagious infectious diseases: Impact of the COVID-19 virus on stock market returns”, Journal of Behavioral and Experimental Finance, Vol. 27, 2020, https://doi.org/10.1016/j.jbef.2020.100326.
[16] B. Nadeem, “Economic impact of government interventions during the COVID-19 pandemic: International evidence from financial markets”, Journal of Behavioral and Experimental Finance, Vol. 27, 2020, https://doi.org/10.1016/j.jbef.2020.100371.
[17] F. Calzada, “El exponente de Hurst y su utilización en los mercados financieros. Una aplicación al tipo de cambio en México” (Tesis de Maestría), Universidad Nacional Autónoma de México, 2015.

 ISSN: 2007 8102

Optimización de la gestión de ventas de café en la región de Coatepec mediante Inteligencia de Negocios y Análisis de Datos

J. Robles Calderón[1], G. Robles Calderón[2], M.A. Aguilar Cortés[3], M. Martínez D*emetrio[4]
[1]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla. México, jacobo.rc@teziutlan.tecnm.mx
[2]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla. México, guadalupe.rc@teziutlan.tecnm.mx
[3]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla. México, marco.ac@teziutlan.tecnm.mx
[4]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla. México, magdaleno.md@teziutlan.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

El objetivo de este artículo de investigación es resaltar el impacto fundamental que la Inteligencia de Negocios (BI) tiene en las organizaciones en la actualidad, con un enfoque particular en su aplicación en el proceso estratégico de toma de decisiones en la venta de café por parte de los productores de la región de Coatepec, Veracruz. Estos productores buscan aprovechar tecnologías avanzadas y técnicas de análisis de datos las cuales son utilizadas ampliamente en todo tipo de industrias a nivel mundial para generar el conocimiento necesario, permitiéndoles obtener conclusiones sólidas y brindar un respaldo efectivo a las decisiones empresariales. Se busca demostrar que la incorporación de la Inteligencia de Negocios (BI) y el análisis de datos en el proceso de comercialización del café resultará en un notable incremento de las ventas y las ganancias para los productores involucrados, y a su vez, mejorará significativamente su calidad de vida.

***Palabras clave**: Inteligencia de Negocios, Analítica de Datos, Comercialización, Café*

Abstract

The objective of this research article is to highlight the fundamental impact that Business Intelligence (BI) has on organizations today, with a particular focus on its application in the strategic decision-making process in the sale of coffee by of the producers of the region of Coatepec, Veracruz. These producers seek to take advantage of advanced technologies and data analysis techniques which are widely used in all types of industries worldwide to generate the necessary knowledge, allowing them to draw solid conclusions and provide effective support for business decisions. It seeks to demonstrate that the incorporation of Business Intelligence (BI) and data analysis in the coffee marketing process will result in a notable increase in sales and profits for the producers involved, and in turn, will significantly improve their quality. of life.

***Key words**: Business Intelligence, Data Analytics, Commercialization, Coffee*

Introducción

México se encuentra en la élite de los diez principales productores mundiales de café. Según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, en 2021, la producción de café cereza alcanzó un volumen de 947,092 toneladas, con un valor económico de cinco mil 210 millones de pesos, lo que representó un aumento del 10.13% desde 2018 [1].

Veracruz es uno de los estados líderes en esta actividad, contribuyendo de manera significativa. La derrama económica estimada para el café en 2021 fue de mil 343 millones de pesos, con un volumen cercano a las 230,000 toneladas. La producción de café no solo es una fuente importante de divisas para el país, sino también un reservorio valioso de biodiversidad y un motor generador de empleo y sustento para miles de familias. Sin embargo, esta industria ha enfrentado crisis recurrentes de precios bajos, vinculadas a la liberalización del mercado [2]. Este estado, contribuye con un millón de sacos de café verde en la última cosecha. Es destacable

ISSN: 2007 8102

que el estado se ubica en los primeros lugares de producción, solo superado por Chiapas que aporta el 41% y Veracruz con el 24%.

La mayor parte de la producción de café en Veracruz, un 95%, corresponde a la variedad Coffea Arábica, mientras que la variedad Robusta se cultiva en zonas bajas, principalmente para la producción de solubles destinados al consumo nacional. Las plantaciones abarcan una superficie de 139 mil hectáreas, principalmente con variedades de alta calidad de la especie Coffea Arábica, como typica, bourbon, mundo novo, caturra y árnica, entre otras.

En el estado de Veracruz destacan 10 regiones productoras de café: en la zona norte, Huayacocotla y Papantla; en la zona centro, Atzalan, Misantla, Coatepec, Huatusco, Córdoba y Zongolica; y en el sur, Tezonapa y Los Tuxtla [3]. Estas regiones concentran el 55.6% del área cultivable, siendo Huatusco (21.8%), Coatepec (19.4%) y Córdoba (14.4%) las más relevantes. Los productores minifundistas, en su mayoría campesinos indígenas, se encuentran en regiones como Chicontepec, Atzalan, Tezonapa, Papantla y Zongolica. Por otro lado, en Huatusco, Coatepec y Córdoba predominan los pequeños y medianos productores con un enfoque empresarial. Es importante destacar que la producción cafetera de Veracruz está distribuida en 842 comunidades y 82 municipios, beneficiando a cerca de 86 mil productores, lo que demuestra que el impacto de esta actividad se traduce en una proporción significativa de familias. En el estado se distinguen tres tipos de productores de café: pequeños productores o minifundistas, productores agrícolas y productores secundarios para quienes la siembra de este producto no representa su actividad principal. ´Uno de los principales desafíos de los pequeños productores de café es la falta de acceso a tecnología, lo que genera una brecha de desigualdad con aquellos que sí cuentan con estas herramientas.

Lamentablemente, la región cafetalera de Coatepec, a pesar de su orientación empresarial, carece en su mayoría de un seguimiento de ventas que les permita identificar las áreas de oportunidad dentro del mercado del café, generar mayores ingresos e identificar las necesidades de los consumidores. En algunos casos, esta falta de seguimiento ha llevado a algunos a descontinuar la actividad a pesar de los beneficios netos que podrían obtener. Por lo tanto, es esencial establecer estrategias de control y registro de ventas eficientes que garantice ambos procesos ya que, contar con un control interno adecuado para cada tipo de empresa, incluyendo cafeterías o beneficios de café, permite maximizar la utilización de recursos con calidad, logrando una gestión financiera y administrativa adecuada [4].

En este sentido, la incorporación de nuevas tecnologías en el sector agrícola de México se presenta como una oportunidad crucial para su modernización y adaptación a las dinámicas de la competitividad internacional. Estas tecnologías permitirán a los actores del sector mantenerse informados en tiempo real sobre las necesidades, la oferta y la demanda que existen en este mundo cada vez más globalizado. Es importante destacar que en la actualidad existen muy pocas aplicaciones en el mercado que estén diseñadas para atender las necesidades específicas del sector agrícola. La mayoría de las aplicaciones tecnológicas disponibles se enfocan principalmente en maquinaria agroindustrial, fertilizantes u otros productos de consumo relacionados con la agroindustria. Sin embargo, todavía no se han difundido ampliamente aplicaciones basadas en software diseñadas para proporcionar un apoyo directo a los productores y comercializadores agrícolas en lo que respecta a procesos de inteligencia de negocios y análisis de datos, los cuales son elementos esenciales de una estrategia más completa que busca generar conocimiento y ofrecer respaldo basada en dashaboard e indicadores de rendimiento KPI para la en la toma de decisiones asociadas.

Los indicadores clave de rendimiento (KPI) son métricas esenciales que ayudan a medir el éxito y el desempeño en el proceso de venta de café [5]. Estos KPI permiten evaluar la eficacia de las estrategias, identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas para optimizar las ventas.

Como se puede apreciar este estudio busca demostrar los beneficios concretos derivados de la implementación de la Inteligencia de Negocios y el análisis de datos en el proceso de venta de café para los productores y comercializadores de la región de Coatepec. Este enfoque resalta la crucial relevancia de construir conocimiento sólido como base para respaldar las decisiones estratégicas, lo que a su vez optimizará este proceso. Se espera que estos avances tengan un impacto significativo en la mejora del nivel de vida de los productores involucrados.

ISSN: 2007 8102

Metodología

Para respaldar el desarrollo de este proyecto, se ha considerado la Investigación Tecnológica, ya que busca innovar en herramientas y procesos que faciliten el trabajo humano [6]. Esto implica seguir un procedimiento bien definido que involucra el análisis del instrumento actual que se busca mejorar, la proposición de un diseño de prototipo y su posterior aplicación.

La investigación tecnológica, especialmente en campos como la ingeniería, tiene características intrínsecas que la conectan de manera natural con la innovación tecnológica [7]. Esto sugiere que las etapas iniciales de promoción de proyectos de investigación y la evaluación de la investigación tecnológica pueden funcionar como impulsores de la innovación. La innovación tecnológica se refiere a la aplicación de conocimiento científico y tecnológico, tanto propio como de otros, para crear o modificar procesos productivos, artefactos, máquinas, con el fin de lograr un propósito valioso para la sociedad. Este tipo de investigación se desarrolla a través de un proceso que sigue pasos específicos, que incluyen la observación, la identificación del problema, la documentación, la reflexión, la elaboración del proyecto de intervención, la evaluación, la comunicación, la implementación, el seguimiento y, finalmente, la correspondiente evaluación. Las etapas que conforman este proceso serán la base para llevar a cabo y sustentar adecuadamente el presente proyecto.

La selección de la empresa "QNICO" como muestra para la elaboración de esta investigación se basó en varios criterios justificables:

- **Acceso a la Información:** La empresa "QNICO" proporcionó un nivel adecuado de acceso a la información necesaria para llevar a cabo el estudio. Tener acceso a datos precisos y relevantes es esencial para una investigación sólida.
- **Representatividad del Sector:** "QNICO" es representativa dentro del sector al que pertenece. La elección de una empresa que refleje las características generales del sector cafetalero en la región de Coatepec es crucial para obtener resultados aplicables a la industria.
- **Colaboración Activa:** La empresa mostró disposición y colaboración activa para participar en el proyecto de investigación. Su compromiso permitió llevar a cabo las etapas del estudio de manera efectiva.
- **Diversidad de Datos**: Proporcionó una diversidad de datos relacionados con las ventas de café en la región de Coatepec, lo que permitió un análisis más completo y representativo.
- **Impacto en la Comunidad:** "QNICO" es una figura destacada dentro de la comunidad cafetalera de Coatepec, sus resultados y prácticas pueden influir en otros productores y tener un impacto positivo en la industria.
- **Colaboración con Instituciones Educativas:** Si la empresa "QNICO" ha colaborado previamente con instituciones educativas, como el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán (ITST), esto puede indicar una disposición a apoyar proyectos de investigación y desarrollo.

Metodología de diseño e implementación de Inteligencia de Negocios

Para la construcción de una solución en el contexto de BI que permita generar conocimiento que, de soporte a la toma de decisiones, se determinó utilizar la metodología Kimball ya que provee un enfoque sólido para implementar sistemas de Inteligencia de Negocios efectivos en casos similares a la estudiado en esta investigación. La metodología Kimball se centra en el diseño de data warehouse y cubos OLAP [8] y aplica el ciclo de vida Dimensional de Negocio (Figura 1), lo que es especialmente relevante cuando se trabaja con datos complejos, como los relacionados con la comercialización de café.

 ISSN: 2007 8102

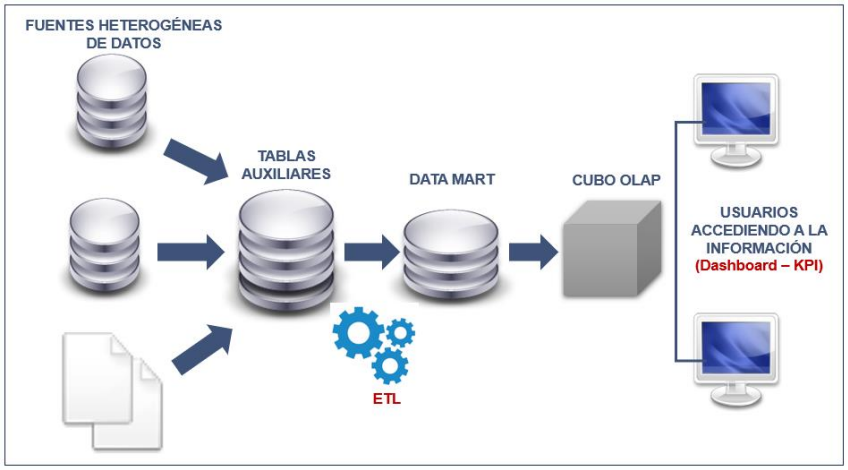


Figura 1. Etapas propuestas por la metodología Kimball
Elaboración: Fuente propia

Es importante destacar que se utilizó una variante simplificada de dicha metodología que pudiera ajustarse a los tiempos estipulados para el proyecto, así como a la cantidad y tipo de información generada en el proceso de comercialización de café. En la Tabla 1 se presenta la descripción general de las actividades desarrolladas como parte de la metodología Kimball de Power BI durante la presente investigación.

Tabla 1. Descripción de actividades desarrolladas
Elaboración: Fuente Propia

Fase	Herramienta(s) utilizadas
1. Requisitos comerciales y modelado dimensional	El primer paso fue comprender los requisitos específicos del negocio lo cual requirió de la colaboración con los productores y comercializadores de café de la región de Coatepec para comprender las métricas clave, las fuentes de datos relevantes y las necesidades de análisis. El modelado dimensional se centró en diseñar las estructuras de datos, como las tablas de hechos y las dimensiones, para representar de manera eficiente la información sobre la comercialización de café.
2. Extracción, Transformación y Carga (ETL):	Con los requisitos comerciales y el modelado dimensional definidos mente, se desarrolló un proceso de ETL para extraer datos de múltiples fuentes, como bases de datos internas, proveedores de café, datos de ventas, entre otros. Estos datos se transforman para que se ajustaran al modelo dimensional y se cargan en el data warehouse.
3. Desarrollo de informes y dashboards	Utilizando Power BI, se crearon informes interactivos y paneles de control que permiten a los usuarios explorar los datos de la comercialización de café. Esto incluye visualizaciones como gráficos, tablas dinámicas y mapas que brindan una comprensión clara y rápida de los patrones y tendencias.
4. Entrega y capacitación	Los informes y dashboards desarrollados se entregaron a los usuarios finales comercializadores de café. Es esencial proporcionar capacitación para que los usuarios comprendieran cómo utilizar Power BI para obtener insights valiosos y tomar decisiones informadas.
5. Iteración y mejora continua	La metodología Kimball es iterativa, lo que significa que se espera una mejora continua. Se recopilan comentarios de los usuarios y se realizan ajustes en los informes y en el proceso de ETL para refinar el sistema y garantizar que se mantenga alineado con las necesidades cambiantes de la empresa.

 ISSN: 2007 8102

Herramientas utilizadas

Es importante mencionar que para poder llevar a cabo las actividades 1 y 2 descritas en la tabla anterior y poder llevar a cabo una implementación solida del sistema de BI (Business Intelligence) se utilizaron tecnologías Microsoft en las diferentes etapas como se indica en la tabla 2.

Tabla 2. Herramientas utilizadas por fase de desarrollo

Elaboración: Fuente propia

Fase	Descripción
Extracción, Transformación y Carga (ETL)	SQL Server Integration Services (SSIS) 2022 SQL Server Developer 2022 SQL Server Managment Studio 19.1 SQL Server Data Tools for Visual Studio 2022 Visual Studio 2022 Community Microsoft Excel
Desarrollo de informes y dashboards	SQL Server Analysis Services (SSAS) 2022 SQL Server Developer 2022 SQL Server Managment Studio 19.1 SQL Server Data Tools for Visual Studio 2022 Visual Studio 2022 Community Power BI Desktop

Como se describe en la tabla anterior, para el desarrollo e implementación del proceso de BI para comercializadores de café dentro de la parte técnica se aplicaron los procesos de extracción transformación y carga de datos con SQL Server Integration Services 2022 para poder conformar un almacén de datos el cuál es la base de un cubo OLAP generado a con SQL Server Analisys Services 2022. Dicho cubo puede ser analizado en tiempo real con los datos recibidos y es consultado por medio de un conjunto de dashboards e indicadores de rendimiento KPI desarrollados con Power BI Desktop los cuales son visible por parte de los usuarios finales.

Los KPI que se generaron como parte del análisis de datos y en atención a las necesidades de información de fueron los siguientes:

- **Venta Promedio (VP):** Este KPI mide el valor promedio de cada transacción. Es útil para entender cuánto gastan los clientes en promedio, lo que puede ayudar a desarrollar estrategias de upselling o cross-selling [9].

VP = (ventas totales / # de transacciones)

- **Número Promedio de Transacciones (PT):** Este indicador muestra la frecuencia con la que los clientes compran. Puede ser útil para identificar patrones de comportamiento y establecer objetivos para aumentar la frecuencia de compra.

PT = (# de transacciones / periodo de tiempo)

- **Conteo de Clientes (CC):** Este KPI muestra cuántos clientes has atendido en un período dado. Es fundamental para evaluar la base de clientes y puede compararse con períodos anteriores para ver si la base de clientes está creciendo.

CC = (# de clientes totales en el periodo)

- **Tasa de Retención de Clientes (TRC):** Este KPI mide qué porcentaje de clientes regresa a comprar nuevamente. Una alta tasa de retención indica que los clientes están satisfechos y es más rentable retener a clientes existentes que adquirir nuevos.

TRC = (# de clientes habituales / # clientes totales en el periodo)

ISSN: 2007 8102

- **Costo de Adquisición de Clientes (CAC):** Evalúa cuánto cuesta adquirir un nuevo cliente. Es esencial para entender el gasto en marketing y ventas. Mantener este costo bajo es importante para maximizar la rentabilidad.

CAC = (gastos totales de marketing en el periodo / # clientes nuevos en el periodo)

- **Venta por Tipo de Café (VTC):** Este KPI desglosa las ventas por tipo de café. Puede ayudar a identificar los productos más populares y aquellos que podrían necesitar un impulso adicional.

VTC = (ingresos totales en el periodo / total ingresos por producto en el periodo)

- **Margen Bruto (MB):** Calcula el margen bruto, que es la diferencia entre los ingresos por ventas y el costo de los productos vendidos. Es una métrica esencial para evaluar la rentabilidad directa de las ventas de café.

MB = (total de ingresos en el periodo – total de gastos de operación en el periodo)

- **Porcentaje de Costo Laboral (PCL):** Muestra cuánto de los ingresos se destina a los costos laborales. Puede ayudar a mantener el control de los gastos relacionados con el personal.

PCL = (total de gastos de operación en el periodo / ventas totales en el periodo)

Cada uno de estos KPI proporciona información valiosa para evaluar la eficacia de las operaciones de venta de café y ayudará a tomar decisiones informadas para mejorar tus resultados. No debemos olvidar que la interpretación de estos KPIs debe ser contextual, comparando los resultados con objetivos específicos y evaluando las tendencias a lo largo del tiempo.

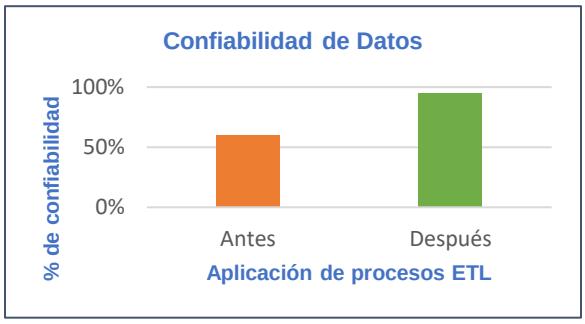
Resultados y discusión

Los resultados de este trabajo de investigación son sumamente destacados, ya que se logró desarrollar y aplicar un proceso de Inteligencia de Negocios (BI) que posee la capacidad de extraer información proveniente de diversas fuentes de datos heterogéneas. Este proceso se logró mediante la implementación de ETL (Extracción, Transformación y Carga), lo que permitió la creación de un banco de datos actualizado que se utiliza en la construcción de un cubo OLAP para el análisis de información relacionada con las ventas de café QNICO Cafés Especiales. Este enfoque es especialmente relevante, dado que QNICO forma parte de la muestra seleccionada de productores de café en la región de Coatepec. La aplicación de este proceso de BI ofrece varios beneficios clave:

Gestión de Datos Compleja: Al tratar con fuentes heterogéneas de datos, la implementación exitosa de ETL asegura que los datos se recolecten, transformen y carguen en un formato coherente y útil. Esto es esencial para análisis efectivos.

Actualización de la Base de Datos: Mantener una base de datos actualizada es esencial para una gestión efectiva y en este sentido a partir de la aplicación de procesos ETL tal y como se muestra en la gráfica 1 se logró garantizar la integridad, consistencia y confiabilidad de los datos en un 95%. La implementación de un proceso que asegura la actualización de datos ayuda a evitar la obsolescencia de la información.

 ISSN: 2007 8102



Gráfica 1. Confiabilidad de datos a partir de la implementación de procesos ETL
Elaboración: Fuente propia

Cubo OLAP para Análisis Avanzado: La creación del cubo OLAP proporciona una herramienta poderosa para explorar y analizar las ventas de café. Permite a los usuarios comprender mejor las tendencias, patrones y relaciones dentro de los datos.

Dashboards Intuitivos: Como se muestra en la figura 2, el desarrollo de dashboards ofrece una forma visual y fácil de acceder a los datos. Esto es fundamental para la toma de decisiones ágil y basada en información confiable.

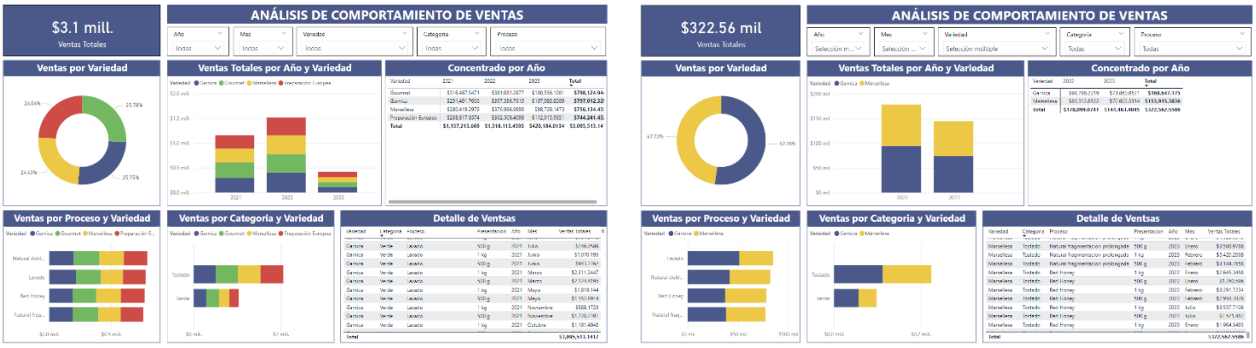


Figura 2. Dashboard's desarrollados para consulta y análisis de información
Elaboración: Fuente propia

Indicadores de Rendimiento (KPI): Como se muestra en la figura 3 la implementación de KPIs permite medir y evaluar el desempeño de manera objetiva. Los KPIs seleccionados, junto con los dashboards, proporcionan una visión completa del estado de las ventas de café.

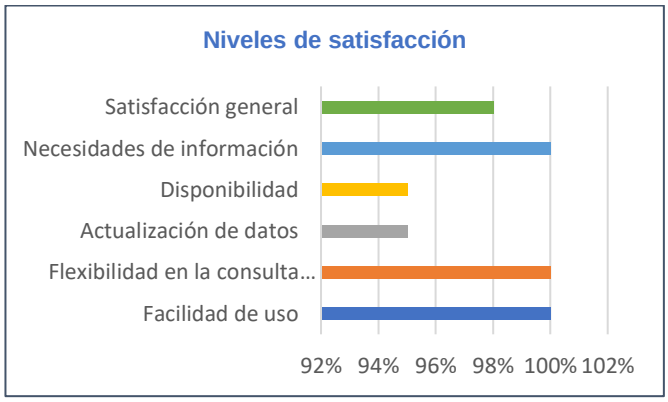


Figura 3. Indicadores de rendimiento KPI desarrollados para consulta y análisis de información
Elaboración: Fuente propia

 ISSN: 2007 8102

Toma de Decisiones Basada en Datos Confiables: La combinación de dashboards y KPIs significa que las decisiones pueden basarse en información confiable y actualizada. Al centrarse en las ventas de café para la empresa QNICO Cafés Especiales y tener en cuenta su contexto dentro de los productores de la región de Coatepec, se obtiene una perspectiva relevante y aplicable para la toma de decisiones comerciales y estratégicas.

Grado de satisfacción: Los usuarios finales de los diferentes dashboards y KPI's presentan una aceptación general sobre la interacción con las herramientas antes mencionadas. Para obtener esta información se aplicaron diferentes instrumentos que evaluaron la aceptación de los usuarios en función de 6 ejes básico que se describen en la gráfica 2.



Gráfica 2. Niveles de satisfacción de usuarios finales
Elaboración: Fuente propia

En resumen, este trabajo de investigación no solo logra desarrollar y aplicar un proceso de BI complejo, sino que también presenta herramientas prácticas y efectivas para la toma de decisiones basada en datos. El enfoque en la empresa QNICO Cafés Especiales y su integración en el contexto de los productores de café en la región de Coatepec garantiza que los resultados sean relevantes y aplicables para la industria en cuestión.

Trabajo a futuro

Esta investigación sobre la optimización de la gestión de ventas de café en la región de Coatepec utilizando Inteligencia de Negocios y análisis de datos tiene el potencial de abrir una serie de oportunidades de trabajo futuro en diversas áreas. Algunos posibles trabajos a futuro derivados de esta investigación podrían ser:

- **Desarrollo aplicaciones basadas en web, móvil y datos:** Complementar el proceso de BI con el desarrollo de aplicaciones específicamente diseñadas para el registro de ventas por parte de productores de café y permitan realizar una recolección de datos más eficiente.
- **Implementación en otras empresas cafetaleras:** Basándose en los resultados exitosos obtenidos en QNICO Cafés Especiales, se podría considerar la implementación de sistemas similares en otras empresas cafetaleras de la región o incluso en diferentes regiones cafetaleras de México. Esto podría requerir adaptaciones específicas para cada empresa, lo que generaría oportunidades para profesionales en consultoría empresarial y tecnológica.
- **Mejora continua y actualización tecnológica:** Los avances tecnológicos están en constante evolución. Se requerirá un equipo para mantener y actualizar el sistema de Inteligencia de Negocios a medida que surjan nuevas tecnologías y herramientas más avanzadas. Esto incluiría la incorporación de nuevos algoritmos de análisis, mejoras en la interfaz de usuario y actualización de la infraestructura tecnológica.
- **Análisis de datos y toma de decisiones:** La información recopilada a través de este sistema de BI proporciona una fuente rica de datos que puede ser analizada más a fondo para obtener conocimientos adicionales. Los profesionales en análisis de datos podrían llevar a cabo estudios más detallados para identificar patrones de consumo, preferencias de los clientes, tendencias estacionales, entre otros, lo que puede guiar decisiones estratégicas.
- **Capacitación y asesoramiento:** Los productores de café pueden necesitar capacitación en el uso efectivo de las herramientas de BI y la interpretación de los resultados obtenidos. Los expertos en

formación y asesoramiento podrían brindar talleres y sesiones de capacitación para garantizar que los usuarios obtengan el máximo valor de la tecnología implementada.

- **Expansión a otros sectores agrícolas:** Si la implementación de BI en la industria del café muestra resultados positivos, es posible que se pueda considerar la expansión a otros sectores agrícolas, como la producción de cacao, frutas o vegetales. Los conceptos y métodos desarrollados en esta investigación podrían adaptarse a otras áreas agrícolas para mejorar la gestión y las ventas.

Esta investigación puede generar una serie de oportunidades laborales en áreas como consultoría, tecnología, análisis de datos, formación y expansión a otros sectores agrícolas, lo que brinda un potencial significativo para el crecimiento y el impacto positivo en la industria agrícola.

Conclusiones

Esta investigación sobre la optimización de la gestión de ventas de café en la región de Coatepec mediante la implementación de un proceso de Inteligencia de Negocios y análisis de datos ha demostrado ser altamente beneficiosa para QNICO Cafés Especiales y, por extensión, para los productores de café en esta región. Los resultados obtenidos destacan la importancia de utilizar tecnologías avanzadas para mejorar la toma de decisiones y la eficiencia operativa en la industria cafetalera.

La implementación exitosa de un proceso ETL para la creación de un banco actualizado de datos, junto con la construcción de un cubo OLAP para el análisis de ventas de café, ha permitido a QNICO Cafés Especiales acceder a información valiosa y tomar decisiones más fundamentadas. Los indicadores de rendimiento (KPIs) y los dashboards desarrollados ofrecen una visión clara de los aspectos clave de las ventas, lo que facilita la identificación de oportunidades de mejora y la detección temprana de posibles problemas.

El impacto potencial de esta investigación se extiende más allá de QNICO Cafés Especiales, ya que el enfoque en la región de Coatepec y la muestra de productores de café seleccionados demuestran la aplicabilidad de este enfoque en la industria en general. Los resultados indican que la implementación de tecnologías de BI puede marcar una diferencia significativa en la gestión de ventas, la calidad de vida de los productores y la sostenibilidad de la industria cafetalera.

Este estudio resalta la importancia de seguir avanzando en la implementación de soluciones basadas en datos y tecnología en el sector agrícola, especialmente en áreas tradicionalmente menos favorecidas. Además, sienta las bases para futuras investigaciones y aplicaciones similares en otras regiones y sectores agrícolas, con el objetivo de seguir mejorando la eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad de estas actividades. En última instancia, esta investigación contribuye al avance de la industria cafetalera y al uso eficaz de la tecnología para lograr resultados positivos y medibles en el sector agrícola.

Agradecimientos

A QNICO Cafés Especiales por su colaboración y las facilidades otorgadas durante todo el desarrollo de esta investigación. El apoyo del personal de la empresa, que contribuyó de manera directa en los procesos de recolección y análisis de la información, fue fundamental para el éxito de este proyecto.

Además, queremos reconocer y agradecer a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán (ITST) que participaron activamente en este proyecto. Su esfuerzo, dedicación y entusiasmo fueron invaluables para llevar a cabo todas las etapas de la investigación de manera efectiva. La colaboración entre QNICO Cafés Especiales y el equipo de estudiantes del ITST fue un ejemplo de trabajo en equipo, donde la combinación de conocimientos, habilidades y compromiso demostró ser un factor clave para alcanzar los objetivos establecidos. Este proyecto no solo ha contribuido a la generación de conocimiento y a la mejora de las prácticas de gestión de ventas de café, sino que también ha brindado una valiosa experiencia a los estudiantes involucrados, preparándolos para enfrentar desafíos en el mundo laboral y fortaleciendo su formación profesional. Esperamos que los resultados obtenidos sigan beneficiando a la empresa y a la comunidad cafetalera en la región de Coatepec.

ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] Secretaría de Agrícultura y Desarrollo Rural (SADER), «https://www.gob.mx/,» Gobierno de México, 29 Septiembre 2022. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/agricultura/prensa/con-buenas-perspectivas-inicia-cosecha-de-cafe-en-veracruz-y-otros-estados-productores?idiom=es. [Último acceso: 15 Enero 2023].

[2] M. E. Nava Tablada y M. I. Hernández Sánchez, «Cafeticultura en Veracruz,» de *Veracruz un análisis para el desarrollo*, Veracruz, Colegio de Veracruz, 2017, pp. 93-117.

[3] C. H. Hermida Rosales, «Universo. Sistema de noticias de la UV,» Universidad Veracruzana, [En línea]. Available: https://www.uv.mx/prensa/reportaje/cafe-de-veracruz-el-de-mayor-calidad-en-el-pais/. [Último acceso: 2023 Febrero 12].

[4] A. M. Nicólas Sosa y P. Álvarez Mejía, «Control interno de ventas de cafeterías en zona turística,» *Cathedra et Scientia. International Journal,* vol. 1, nº 1, pp. 135-139, 2017.

[5] D. B. López Velásquez, «Plan estratégico para la comercialización y posicionamiento de la marca de Café "Don Julián" en el mercado de Quito,» Quito, 2023.

[6] C. A. Espinoza Montes, Metodología de investigación tecnológica, Huancayo, 2010.

[7] S. Gómez, «Investigación Tecnológica. Concepción metodologíca en las Ciencias de la Ingeniería,» *Revista electróncia de Ciencia y Tecnología del Instituto Universitario de Tecnología de Maracaibo,* vol. 1, nº 2, pp. 80-96, 2016.

[8] D. A. Forero Castañeda y J. A. Sánchez García, «Introducción a la inteligencia de negocios basada en la metodología Kimball,» *Revista Tecnología, Investigación y Academia RITA,* vol. 9, nº 1, pp. 5-17, 2020.

[9] F. Aditya Rizky, Y. Intan Nurma, P. Aditya y M. Suryani, «Data Mining Implementation Using Frequent Pattern Growth on Transaction Data for Determining Cross-selling and Up-selling (Case Study: Cascara Coffee),» de *International Conference on Artificial Intelligence and Big Data Analytics*, Bandug, 2021.

 ISSN: 2007 8102

Análisis de las condiciones ambientales y su impacto en el rendimiento de la actividad docente.

María del Carmen Chacón Olivares 1[1], Raúl Armenta Villanueva 2[2]*
Tecnológico Nacional de México/ ITS de Irapuato[1], mariadelcarmen.co@irapuato.tecnm.mx1,
Tecnológico Nacional de México/ ITS de Irapuato,[2] raul.av@irapuato.tecnm.mx2

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen.

Frente al cambio de las condiciones climáticas que se experimenta en el mundo actualmente, surgen dudas de las repercusiones en las actividades cotidianas y en los centros de trabajo, el presente estudio tiene como objetivo analizar las magnitudes del IDC (Índice de Calor) y las categorías que se presentan durante el verano para generar un precedente que permita determinar las condiciones térmicas en las que laboran los usuarios del espacio de trabajo y los riesgos implicados. Para llevar a cabo este estudio se recopiló información de fuentes oficiales nacionales e internacionales e instrumentos de validación para la realización de cálculos que ayudaron a la interpretación de los resultados de las temperaturas y humedades en el entorno laboral, se determinó entre otras categorías que hay una sensación caliente (32-41 °C) según el IDC, con mayor incidencia en la primera hora de la mañana (87.5%) y menor incidencia a media jornada.

Palabras clave. *Condiciones ambientales**,** Rendimiento, Índice De Calor*

Abstract.

In front of the changing climatic conditions in the world today raise doubts about the impact on daily activities and workplaces, this study aims to analyze the magnitudes of the IDC (Heat Index) and the categories presented during the summer to generate a precedent for determining the thermal conditions in which workspace users work and the risks involved. To carry out this study, information was collected from official national and international sources and validation tools for the conduct of calculations that helped to interpret the results of temperatures and humidity in the work environment, and it was determined among other categories that there is a warm sensation (32-41 ° C) according to the IDC, with higher incidence in the first hour of the morning (87.5%) and lower incidence at half-time.

***Key words**: Ambient Conditions, Performance, Heat Index*

Introducción

El crecimiento de la industria, mancha urbana, tráfico vehicular y otros factores en el bajío ha denotado un cambio climático específicamente en la variable temperatura, que tiene un impacto en las condiciones de trabajo y productividad directamente en el “Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables” [1].
Como resultado de la evaluación de las variables climatológicas en base a información retrospectiva se confirma que existe cambio climático en el estado, con un incremento de 0.6 a 0.8 °C la temperatura media anual en el estado, siendo más notable en la zona del bajío y que corresponde

 ISSN: 2007 8102

al corredor industrial del estado, con los municipios de Purísima del Rincón, San Francisco del Rincón, León, Silao, Irapuato, Salamanca, Villagrán, Cortázar, Celaya y Apaseo el Grande. [2]
Condición que debe de ser estudiada y atendida en los centros de trabajo de acuerdo a la norma NOM 015 STPS. Que refiere los límites permitidos de tolerancia con variable de temperatura a la que deben de exponer los trabadores en espacios confinados y abiertos, con el objetivo de "Establecer las condiciones de seguridad e higiene, los niveles y tiempos máximos permisibles de exposición a condiciones térmicas extremas, que, por sus características, tipo de actividades, nivel, tiempo y frecuencia de exposición, sean capaces de alterar la salud de los trabajadores" [3]

Si se toma como punto de partida o suposición que la relación variable temperatura del medio ambiente causa o puede causar alteraciones al sistema nervioso con la exposición en incrementos de la misma, como menciona [4]"En ambientes con temperaturas altas se puede presentar estrés térmico, el cual influye en la capacidad de concentración, entre otros aspectos." La OIT (Organización Internacional de Trabajo) estima que, en condiciones climáticas superiores a 30 grados de temperatura, una persona puede ver reducida hasta la mitad su capacidad productiva. Citada en el mismo artículo.
Es por eso el presente trabajo exhibe de manera ordenada la caracterización del comportamiento de temperatura y su impacto en la salud en el personal docente en un área de trabajo del sector educativo en una de las universidades más importantes del bajío.

Justificación

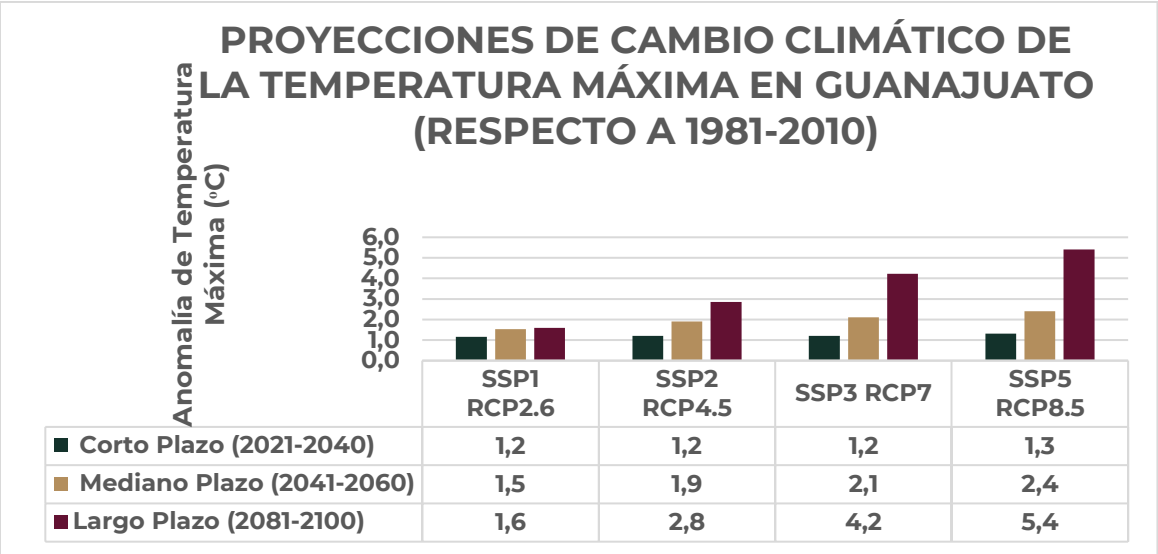
Es de suma importancia la consideración de las normativas en materia de seguridad y salud en el trabajo, las enfermedades por estrés, enfermedades crónico-degenerativas, accidentes y enfermedades de trabajo se han incrementado en todo el mundo. La Organización Internacional del Trabajo estima que cada 15 segundos, un trabajador muere a causa de accidentes o enfermedades relacionadas con el trabajo y 153 trabajadores tienen un accidente laboral. Cada día mueren 6,300 personas a causa de accidentes o enfermedades relacionadas con el trabajo. [5]
Uno de los principales factores que influye en el rendimiento laboral son las condiciones como la temperatura en los espacios o áreas de trabajo, y si consideramos que los periodos cálidos muestran un incremento en su tendencia en el estado de Guanajuato, los datos presentados conllevan a generar la conciencia de vigilancia de la aplicación de las Normas Oficiales Mexicanas vigentes en materia de seguridad y salud en el trabajo, para fortalecer las condiciones laborales. Ver figura 1.
Las proyecciones de la temperatura en el estado de Guanajuato muestran en todos los escenarios de cambio climático un incremento gradual de la temperatura que va de 1.1 a 1.5ºC en el escenario más favorable (SSP1 RCP2.6), y de 1.2 a 5.0ºC en el escenario más pesimista (SSP5 RCP8.5). [6]
Como se observa en la siguiente tabla: (Tabla 1.)

Tabla 1- Anomalías de Temperatura con base a: (CGACCE/INECC con datos del Servicio Meteorológico Nacional y del Atlas del IPCC (https://interactive-atlas.ipcc.ch/)

Guanajuato				
Anomalía de Temperatura Máxima (ºC)				
Periodo	SSP1 RCP2.6	SSP2 RCP4.5	SSP3 RCP7	SSP5 RCP8.5
Corto Plazo (2021-2040)	1,2	1,2	1,2	1,3
Mediano Plazo (2041-2060)	1,5	1,9	2,1	2,4
Largo Plazo (2081-2100)	1,6	2,8	4,2	5,4

El tema de las condiciones de temperatura en un área de trabajo no es un tema de prevención, sino de conciencia y generación de estrategias en conjunto para su aplicación en el día a día de las actividades laborarles y sus consecuencias.

 ISSN: 2007 8102



	SSP1 RCP2.6	SSP2 RCP4.5	SSP3 RCP7	SSP5 RCP8.5
Corto Plazo (2021-2040)	1,2	1,2	1,2	1,3
Mediano Plazo (2041-2060)	1,5	1,9	2,1	2,4
Largo Plazo (2081-2100)	1,6	2,8	4,2	5,4

Figura 1. Proyecciones de cambio climático de la temperatura máxima, (Fuente: Elaborado por CGACCE/INECC con datos del Servicio Meteorológico Nacional y del Atlas del IPCC)

El estrés térmico por calor es la carga de calor que los trabajadores reciben y acumulan en su cuerpo y que resulta de la interacción entre las condiciones ambientales del lugar donde trabajan, la actividad física que realizan y la ropa que llevan. Es decir, el estrés térmico por calor no es un efecto patológico que el calor puede originar en los trabajadores, sino la causa de los diversos efectos patológicos que se producen cuando se acumula excesivo calor en el cuerpo. [7]

Determinación del problema:

De manera específica en el área objeto de estudio se detecta una inexistencia del análisis y seguimiento de vigilancia y control de las condiciones ambientales y su impacto en el rendimiento de actividades cotidianas. (ver figura 2).

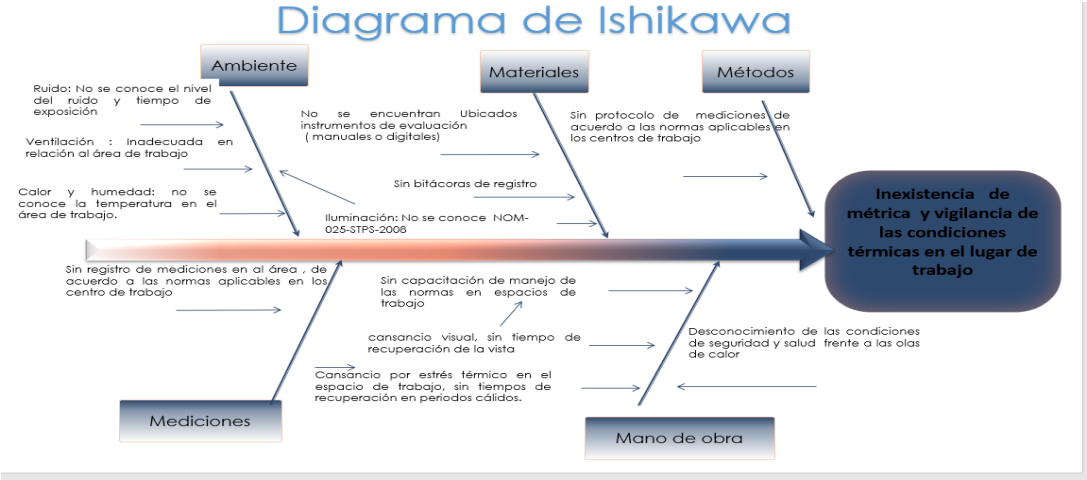


Figura 2. Determinación del problema mediante diagrama causa y efecto. Elaboración propia,

Objetivo:

Analizar el comportamiento de las variables de condiciones ambientales en la zona del bajío para establecer el impacto en el desempeño de las actividades laborales.

 ISSN: 2007 8102

Metodología.

En el presente proyecto se plantea de manera grafica los pasos y técnicas utilizadas para la obtención de la información, seguimiento, análisis y determinación de resultados de la manera siguiente:

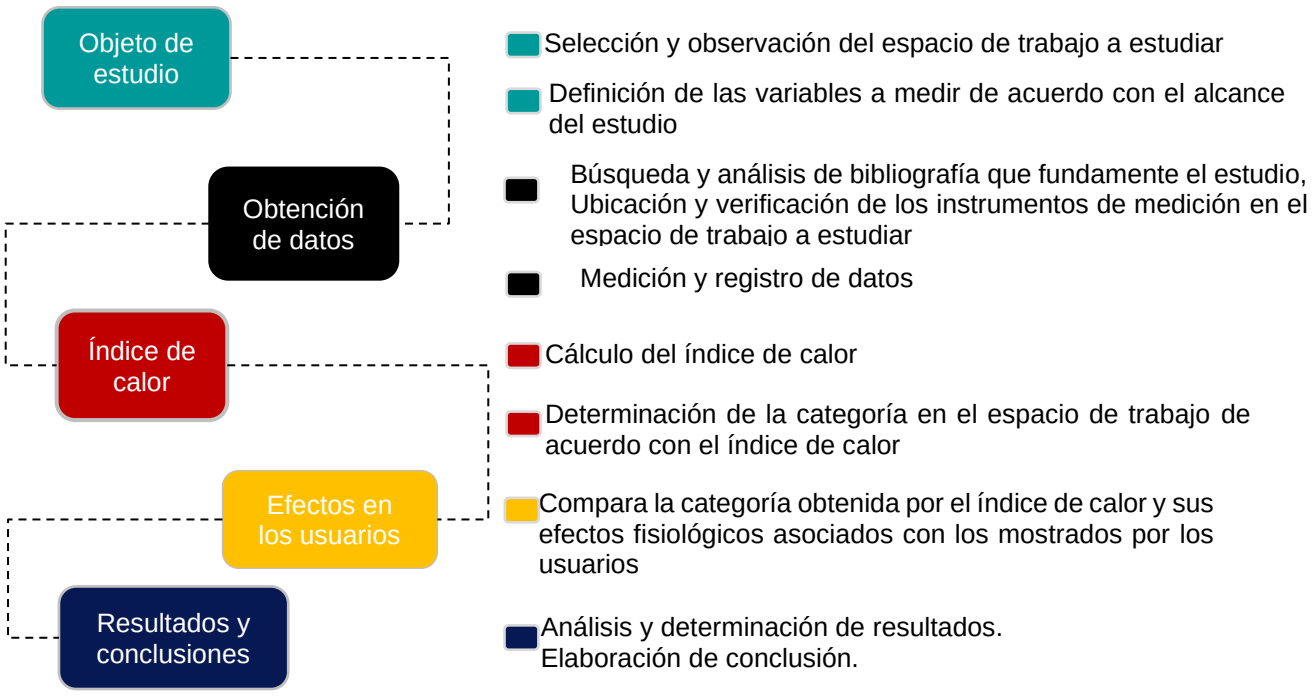


Figura 3. Metodología del proyecto por fases.
Elaboración propia. con base a la investigación realizada

Materiales:

A continuación, se muestra los materiales y recursos para el desarrollo del trabajo que se llevó a cabo en el Edificio J planta alta espacio de trabajo ocupado en promedio por 13 personas, en el periodo comprendido de 5 de junio al 5 de julio 2023.

Para los fines del estudio se determinará el índice de calor también conocido como temperatura aparente para lo que son necesarias dos variables temperatura y humedad relativa, dichas variables se medirán utilizando un termómetro de alcohol y un medidor de humedad digital (figura 4) además de un sensor ubicado en la estación meteorológica de “el copal” propiedad de la fundación Guanajuato produce para monitorear la de temperatura ambiente en la zona.



Figura 4. Termómetro de alcohol rango (-40 - 50 °C) precisión 1°C y medidor de humedad digital rango (10% - 99%) precisión 1%, instrumentos de medición utilizados para temperatura y humedad.

Se ubicaron dos termómetros en puntos opuestos del área de trabajo siendo el primer punto las oficinas de las jefaturas de área y el segundo punto los cubículos de los profesores, ambas áreas comparten características similares en cuanto ventilación y flujo de personas, se verificaron las temperaturas medidas por los termómetros en ambos puntos para realizar las comparativas correspondientes, encontrando variaciones mínimas de temperatura y humedad entre ambos puntos.

La Medición y registro diario de la temperatura y humedad en el espacio de trabajo se realizó durante del 5 de junio al 5 de julio de 2023, se registraron las temperaturas y humedades relativas en el espacio de trabajo con observación de la ola de calor que se presentó durante la última quincena del mes de junio y la primera semana de julio, durante tres momentos de la jornada laboral en el turno matutino debido a que este presenta el mayor flujo de usuarios en el área de estudio. Los horarios seleccionados para las mediciones fueron 7:00 am 11:00 am y 3:00 pm; Para determinar el IDC (Índice De Calor) se utilizaron datos obtenidos de la NOAA (Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica), con los cuales se puede calcular IDC, teniendo solo dos variables, la temperatura ambiental y la humedad relativa, dichas variables se ubican como coordenadas en el diagrama de la figura 5 y en su intersección se lee la temperatura aparente o índice de calor determinado por el National Weather Service de EEUU. Los valores mostrados son para lugares con sombra, ya que en exteriores la luz solar puede incrementar el índice de calor al igual que puede incrementarlo la actividad física intensa. Como el trabajo realizado por los usuarios en el área de estudio se considera como físicamente moderado o trabajo de oficina el índice de calor resulta útil para conocer el grado de confort térmico experimentado por los usuarios del área de trabajo, entendiendo como confort térmico la sensación de bienestar que experimenta el organismo humano cuando permanece en condiciones ambientales que no exigen esfuerzos extremos a los mecanismos de termorregulación propios para mantener su temperatura interna alrededor de los 37ºC [8].

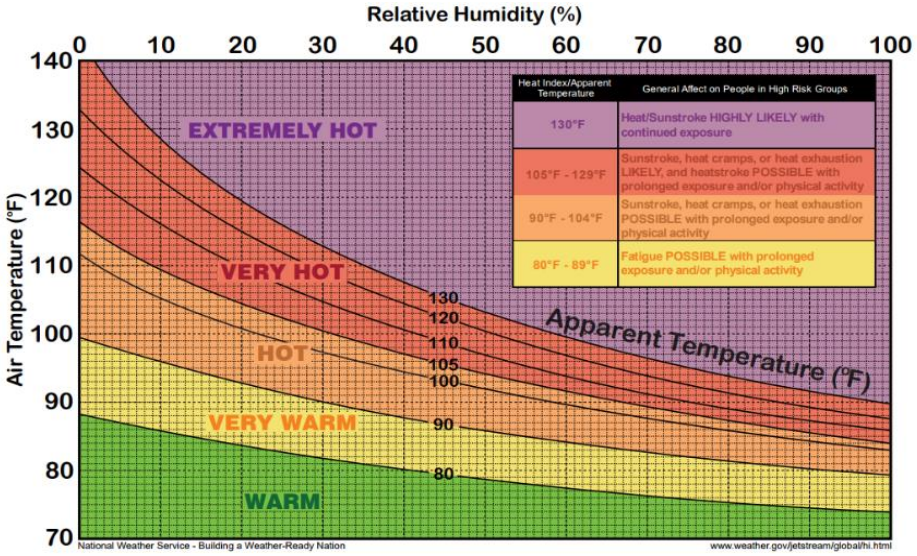


Figura 5 Diagrama para el cálculo del índice de calor, instrumento para determinación grafica del IDC Fuente: https://www.noaa.gov/jetstream/global/heat-index

Además, la NOAA también proporciona herramientas para calcular el IDC en su página web, dicha herramienta es una calculadora en línea (figura 6) que puede usarse con escala de temperatura Celsius o Fahrenheit, para determinar estatus del espacio de trabajo asociado al índice de calor en interiores y los efectos fisiológicos asociados.

 ISSN: 2007 8102

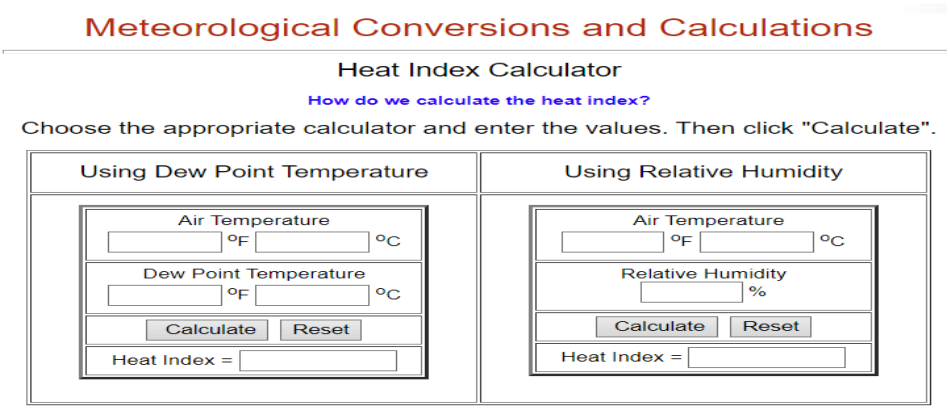


Figura 6. Calculadora utilizada en la determinación cuantitativa para el índice de calor. Fuente: https://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex.shtml

El índice de calor es una medida de como sentimos el clima (temperatura aparente) cuando este es cálido, esa sensación de calor en combinación con la humedad relativa (Tabla 2) tiene efectos fisiológicos en las personas dichos efectos pueden afectar el desempeño y la productividad en el trabajo.

Tabla 2. Relación de la humedad relativa en el ambiente con la sensación de confort

Humedad relativa	Cantidad de sudor evaporado	Calor removido del cuerpo	Sensación
Alta	Más baja	Menor	Poco confortable
Baja	Más alta	Mayor	Más confortable

Elaboración propia con base a: https://www.noaa.gov/jetstream/global/heat-index

Resultados y análisis de datos

Durante 22 días se realizaron tres mediciones diarias, para cada una de ellas se calculó un índice de calor (IDC) y se definió su correspondiente categoría como lo muestra la (tabla 3).

Tabla 3. Categorías del índice de calor.

Categoría	IDC (°C)	Efectos sobre las personas
I. Extremadamente caliente	> 54	Calor/insolación muy probable con exposición continua
II. Muy caliente	41-54	Insolación, calambres por calor o agotamiento por calor probable y golpe de calor POSIBLE con exposición prolongada y/o actividad física
IIII. Caliente	32-41	Insolación, calambres por calor o agotamiento por calor posible con exposición prolongada y/o actividad física
IV. Muy cálido	27-32	Fatiga, dificultad de concentración
V. Condiciones confortables	< 27	Confort

Elaboración propia con base a: https://www.noaa.gov/jetstream/global/heat-index

Lo anterior con la finalidad de determinar las magnitudes del IDC y la o las categorías que se presentan durante el verano para generar un precedente que permita determinar las condiciones

 ISSN: 2007 8102

térmicas en que laboran los usuarios del espacio de trabajo y los riesgos implicados en caso de no tomar las medidas pertinentes de protección contra la temperatura.

Los datos recabados proporcionaron la siguiente información:

Se encontró que durante el periodo estudiado en 8 de los 22 días observados se tuvo un IDC con categoría III considerada como caliente (32-41 °C) según el IDC, con mayor incidencia en la primera hora de la mañana (87.5%) y menor incidencia a media jornada (12.5%). (Figura 7.)

Durante el periodo estudiado la categoría predominante fue la IV considerada como muy cálida (27-32°C) según el IDC, presentándose generalmente a media jornada y por la tarde. (Figura 8.) Durante el estudio no hubo presencia de condiciones confortables IDC (<27°C) (Figura 8), la categoría III considerada como caliente según el IDC, solo ocurrió en el 11.6% de las mediciones. (Figura 9)

Durante el periodo de estudio el IDC mostró una tendencia lineal (Figura 10), a lo largo del periodo de estudio manteniéndose en promedio en la categoría IV lo que no supone riesgos significativos a la salud de los usuarios, pero si afectaciones en su desempeño debido a los efectos psicológicos ocasionados por las altas temperaturas. Durante este periodo el 100 % de los usuarios del espacio de trabajo refirieron efectos psicológicos y psicofisiológicos adversos en referencia a su lugar de trabajo. (Figura 11 y 12).

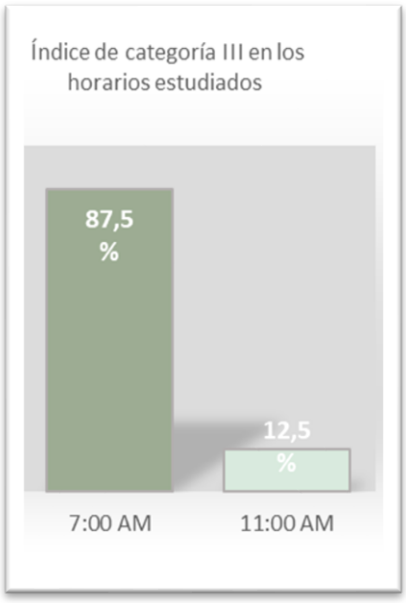


Figura 7. Determinación de la incidencia de categoría III.

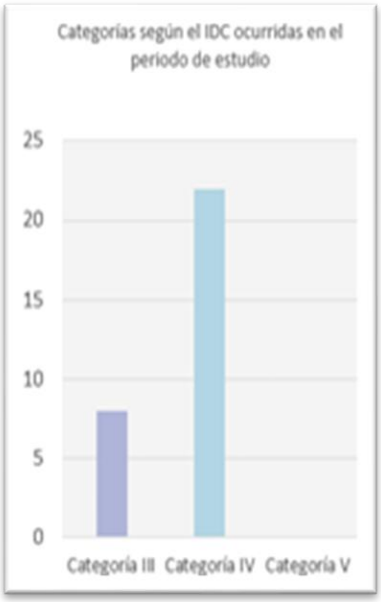


Figura 8. Determinación de la categoría predominante del periodo estudiado

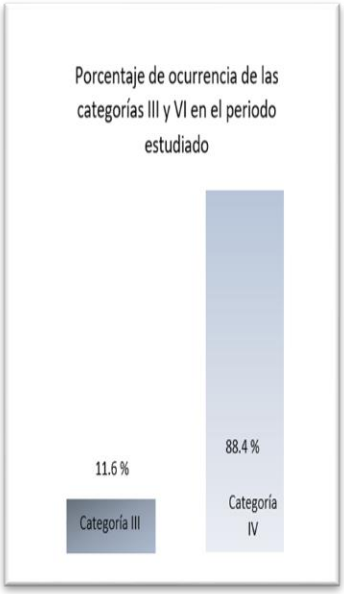


Figura 9. Frecuencia de ocurrencia del periodo estudiado

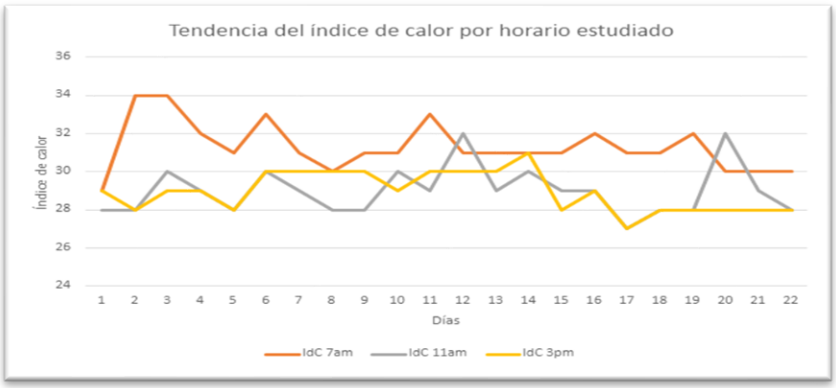


Figura 10. Tendencia del IDC por horario estudiado

 ISSN: 2007 8102

Por otro lado, ahora mostrando los datos psicológicos y fisiológicos identificados mediante una encuesta, en donde los resultados nos ayudan a identificar que tan confortable siente su entorno laboral, también se identificaron algunos síntomas que experimentan a lo largo de su jornada incluso se logró identificar si estos pueden llegar a tal punto de presentarse en efectos que son perceptibles por el ser humano.

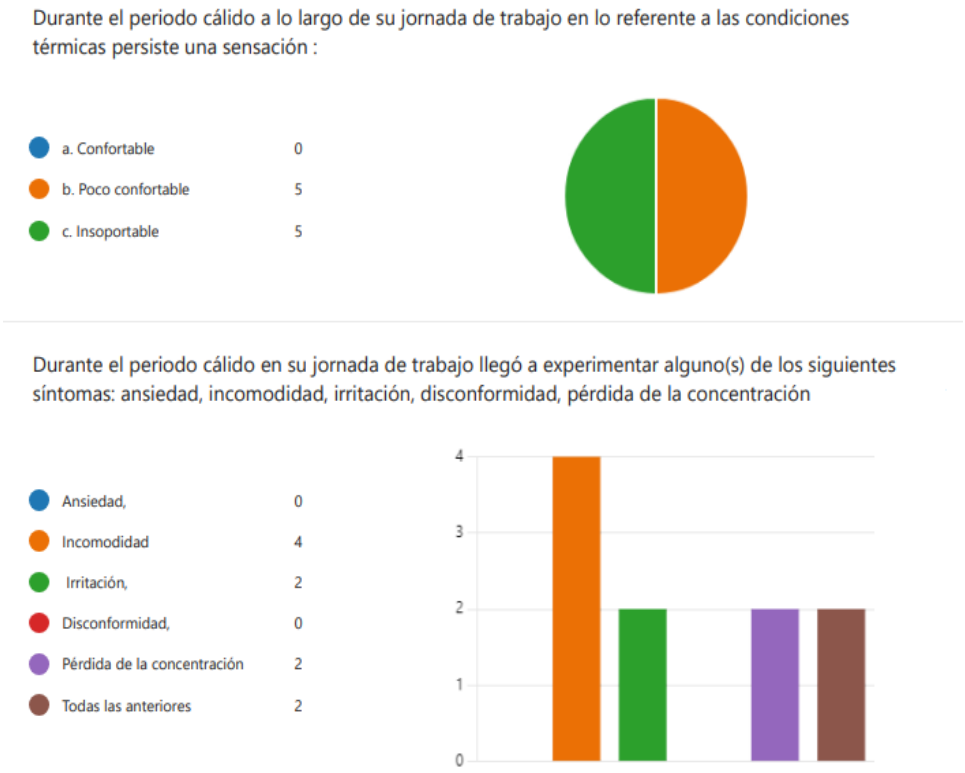


Figura 11. Resultados obtenidos en la medición: efectos psicológicos en los usuarios del área.

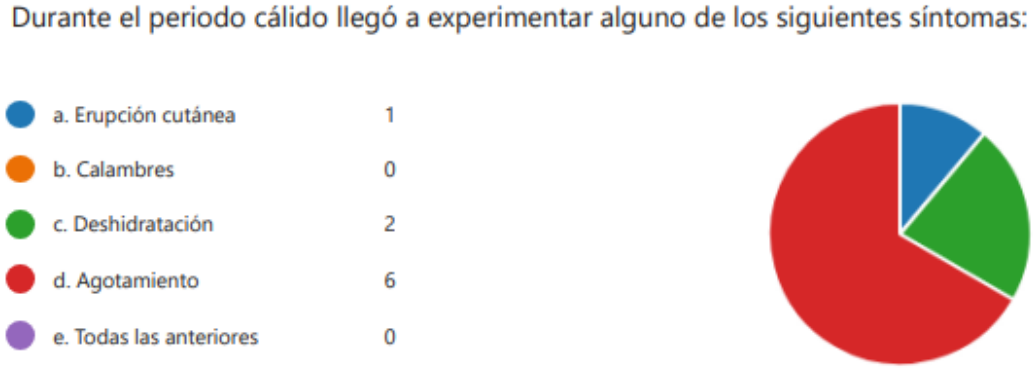


Figura 12. Resultados obtenidos en la medición: efectos fisiológicos en los usuarios del área

 ISSN: 2007 8102

La presentación de los datos de dos de las muestras (t 2) obtenidas en el espacio de trabajo se muestra en el programa de Minitab® arrojan que:

a) Prueba: No existe suficiente evidencia para concluir que las medias difieren en el nivel de significancia de 0,05.
b) IC: Cuantifica la incertidumbre asociada a la estimación de la diferencia en las medias a partir de los datos de las muestras. Usted puede tener una seguridad de 95% de que la diferencia verdadera se encuentra entre -0,66417 y 0,75507.

Por lo cual se puede determinar que su comportamiento es lineal y no existe nivel de diferencia de significancia entre los dos. (ver figura 13)

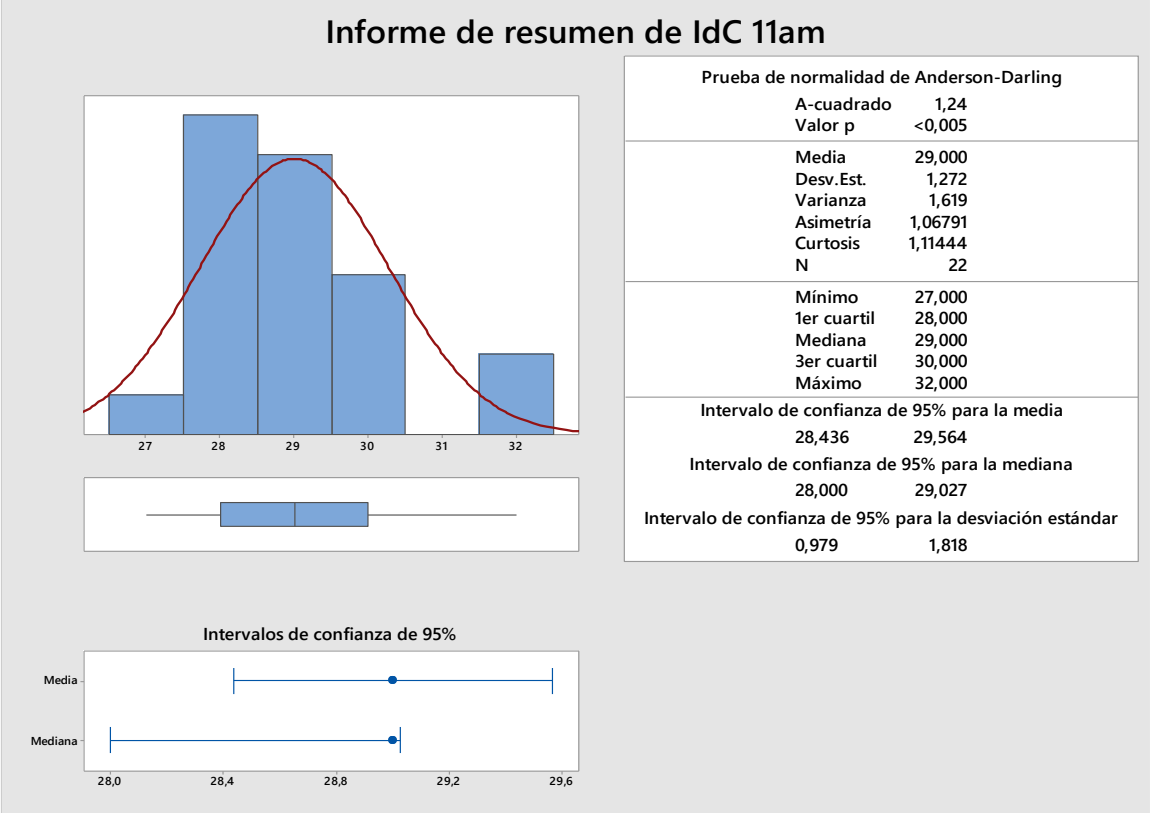


Figura 13. Prueba de normalidad de Anderson-Darling

Trabajo a futuro

Se sugiere hacer el monitoreo de medición bajo el protocolo de la NOM-015, STPS. Con los instrumentos de medición establecidos.

Conclusiones

El impacto de las condiciones laborales en el desarrollo del presente artículo nos permite determinar que existe un impacto en relación con el rendimiento de la actividad docente. Durante el periodo de estudio el IDC mantuvo una tendencia lineal establecida en la categoría IV considerada como “muy cálida” que conlleva efectos en su mayoría psicológicos en los usuarios del espacio de trabajo, en el periodo de estudio los usuarios también refirieron haber experimentado efectos psicofisiológicos que afectaron su rendimiento.

Si bien la categoría IV “muy cálida” no se relaciona expresamente con riesgos a la salud de los usuarios si afecta su rendimiento laboral, generando debido a la sensación de fatiga y/o agotamiento que produce. Es posible que la tendencia el aumento en las temperaturas que el estado ha experimentado en años pasados se mantenga en los siguientes años, por lo que la institución deberá tomar medidas, ya que es probable que se esté incumpliendo la norma NOM 015 STPS referente a las condiciones térmicas elevadas, por lo que se considera necesario establecer un sistema de monitoreo de esta norma durante los periodos cálidos, y no solo de prevención sino de aplicación constante. En cualquier diseño y planeación de instalaciones debe realizarse de acuerdo a la función y actividad que ahí se lleve a cabo además de las normas e indicadores que se establecen de acuerdo a las condiciones de seguridad e higiene que regula la STPS. (Secretaria de Trabajo Y Previsión Social). Mantener una adecuada temperatura en el área de trabajo es un factor importante a considerar también en la Planeación y desarrollo organizacional, ya que impacta en las condiciones de salud del personal, es necesario establecer acciones preventivas y correctivas ante el incremento de las condiciones ambientales de acuerdo a la justificación presentada, para el cumplimiento que fortalezca los procedimientos dentro de un Sistema de Gestión de Calidad.

Referencias

[1] Unidas, Convención Marco de las Naciones, «UNFCCC: UNIDOS POR EL CLIMA,» julio 2007. [En línea]. Available: https://unfccc.int/resource/docs/publications/unitingonclimate_spa.pdf. [Último acceso: 01 05 2023].

[2] Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (IEE), «Diagnóstico Climatológico y Prospectiva sobre Vulnerabilidad,» 01 12 2011. [En línea]. Available: file:///C:/Users/CARMEN.CHACON/Documents/1.%20Enero-Mayo%2023/10.%20Investigaci%C3%B3n/CIM/Diagnostico_Climatologico.pdf. [Último acceso: 01 05 2023].

[3] Gobernación, Secretaria de, «Diario Oficial de la Federación,» 14 junio 2002. [En línea]. Available: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=728016&fecha=14/06/2002#gsc.tab=0).. [Último acceso: 01 05 2023].

[4] Gerardo Hernández, «¿Mucho calor en el trabajo? La temperatura también es un riesgo laboral,» *El Economista,* pp. 1-1, 16 Junio 2023.

[5] Gobierno de la República,Secretaría del Trabajo y Previsión Social, Seguridad y Salud en el Trabajo en México: Avances, retos y desafíos, Mexico: Secretaría del Trabajo y Previsión Social, ISBN: 978-607-8455-13-3, Octubre, 2017 .

[6] Gobierno de méxico, «Proyecciones de cambio climático y descarga de fichas climáticas por estado,» Gobierno de méxico, México, https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/Proyecciones/P_11.html, 2023.

[7] Ministerio de trabajo y asunstos sociales de España , «¿Qué es el estrés térmico por calor,» s/f. [En línea]. Available: https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/AF2BD786-0A6D-4564-9076-BE42220B4843/225685/calorytrabajoprofesional.pdf. [Último acceso: 01 05 2023].

[8] Y. M. G. Ibis Ávila Roque, «Estrés térmico, salud y confort laboral,» Instituto Nacional de la Salud de los trabajdores , Cuba, 2016.

ISSN: 2007 8102

Visualización de datos usando Power BI aplicado en el análisis de accidentes automovilísticos

*María Gabriela Vázquez Portillo, Argelia B. Urbina-Nájera**
*UPAEP-Universidad, mariagabriela.vazquez@upaep.edu.mx, *abunajera@gmail.com*

***Área de participación**: Ingeniería administrativa*

Resumen

En este proyecto se presentan las características principales de los accidentes de tráfico de vehículos ocurridos en el municipio de Puebla, México durante 2012 al 2021 mediante inteligencia de negocios. El conjunto de datos se obtuvo de la plataforma del Instituto Nacional de Estadística y Geografía cuenta con 53,225 registros y 45 atributos que permitirán conocer el comportamiento de los accidentes, a partir de la ubicación, fecha, clase y tipo de accidente, tipo de vehículo involucrado, causa determinante o presunta, superficie de rodamiento, datos del conductor y clase de víctimas. Para dicho análisis se aplicó la metodología CRISP-DM en la creación de un tablero de datos. Algunos datos relevantes muestran que en porcentajes bajos en mortalidad los conductores presentaban aliento alcohólico, y que el género femenino provoca menos accidentes automovilísticos. Los hallazgos han permitido comprender el fenómeno desde diversas aristas con el fin de informar a las personas respecto a este tema.

***Palabras clave**: Tablero de datos, accidentes de tránsito, Estado de Puebla, automovilismo*

Abstract

This project presents the main characteristics of vehicle traffic accidents that occurred in the municipality of Puebla, Mexico, from 2012 to 2021 through business intelligence. The dataset was obtained from the platform of the National Institute of Statistics and Geography with 53,225 records and 45 attributes that will allow to know the behavior of accidents based on location, date, type and type of accident, type of vehicle involved, determining or presumed cause, road surface, driver data and type of victims. The CRISP-DM methodology was applied to create a data dashboard for this analysis. Some relevant data show that in low percentages of fatalities, drivers presented alcoholic breath and that the female gender causes fewer automobile accidents. The findings have made it possible to understand the phenomenon from different angles to inform people about this issue.

***Key words**: Data Dashboard, traffic accidents, State of Puebla, Motoring.*

Introducción

Un accidente automovilístico es la colisión entre dos vehículos; o entre un vehículo y un objeto o persona, al encontrarse circulando por vías públicas o privadas [1]. Puede ser una de las experiencias más aterradoras y traumáticas que puede llegar a experimentar una persona. No importa la edad que tenga el individuo, sí es su primer carro o sí lleva años conduciendo; nunca será fácil vivir una experiencia de tal magnitud. En la mayoría de los casos, nunca pasa por la mente de las personas que este tipo de situaciones le pueden ocurrir a cualquiera. Sin embargo, las estadísticas son crudas. De acuerdo con datos del INEGI, de los más de 340 mil accidentes registrados en México en el año 2021, hubo más de 82 mil personas heridas y 4,401 personas que perdieron la vida, sin mencionar los daños materiales y los costos que estos implican [2]. Los accidentes automovilísticos pueden ocurrir por diversas razones, como lo son: malos hábitos de conducción, distracciones, consumo de alcohol, cansancio, altas velocidades y, por último, pero no menos importante, condiciones meteorológicas adversas [1]. Son tantos los accidentes que ocurren en Puebla, que en el 2022 se colocaron como la cuarta causa de muerte a nivel estatal [3].

Es por ello, que diversas instituciones siguen invirtiendo recursos; como lo son el tiempo y el dinero en investigación para la prevención de dichos accidentes. De allí que este proyecto tenga como objetivo generar

ISSN: 2007 8102

información anual sobre la siniestralidad del transporte terrestre a nivel nacional, entidad federativa y municipio; mediante el acopio y procesamiento de datos alusivos a los accidentes ocurridos en zonas no federales, mediante el uso de herramientas de inteligencia de negocios como Power BI [4], Tableau [5] y Qlik Sense [6]; a fin de tener acceso a información fiable, de fácil comprensión para poder tomar medidas y decisiones pertinentes con respecto a los accidentes de tráfico que suceden en el municipio de Puebla, situación que puede ser replicada en cualquier Estado o Municipio, toda vez que se cuente con una estructura de datos similar a la utilizada en este proyecto.
En el análisis y visualización de datos, existen diversas herramientas que permiten al usuario obtener una representación gráfica de los datos para facilitar su comprensión y toma de decisiones. Entre ellas, Power BI [4], Tableau [5] y Qlik Sense [6] son algunas de las más populares y potentes [7].

- Power BI es una herramienta de análisis de datos y visualización desarrollada por Microsoft. Entre sus características más relevantes se encuentra su integración con otras herramientas de Microsoft como Excel y SharePoint, así como una amplia variedad de visualizaciones y capacidad de análisis avanzado [4]. Además, Power BI es una opción accesible y disponible en la nube.
- Tableau es una herramienta de análisis y visualización de datos desarrollada por Tableau Software. Algunas de sus características más relevantes incluyen una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar, una amplia variedad de visualizaciones y capacidad de análisis avanzado, así como la capacidad de conectarse a una variedad de fuentes de datos y crear visualizaciones en tiempo real [5].
- Qlik Sense es una plataforma de análisis y visualización de datos desarrollada por Qlik. Su característica distintiva es su motor de inferencia automática que permite crear relaciones entre datos de forma automática [6]. Su interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar, así como la capacidad de crear aplicaciones personalizadas y compartirlas con otros usuarios, son también una ventaja para los usuarios.

Después de revisar las diferentes características que ofrecen estos tres proveedores de software, Power BI emerge como la herramienta que cumple con las principales necesidades del proyecto al ofrecer una solución completa. La facilidad de uso de la herramienta, así como su compatibilidad nativa con fuentes de datos, más la posibilidad de agregar visualizaciones personalizadas, hacen de este software una opción relevante como herramienta para el proyecto.

Metodología

La metodología empleada en este estudio se basa en los principios básicos de la planeación de proyectos de inteligencia de negocios tomado de [8], puesto que se circunscribe en la definición de requisitos, limpieza y normalización de datos, definición de indicadores, modelado y evaluación del tablero de datos; proceso iterativo que permite identificar las áreas de oportunidad antes de entregar el producto final. Las fases mencionadas se describen a continuación.

Definir requisitos

En primer lugar, se establecieron los requisitos de negocio, que incluyeron: la actualización anual de la base de datos que alimenta el tablero, restricción de actualizaciones solo a cargo del director del proyecto, uso consistente de colores y tipografías en el tablero, inclusión de etiquetas de identificación en todos los gráficos, disponibilidad de al menos 10 años de registros de accidentes desde 2012 hasta 2021, y finalmente, proveer la libertad al usuario de poder tomar capturas de pantalla de las visualizaciones que considerar pertinentes. Así mismo, se definieron los requisitos de usuario, a saber: la posibilidad de elegir el periodo deseado para la visualización a través de un filtro, visualizar estadísticas relacionadas con diferentes variables de los accidentes (como el tipo de accidente, clase de accidente, tipo de vehículo, causa, superficie de rodamiento, datos del conductor, etc.), filtrar los datos a través de variables específicas (como la edad, género, tipo de vehículo) e identificar la zona donde ocurrieron. En resumen, se establecieron los parámetros necesarios para garantizar que el tablero cumpla con los objetivos del proyecto y brinde una experiencia de usuario satisfactoria.

 ISSN: 2007 8102

Limpieza y normalización de datos

El proceso de limpieza, transformación y carga (ETL, por sus siglas en inglés) comienza con la extracción de los datos, los cuales fueron obtenidos del portal del INEGI [2], en un solo archivo tipo .zip que contenía los archivos por año de 1997 al 2021 con un total de 45 atributos y 9,550,893 registros. Sin embargo, para cumplir con los objetivos del proyecto, sólo se requirieron los archivos del 2012 al 2021, por lo que se procedió a separar los conjuntos de datos necesarios. Es importante reiterar que este proyecto se enfocó únicamente en los registros de accidentes del municipio de Puebla.

La revisión inicial de las bases de datos reveló que cada archivo contenía los registros de los accidentes de las 32 entidades federativas del país y el total de municipios de cada uno de estos. Sin embargo, no se encontró evidencia de datos vacíos, redundancias, ruido o algún otro tipo de “basura” que afectara al proyecto. Con estas observaciones, se comenzó a trabajar en la limpieza y estructuración de la base de datos principal.

Para limpiar los datos, se tomó la decisión de extraer de cada archivo de cada año, únicamente los registros correspondientes al municipio de Puebla y colocarlos en un solo documento, facilitando así la limpieza y el manejo de los datos. Para llevar a cabo la extracción, primero se identificó el código que refiere al estado y al municipio de Puebla, utilizando el catálogo que venía anexo con el conjunto de datos. Una vez identificadas las referencias, se procedió a hacer la acumulación de datos en un solo archivo y se tomó la decisión de eliminar algunas columnas que no fueran requeridas para el proyecto como la de “COBERTURA”, “ID_ENTIDAD”, “ID_MUNICIPIO” y “ESTATUS”, puesto que no aportan valor al proyecto y toma de decisiones futuras.

Por otro lado, se observó que los datos sobre fecha y hora de los accidentes venían separados en diferentes columnas (“ANIO”, “MES” y “ID_DIA” para fecha, y “ID_HORA” y “ID_MINUTO” para la hora) por lo tanto se decidió unir los datos de cada tipo en un solo atributo con la función “=FECHA()”.

En esta etapa del proceso, se detectó un error en los datos del año 2021 debido a la presencia de espacios en blanco en las celdas. Para corregir este problema, se aplicó la función “=EXTRAER()” para eliminar los espacios en blanco y luego se copiaron los datos correctos en la misma columna. Esto permitió que la función “=FECHA()” funcionara correctamente. Además, para unir los datos de hora en un solo atributo, se utilizó la función “=CONCATENAR()” y se dio un formato personalizado “h:mm” (Fig. 1).

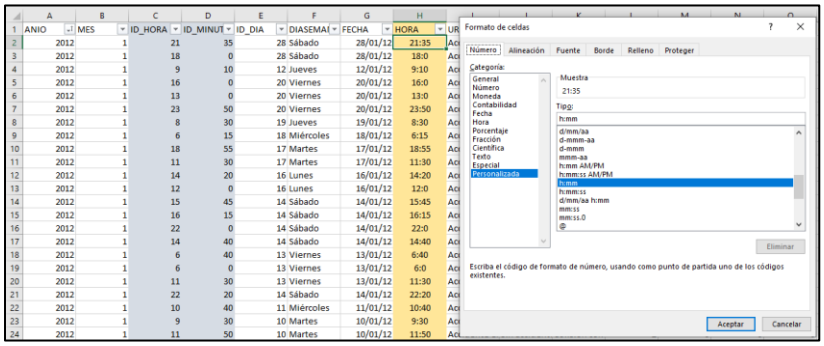


Figura 1. Limpieza del campo fecha

Por último, se remplazaron los datos categóricos nominales por sus variables equivalentes utilizando la herramienta Buscar y Sustituir y el catálogo de datos. Una vez que los datos pasaron por el proceso de limpieza y estructuración, la Tabla I presenta las características del conjunto de datos final.

Tabla 1. características finales del conjunto de datos

Filas	Atributos	Tipo de datos	Registros

 ISSN: 2007 8102

53,225	37	Int, Date, Time, Varchar	53,224

Definición de indicadores

Para lograr una comprensión completa del impacto de los accidentes viales en el municipio de Puebla, se desarrollaron una serie de indicadores clave. Estos indicadores fueron seleccionados y definidos a través de un proceso de análisis de los datos disponibles y en relación con los objetivos del proyecto. En la Tabla II se describen con detalle dichos indicadores.

Tabla 2. Indicadores clave

Objetivo 1	Monitorear el porcentaje de decesos causados por accidentes automovilísticos.
Indicador	Porcentaje de accidentes de vehículos con decesos.
Fórmula	$\%\text{DECxMES} = \frac{\text{Total de accidentes con decesos en el mes}}{\textit{Total de accidentes en el mes}}$
Objetivo 2	Conocer el porcentaje de incremento o disminución de accidentes ocurridos por personas de entre 18 y 25 años con respecto al año anterior.
Indicador	Porcentaje de accidentes con respecto al mes igual del año anterior de personas de entre 18 y 25 años.
Fórmula	$\%\text{ACCdeJOV} = \frac{\textit{Accidentes de personas de entre } 18 \textit{ y } 25 \textit{ años}}{\textit{Accid de personas de entre } 18 \textit{ y } 25 \textit{ años del año anterior}}$
Objetivo 3	Identificar el porcentaje de accidentes causados por personas con alcohol en la sangre.
Indicador	Porcentaje de accidentes de personas con alcohol en la sangre.,
Fórmula	$\%\text{ACCxALC} = \frac{\text{Accid de personas con alcohol en la sangre}}{\textit{Total de accidentes}}$
Objetivo 4	Determinar el porcentaje de accidentes causados por peatones
Indicador	Porcentaje de accidentes ocasionados por peatones
Fórmula	$\%\text{ACCxPEA} = \frac{\textit{Accidentes causados por el peatón}}{\textit{Total de accidentes}}$
Objetivo 5	Identificar el porcentaje de accidentes con decesos donde el conductor no utilizaba el cinturón de seguridad.
Indicador	Porcentaje de accidentes con decesos donde el conductor no utilizaba cinturón de seguridad.
Fórmula	$\%\text{ACCxCINT} = \frac{\text{Accid con decesos donde no se utilizó el cint. de seg}}{\textit{Total de accidentes con decesos}}$
Objetivo 6	Determinar el porcentaje de accidentes por colisión con motocicleta
Indicador	Porcentaje de accidentes por colisión con motocicleta
Fórmula	$\%\text{ACCcMOT} = \frac{\textit{Accidentes por colisión contra motocicleta}}{\textit{Total de accidentes}}$

Los indicadores mostrados en la Tabla 2 fueron fundamentales para establecer la estructura y el contenido del tablero, ya que favorecieron la identificación de las métricas más importantes para medir el impacto de los accidentes en el municipio de Puebla. Además, los indicadores también sirvieron para seleccionar los gráficos más apropiados para visualizar cada una de las métricas, lo que permitió una mejor comprensión de los datos y una presentación más efectiva.

El proyecto de diseño del tablero dinámico de accidentes viales en el municipio de Puebla se llevó a cabo mediante un proceso metodológico riguroso que incluyó la limpieza y estructuración de los datos, la definición y selección de indicadores clave y el diseño del tablero en sí. Con este proceso se obtuvo una herramienta (tablero de datos) de fácil acceso y comprensión que proporciona información relevante y confiable sobre los accidentes viales.

Modelado del tablero

Para el modelado del tablero, se establecieron lineamientos, tales como que en cada lienzo del tablero debería contener al menos seis visualizaciones (gráficos, tablas o etiquetas), inclusión de un menú para especificar los diferentes apartados del tablero, estructuración del orden en el que los indicadores y objetivos deben ser presentados, priorizando la importancia de izquierda a derecha, de arriba abajo, énfasis en que las visualizaciones deben ser fáciles de interpretar, adecuadas al usuario y objetivos del proyecto, incluir una sección de preguntas y respuestas y una sección con los datos de contacto de la persona que modeló el tablero, finalmente, verificar la usabilidad del tablero mediante la aplicación de una encuesta a usuarios finales. En este sentido, las consideraciones previas dieron como resultado el modelado de seis lienzos con las características que se detallan en los párrafos subsecuentes.

La selección de colores se basó en la teoría de la psicología del color para lograr una interfaz intuitiva y fácil de interpretar para el usuario. Se buscó un equilibrio entre los colores para no distraer la atención del usuario y facilitar la lectura de los datos. En cuanto a la tipografía se buscó dar una estética profesional y legible al tablero. Para la Barra de menús y botones de ayuda, los tres lienzos principales del tablero contienen una barra localizada en el lateral izquierdo (Fig. 2) que presenta cinco íconos que funcionan como botones de desplazamiento que se describen a continuación:

- Menú: botón con tres líneas horizontales puestas una sobre la otra, al presionarlo redirigirá automáticamente a la portada del reporte.
- Filtros: Ícono con forma de un filtro, al dar clic sobre él se abre un apartado en donde se encuentran los filtros disponibles para el reporte que se esté visualizando.
- Generales: Ícono con forma de un gráfico que al presionarlo dirige el reporte al apartado de datos generales.
- KPI's: Ícono con forma de un medidor que al presionarlo dirige el reporte al apartado de indicadores.
- HvsM: Ícono con forma de hombre y una mujer que al presionarlo dirige el reporte al apartado de Hombres VS Mujeres.

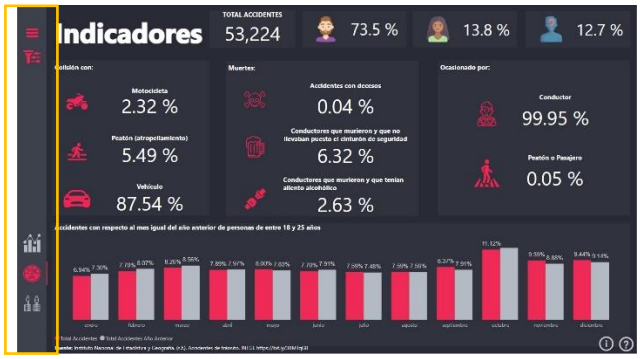


Figura 2. Barra lateral izquierda.

 ISSN: 2007 8102

Los mismos tres lienzos, en la esquina inferior derecha tienen dos botones (Fig. 2): Preguntas frecuentes: Ícono con forma de signo de interrogación que al presionarlo dirige el informe a la sección de preguntas frecuentes; e Información: Ícono de círculo con la letra “i” dentro, que al presionarlo dirige el informe a la sección de información.

Por otro lado, la portada contiene todos los datos que identifican al proyecto (Fig. 3) en cual se presentan tres opciones, que al dar clic sobre ellas, dirigen al tablero correspondiente.

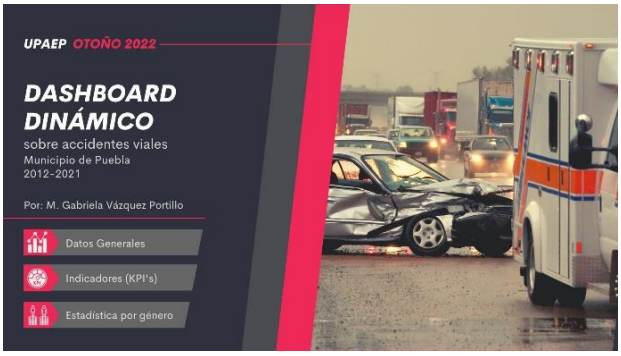


Figura 3. Portada del tablero

El lienzo con datos generales (Fig. 4) es el primer acercamiento a los datos relacionados con los accidentes. Ofrece un panorama amplio de las variables principales, de una manera general y con la opción de hacerlo un poco más específico gracias al uso de los filtros. Los elementos que se encuentran en el lienzo de Datos Generales son: Título, Total de accidentes (etiqueta), Porcentaje de accidentes del género masculino (etiqueta), Porcentaje de accidentes del género femenino (etiqueta), Porcentaje de accidentes de personas no identificados (etiqueta), Porcentaje de accidentes por rango de edad (gráfico de embudo), Porcentaje de uso de cinturón de seguridad (gráfico de anillo), Total de accidentes por día de la semana (gráfico de barras apiladas), Porcentaje de personas que manejaron con aliento alcohólico (gráfico de anillo), Total de accidentes y muertes por mes (gráfico de columnas apiladas y líneas), Total de accidentes por año (gráfico de columnas apiladas), Barra de menús y Botones de información y ayuda

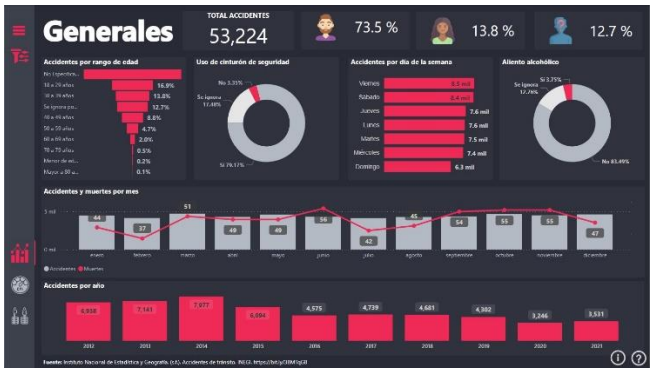


Figura 4. Información general sobre los accidentes de 2012-2022 en el Estado de Puebla-México.

El lienzo con indicadores, como su nombre lo dice, contiene todos los Indicadores Clave diseñados para este proyecto. Al igual que en el lienzo general, es posible trabajar con los datos a detalle gracias a la disponibilidad de filtros en este informe. Los elementos que se encuentran en el lienzo se muestran en la Fig 5.

 ISSN: 2007 8102

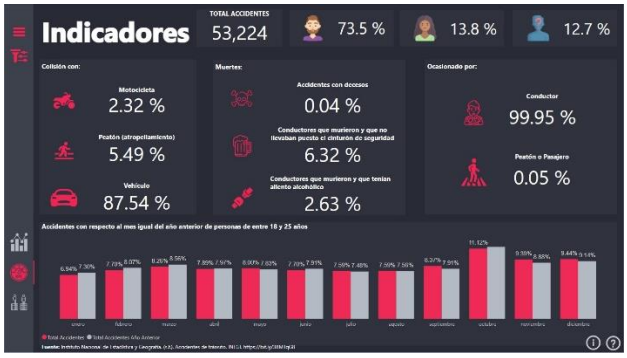


Figura 5. Representación visual de los indicadores clave.

En el lienzo de conductores hombres versus conductores mujeres, se encuentran una comparación de variables importantes filtradas para ambos géneros. Al igual que en el lienzo general y el lienzo de indicadores, es posible trabajar con los datos a detalle gracias a la disponibilidad de filtros (Fig. 6).

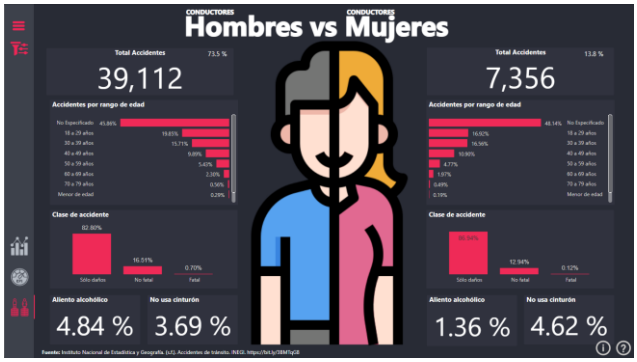


Figura 6. Lienzo comparativo sobre accidentes entre conductores por sexo.

En el lienzo sobre preguntas frecuentes tiene como objetivo principal que el usuario final pueda resolver por cuenta propia, las dudas más comunes con respecto al manejo del informe, tales como: ¿Cómo puedo desplazarme entre diferentes páginas? ¿Cómo filtro la información? ¿Cómo puedo deshacer un filtro?, entre otras. Así mismo, se presentan los datos de contacto de la persona que realizó el informe y las fuentes de información que se utilizaron con el fin de dar fidelidad a los datos y apoyo al usuario en caso de requerirlo.

Evaluación del tablero

En síntesis, se espera que el tablero cumpla con las necesidades y consideraciones establecidas al inicio del proyecto y sean avaladas por los usuarios finales a través de un cuestionario simple basado en las heurísticas de usabilidad de Nielsen [15]. Su diseño es intuitivo y fácil de usar, permite una rápida comprensión de los datos presentados. Además, cuenta con herramientas como filtros y botones de ayuda que facilitan la navegación y análisis de datos. La variedad de colores y tipografías utilizadas en el tablero contribuyen a una presentación atractiva y clara de los datos.

 ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Como se mencionó previamente, el objetivo de este estudio es presentar las características que definen a los accidentes automovilísticos ocurridos en el municipio de Puebla, México; así como, hacer una comparativa entre los años que comprenden el periodo de 2012 al 2021. Con la ayuda de las fórmulas definidas en la Tabla 2 se da respuesta a cada uno de los indicadores clave, además de estudiar la información relevante sobre los datos. Se encontró que durante el periodo analizado se reportaron 53,224 accidentes, de los cuales el 73.5% eran conductores hombres, 13.8% mujeres y 12.7% de sexo no especificado o se fugaron. Diversas fuentes, confirman que en Latinoamérica el sexo femenino es más precavido al conducir [9], [10], [11]. Por otro lado, el día que más accidentes ocurren es el viernes (8,455), en los cuales solo el 12.55% usaba cinturón de seguridad, aún cuando en 2015 la Organización Mundial de la Salud [OMS] a través de las Naciones Unidas instituye normas prioritarias sobre seguridad vehicular, siendo una de ellas, el uso obligatorio de cinturón de seguridad [12].

De igual manera, el 13.28% no tenía aliento alcohólico, siendo los meses de marzo, abril, septiembre y noviembre donde ocurrieron más decesos (11 o 12 muertes). Al mismo tiempo, se observa que, en 2012, 2013 y 2014 los decesos superaban mil muertes, mismos que han descendido en un 50% a partir de 2020 (es posible que sea derivado al confinamiento por COVID 19). Aunque, a pesar que no se analizaron datos del 2022, el WRI México afirma que en 2022 fue el año con más deceso por siniestros viales en la República Mexicana, es decir, 40 muertes por día, lo que representa un aumento del 28% comparado con 2021 [13].

Al mismo tiempo, el tablero (Fig. 5) permitió identificar que el 87.54% de las colisiones se han ocasionado entre autos, 2.32% con una motocicleta y 5.49% con un peatón, que el 6.32% de los conductores fallecieron y no llevaban puesto el cinturón de seguridad y 2.63% tenían aliento alcohólico. Así mismo, 39,112 de los accidentes automovilísticos el conductor era hombre, de los cuales el 19.85% tenía una edad entre 18-29 años, el 4.84% tenía aliento alcohólico y el 3.69% no usaba cinturón. En contraposición con 7,356 mujeres o personas que no reportaron su sexo, solo el 1.36% tenía aliento alcohólico y el 4.62% no tenía cinturón, datos que alarman pues de acuerdo a [14] las principales causas de muerte en personas entre 0-29 años son los traumatismos ocasionados por accidentes automovilísticos.

Evaluación del tablero

Para la evaluación del tablero, se diseñó un cuestionario basado en las heurísticas de Nielsen [15], el cual fue administrado a cinco usuarios finales para identificar las áreas de oportunidad y mejorar el producto a fin de lograr la satisfacción del usuario final. Los evaluadores fueron estudiantes de posgrado.
Con base en los datos recopilados en la evaluación interna, se pudo determinar que el 75% de los evaluadores corresponden al sexo masculino y el 25% al sexo femenino, el 50% se encuentra en un rango de edad de 20 a 29 años, mientras que el resto se encuentra en un rango de 30 a 39 años.

En cuanto a la identificación de los indicadores clave, el 100% de los evaluadores asegura haber identificado más de seis métricas, siendo las más mencionadas aquellas relacionadas con datos demográficos como género y edad, así como las métricas de accidentes por el aliento alcohólico y el tipo de colisión.

En la usabilidad del tablero, el 100% estuvo de acuerdo en que la estructura comunica la solución de diseño planteada, representa una idea clara del espacio y la jerarquía que ocuparía, el menú propuesto se encuentra en un lugar adecuado, el espacio de trabajo esta adecuadamente utilizado y está pensado en el usuario final. Sin embargo, un 25% de los evaluadores no mantuvo neutral sobre si el tablero presenta una secuencia lógica en función del contexto y favorece la interacción que tendría el usuario final.
Con base en los hallazgos obtenidos en la evaluación interna, se procedió a realizar una serie de mejoras en el tablero para asegurar que cumpliera con las necesidades y expectativas del usuario final. A continuación, se describirán las mejoras realizadas.

- Se eliminó el lienzo Menú y se agregaron los accesos a la portada
- Cuando los conductores se dan a la fuga después de tener un accidente ya no es posible obtener algunos datos como la edad, sexo, uso de cinturón, entre otros, es por eso por lo que, cuando se filtra por “Se ignora porque se fugó” algunas métricas muestran “en blanco” (Fig. 7), por lo que se agrega la condicional IF(ISBLANCK()) a todas las métricas para que cuando el resultado sea cero, se muestre el número cero en lugar de “en blanco” (Fig. 4).

 ISSN: 2007 8102

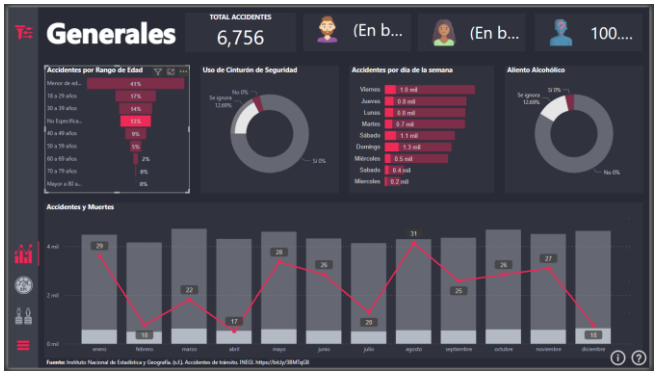


Figura 7. Error en el filtrado de datos cuando no hay datos que presentar

Se hace un cambio al presentar una barra en el porcentaje de accidentes ocasionados por conductor o un peatón, en su lugar se colocan dos etiquetas que proyectan de forma atractiva dichos resultados (Fig. 5).



Figura 8. Error detectado en la limpieza de los datos en el atributo día de la semana

Finalmente, se identificó que la limpieza de los datos requería de una revisión profunda, pues los días de la semana sábado y miércoles (Fig. 8) se repiten debido a que los datos están con acento y sin acento, y para Power BI estos son diferentes datos, por lo que se hizo la sustitución correcta con los datos con acento (Fig. 4).

Trabajo a futuro

Para enriquecer el estudio, se pretende aplicar algoritmos de aprendizaje automático, de manera que se pueda determinar el patrón de comportamiento que provoca un accidente vial, así como las zonas de mayor ocurrencia de mortalidad por accidentes automovilísticos y tras la divulgación de los resultados informar a la ciudadanía a manera de prevención, así como hacer un llamado a las autoridades para crear programas que reduzcan estos porcentajes. Finalmente, recolectar datos de otras fuentes para hacer el estudio a nivel nacional.

Conclusiones

El objetivo de este proyecto se presentan las características principales de los accidentes de tráfico de vehículos ocurridos en el municipio de Puebla, México; así como, una comparativa entre los años que comprenden el periodo de 2012 al 2021. Elegir la herramienta correcta de inteligencia de negocios y contar con una base de datos histórica permitió que, a partir de un tablero de datos se pueda obtener información relevante, fiable, de fácil comprensión y con un diseño interactivo, ya sea para la toma de decisiones pertinentes con respecto a este tema o bien, para informar a la ciudadanía sobre las estadísticas que conlleven a una formación sobre conducción vial, de manera que en los próximos años estas estadística puedan bajar dado que México ocupa el séptimo lugar en accidentes viales y es la primera causa de muerte en jóvenes.

Referencias

[1] Crabi. (2023). Accidentes Automovilísticos ¿Cómo evitarlos? https://bit.ly/3zXeRCS
[2] INEGI. (2023.). Principales causas de mortalidad por residencia habitual, grupos de edad y sexo del fallecido. https://bit.ly/3A2nITE
[3] Secretaría de Salud Gobierno de Puebla. (2023). Dejó de ser la COVID-19 la primera causa de muerte en Puebla: Salud. https://bit.ly/3A1ppko
[4] Microsoft Power BI. (2023). ¿Por qué Power BI: funciones y ventajas. Retrieved April 13, 2023, from https://bit.ly/3MSGc0q
[5] Tableau. (2023). ¿Por qué elegir Tableau? https://tabsoft.co/41ugVOp
[6] Qlik. (2023). Por qué Qlik: Integración y analítica de datos para un business intelligence moderno. https://bit.ly/408RWza
[7] J. Fell. (2023). Entrepreneur Guide. Top 6 Business Intelligence Tools Of 2023. Obtenio de https://bit.ly/41w8p1e
[8] Capacítate para el empleo: Fundación Carlos Slim. (2020). Cursos. Analista de proyectos BI. Ciudad de México, México: Fundación Carlos Slim.
[9] Qualitas. (2022). Cultura vial. Obtenido de ¿Quiénes chocan más, los hombres o las mujeres?: https://bit.ly/3MKHUBe
[10] El Universal. (2022). Accidentes de tránsito y género. Obtenido de https://bit.ly/3GGzLKf
[11] LR La República. (2022). Los siniestros viales de los hombres son tres veces más letales que los de las mujeres. Obtenido de https://bit.ly/3H8HlO7
[12] International Transport Forum. (2021). Benchmarking de la seguridad vial en América Latina. París, Francia: OECD. Obtenido de https://bit.ly/2TnxM6M
[13] WRI México. (2023). Boletin de prensa. Obtenido de 2022 fue el año con más muertos por siniestros viales en México: https://bit.ly/3GGtqyb
[14] OMS. (2022). Centro de prensa. Obtenido de Traumatismos causados por el tránsito: https://bit.ly/3myQNmz
[15] Nielsen Group. (2020). NN/g Nielsen Norman Group. Obtenido de 10 Usability Heuristics for User Interface Design: https://bit.ly/3GGQVY4

La influencia de las variables sociodemográficas en el desempeño individual de un ayuntamiento de Veracruz.

P. Martínez Rodríguez (LC) [1], M. P. Quintero Fuentes (PhD) [2], E. Flores García (LA, LC) [3], L. Vargas Escobar (LC) [4]

[1,2,3,4] Colegio Interdisciplinario de Especialización -Calle, Rio Suchiate # 5910 entre calle Grijalba y Avenida Circunvalación. Colonia Jardines de San Manuel. C.P. 72570 Puebla, Puebla.
[3]Universidad Veracruzana Facultad de Negocios y Tecnologías, Campus Ixtaczoquitlán, Carretera Estatal Sumidero-Dos ríos, km1, Ixtaczoquitlán, Ver.

[1]pablo.martinez.21@colegiointer.edu.mx, [2] prof.martha.quintero@colegiointer.edu.mx, [3]estela.flores.21@colegiointer.edu.mx, [4]lizbeth.vargas.21@colegiointer.edu.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

El cumplimiento de los objetivos de cada Estado depende de que los empleados administrativos de las instituciones públicas desempeñen con eficacia sus funciones. **Objetivo**: Identificar la influencia de las variables sociodemográficas en el desempeño individual del personal de un ayuntamiento del estado de Veracruz. **Metodología**: Se aplicó el instrumento de desempeño laboral individual a 72 empleados, el cual está conformado de 14 ítems agrupando 3 dimensiones. Al cuestionario se le integraron reactivos demográficos. Las pruebas utilizadas fueron para comparación entre grupos (pruebas de U de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis), para correlación de variables (correlación de Spearman) y para relación (Chi-cuadrada). **Resultados**: las variables sociodemográficas de género, estado civil, edad y antigüedad no tienen influencia en el desempeño individual, sin embargo, el nivel académico si tiene influencia. **Conclusiones** las organizaciones deben crear programas de capacitación para ayudar a los empleados a desplegar todo su potencial.

***Palabras clave**: Desempeño individual, funcionarios públicos, nivel de académico.*

Abstract

The fulfillment of the objectives of each State depends on the efficient performance of their functions by the administrative employees of public institutions. Objective: To identify the influence of sociodemographic variables on the individual performance of the staff of a town hall in the state of Veracruz. Methodology: The individual job performance instrument was applied to 72 employees, which is made up of 14 items grouping 3 dimensions. Demographic items were integrated into the questionnaire. The tests used were for comparison between groups (Mann-Whitney and Kruskal-Wallis U tests), for correlation of variables (Spearman correlation) and for relationship (Chi-square). Results: the sociodemographic variables of gender, marital status, age and seniority have no influence on individual performance; however, the academic level does have an influence. Conclusions Organizations must create training programs to help employees realize their full potential.

***Key words**: Individual performance, public officials, academic level.*

Introducción

Las organizaciones de hoy necesitan individuos competentes con los conocimientos, habilidades, comportamiento, actividades, rasgos de personalidad y valores que les permitan lograr desempeño profesional en su trabajo [1,2].

El desempeño de un trabajador es una descripción objetiva y confiable de cómo lleva a cabo sus funciones mientras atiende los requerimientos del puesto orientadas a resultados [3], que genera valor a la organización [2]. El desempeño laboral es el nivel en el que un empleado satisface los requisitos del trabajo y la eficacia con la que trabaja dentro de las organizaciones, es necesaria para que la organización funcione, dando al individuo trabajo y satisfacción laboral [4].

El desempeño laboral es aquel que está bajo el control de los empleados que contribuyen al desarrollo organizacional. Por su parte, el desempeño laboral individual es de suma importancia para la organización y sus colaboradores, ya que impulsa la economía individual y general [5].

A nivel internacional, existen estudios que ponen de manifiesto un problema en cuanto a la calidad del desempeño de los empleados porque es claro que cuestiones como la falta de comunicación interna fluida, la desmotivación y los conflictos internos entre los empleados contribuyen al ambiente de trabajo desfavorable, así como falta de habilidades que permitan la explotación efectiva de los diversos recursos [6].

Ahora bien, el desempeño laboral es un tema muy delicado para las organizaciones, en particular las de carácter público donde deben cumplir fines institucionales y metas establecidas por el Estado; sin embargo, muchas autoridades no le prestan mayor atención debido a su estatus político, ya que los funcionarios realizan la función por conveniencia personal sin ceñirse a las competencias determinadas en los perfiles de puestos de trabajo.

El desarrollo social y económico de cada país se ve facilitado por entidades gubernamentales que operan de manera efectiva. El cumplimiento de los objetivos de cada Estado depende de que los empleados administrativos de estas instituciones públicas desempeñen con eficacia sus funciones [7]. En las Instituciones del gobierno, el fortalecimiento de las capacidades en áreas que mejoran la habilidad de los trabajadores y el trabajo en equipo son cruciales para tener un impacto directo en la mejora del desempeño laboral, lo que apoyará el desarrollo institucional gubernamental [8].

El real cumplimiento de los procesos dentro del área de trabajo en las instituciones gubernamentales muestra un desempeño laboral adecuado de los servidores públicos, favoreciendo la satisfacción del cliente, evitando la demora de los trámites y los reclamos permanentes [9].

La evaluación del desempeño es un procedimiento regular y recurrente que mide, cuantitativa y cualitativamente, el desempeño de los empleados públicos en las funciones y obligaciones que se les asignan [9]. Actualmente, el éxito de un personal altamente calificado, motivado y eficiente debe ser tomado en cuenta al momento de evaluar el desempeño laboral de los servidores públicos; lo cual permite potenciar los resultados de los objetivos y metas planteados por la institución [10].

EL objetivo del artículo es identificar la influencia de las variables sociodemográficas en el desempeño individual del personal de un ayuntamiento del estado de Veracruz.

Metodología

La investigación es observacional con alcance comparativo.

Participantes

Usando una técnica de muestreo no probabilística para conveniencia. La población de estudio fueron 134 empleados municipales de un Ayuntamiento del Estado de Veracruz, los participantes

fueron un total 72 empleados; entre los colaboradores que participaron el 61% se identificaron como hombres, el 39% como mujeres y la edad promedio fue de 36.5 años, mientras que el estado civil de los participantes se desarrolló de la siguiente forma: 37.5 % solteros, 55.6 casados y 6.9 % divorciados, en cuanto al nivel académico de identifico que 50% de los colaboradores cuenta con una licenciatura, el 26.4 % estudios de preparatoria, 12.5 % secundaria, 5.6% primaria y un 5.6% tiene estudios de maestría; mientras que la antigüedad en la institución es en promedio de 22.7 meses con un rango mínimo de 3 y máximo de 28 meses.

Instrumento

Para conocer el desempeño laboral en el ayuntamiento, se aplicó el instrumento de desempeño laboral individual previamente validado [5] el cual está conformado de 14 ítems agrupado 3 dimensiones: desempeño de la tarea, contextual y desempeño laboral contraproducente. El valor de cada respuesta se categoriza de la siguiente forma: Nunca = 1, Casi Nunca = 2, A veces= 3, Casi siempre = 4 y Siempre = 5. Al cuestionario se le integraron reactivos demográficos como edad, genero, estado civil, grado académico y tiempo laborado. Los puntajes obtenidos se calcularon a partir de la sumatoria de respuestas cuyos resultados oscilaron entre los 14 y 60 puntos.

Procedimiento

La aplicación del instrumento se realizó a los participantes, quienes aceptaron responder, de igual forma se les informo acerca del fin de este, el cuestionario fue enviado de forma individual a un total de 72 empleados municipales, a través de la plataforma google forms. Cabe mencionar que a cada uno de los colaboradores se les informó de la aplicación del formulario y con qué finalidad se desarrolla.

El análisis de datos se realizó en el software SPSS v.25 [11] para desarrollar un análisis descriptivo, comparación entre grupos (pruebas de U de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis), la correlación de variables (correlación de Spearman) y para la relación de variables (Chi-cuadrada).

Resultados y discusión

Análisis descriptivo

Se tiene una muestra de 72 trabajadores de un Municipio del estado de Veracruz, con un desempeño laboral individual en promedio de 54.4, una desviación estándar de 9.33, con un valor mínimo de 31 y un valor máximo de 70 en puntaje.

Tabla 1 Descriptivos del Puntaje de Desempeño Laboral Individual

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
DESEMPEÑOLABORAL	72	31	70	54,40	9,331
N válido (por lista)	72				

El género femenino muestra un desempeño laboral individual de 55.89 con una desviación estándar de 8.08, un valor mínimo de 34 y máximo de 68 y el género masculino muestra un desempeño de 53.45 puntos, con una desviación estándar 10.00 y valor mínimo de 31 y máximo de 70 (Tabla 2).

 ISSN: 2007 8102

Tabla 2 Descriptivos de Desempeño Individual por Género

GÉNERO		N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Masculino	DESEMPEÑOLABORAL	44	31	70	53,45	10,017
	N válido (por lista)	44				
Femenino	DESEMPEÑOLABORAL	28	34	68	55,89	8,084
	N válido (por lista)	28				

Los colaboradores solteros presentan un desempeño individual de 55.04, los colaboradores casados presentan un desempeño laboral individual de 54.97 y los colaboradores divorciados de 46.4 puntos. Los colaboradores solteros presentan una desviación estándar de 8.64, con un valor mínimo de 37 y máximo de 68. Los empleados casados tienen una desviación estándar de 9.58 y un valor mínimo de 31 y máximo de 70. Los empleados divorciados tienen una desviación de 8.91, con un valor mínimo de 34 y máximo de 58 (Tabla 3)

Tabla 3 Descriptivos de Desempeño Individual por Estado Civil

Estado Civil		N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Soltero	DESEMPEÑOLABORAL	27	37	68	55,04	8,645
	N válido (por lista)	27				
Casado	DESEMPEÑOLABORAL	40	31	70	54,97	9,577
	N válido (por lista)	40				
Divorciado	DESEMPEÑOLABORAL	5	34	58	46,40	8,905
	N válido (por lista)	5				

Los colaboradores con maestría muestran un desempeño laboral individual de 59.25 puntos, licenciatura y bachillerato de 57.3 puntos, secundaria de 40.67 puntos y primaria de 40.5 puntos. Los colaboradores con maestría presentan una desviación estándar de 8.77 con un valor mínimo de 48 y máximo de 68. Los colaboradores con licenciatura tienen una desviación estándar de 5.96 con un valor mínimo de 43 y máximo de 70. Los colaboradores de bachillerato tienen una desviación estándar de 8.71 con un mínimo de 40 y máximo de 69. Los colaboradores con primaria tienen una desviación estándar de 3.11 con un valor mínimo de 37 y máximo de 44. Los colaboradores con secundaria presentan una desviación estándar de 5.96 con valor mínimo de 31 y máximo de 46 (Tabla 4).

Tabla 4 Descriptivos de Desempeño Individual por Nivel Académico

Nivel de Estudios		N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Primaria	DESEMPEÑOLABORAL	4	37	44	40,50	3,109
	N válido (por lista)	4				
Secundaria	DESEMPEÑOLABORAL	9	31	46	40,67	5,958
	N válido (por lista)	9				
Bachillerato	DESEMPEÑOLABORAL	19	40	69	57,32	8,705

 ISSN: 2007 8102

	N válido (por lista)	19				
Licenciatura	DESEMPEÑOLABORAL	36	43	70	57,31	5,961
	N válido (por lista)	36				
Maestría	DESEMPEÑOLABORAL	4	48	68	59,25	8,770
	N válido (por lista)	4				

Análisis inferencial

La Tabla 5 muestra la prueba U de Mann Whitney para muestras independientes aplicada al género en el desempeño laboral individual. El resultado de la prueba muestra que no existe diferencia entre hombres y mujeres en el desempeño laboral individual ($p > 0.05$), por lo tanto, no existe influencia del género en el desempeño individual. Esto concuerda con Todaro [12], donde afirma que las mujeres como trabajadoras son evaluadas en un nivel similar a los hombres trabajadores.

Tabla 5 Prueba Mann-Whitney U de muestras independientes por Género

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de DESEMPEÑOLABORAL es la misma entre las categorías de Género.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	,373	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

Se elaboró la prueba de Chi-cuadrada para identificar la relación entre el Género y el Desempeño Individual Laboral. Identificando que no existe relación entre dichas variables (P>0.05)

Tabla 6 Prueba de Chi-cuadrado de Desempeño Laboral Individual y Género

	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	3,135[a]	3	,371
Razón de verosimilitud	3,288	3	,349
Asociación lineal por lineal	1,241	1	,265
N de casos válidos	72		

a. 2 casillas (25,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 1,17.

La Tabla 7 muestra la prueba Kruskal-Wallis para niveles académico en el desempeño individual. El resultado de la prueba muestra que al menos dos niveles académicos son diferentes ($p<0.05$); por lo tanto, el nivel académico tiene influencia en el desempeño laboral. Lo cual concuerda con Tuesta [7] quien muestra una significativa relación entre el desempeño laboral y el nivel académico en colaboradores de entidades públicas peruanas; así mismo, concuerda con Tarqui [13] donde el 96.2% del personal de enfermería de un hospital de seguridad social con desempeño suficiente tuvieron una especialidad.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 7 Prueba Kruskal-Wallis por Niveles Académicos

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de DESEMPEÑOLABORAL es la misma entre las categorías de NIVELESTUDIOS.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

La Tabla 8 muestra las diferencias significativas y no significativas que existen del Desempeño Laboral Individual y los niveles académicos. Existe diferencia significativa de desempeño individual entre el nivel Maestría y Secundaria. Existe diferencia significativa de desempeño individual entre el nivel Licenciatura y Primaria. Existe diferencia significativa de desempeño individual entre el nivel Licenciatura y el nivel Secundaria. Existe diferencia significativa de desempeño individual entre el nivel Bachillerato y el nivel Primaria. Existe diferencia significativa de desempeño individual entre el nivel Bachillerato y el Nivel Secundaria.

Tabla 8 Comparaciones por Pares para Niveles Académicos

		W	*P*
Maestría	*Licenciatura*	*-0.798*	*0.980*
Maestría	*Bachillerato*	*-0.690*	*0.989*
Maestría	*Primaria*	*-3.266*	*0.142*
Maestría	***Secundaria***	***-3.944***	***0.042***
Licenciatura	*Bachillerato*	*0.752*	*0.984*
Licenciatura	***Primaria***	***-4.533***	***0.012***
Licenciatura	***Secundaria***	***-6.327***	***< .001***
Bachillerato	***Primaria***	***-4.025***	***0.036***
Bachillerato	***Secundaria***	***-5.021***	***0.004***
Primaria	*Secundaria*	*0.768*	*0.983*

Se realizó la prueba de Chi-cuadrada para identificar la relación entre el nivel académico y el Desempeño Individual Laboral. Identificando que existe relación entre dichas variables (P<0.05).

Tabla 9 Prueba de Chi-cuadrada de las variables de Desempeño Individual Laboral y el Nivel Académico

	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	59,390[a]	12	,000
Razón de verosimilitud	54,256	12	,000
Asociación lineal por lineal	18,781	1	,000
N de casos válidos	72		

a. 16 casillas (80,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,17.

 ISSN: 2007 8102

La tabla 10 muestra la prueba Kruskal Wallis para el estado civil en el desempeño laboral individual. El desempeño individual es igual en todos los estados civiles (p>0.05), por lo tanto, el estado civil no tiene influencia en el desempeño individual. Este resultado coincide con Bejarano [14] *donde no se encontraron diferencias significativas del desempeño laboral entre el estado civil de colaboradores.*

Tabla 10 Prueba de Kruskal-Wallis por Estado Civil

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de DESEMPEÑOLABORAL es la misma entre las categorías de EDOCIVIL.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,151	Retener la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de , 05.

La edad no está correlacionada con el desempeño individual. Este resultado coincide con Bejarano [14] *donde no se encontraron diferencias significativas del desempeño laboral entre la edad de los colaboradores (Tabla 9).*

La antigüedad no está correlacionada con el desempeño individual, lo cual contrasta con Tuesta [7] donde indica que existe una relación significativa entre la antigüedad y el desempeño laboral en colaboradores de entidades públicas peruanas (Tabla 11).

Tabla 11 Matriz de correlación entre Edad, Antigüedad y Desempeño Individual

			EDAD	ANTIGUEDAD	DESEMPEÑO LABORAL
Rho de Spearman	EDAD	Coeficiente de correlación	1,000	,158	-,049
		Sig. (bilateral)	.	,184	,681
		N	72	72	72
	ANTIGUEDAD	Coeficiente de correlación	,158	1,000	-,007
		Sig. (bilateral)	,184	.	,955
		N	72	72	72
	DESEMPEÑOLABORAL	Coeficiente de correlación	-,049	-,007	1,000
		Sig. (bilateral)	,681	,955	.
		N	72	72	72

Trabajo futuro

Se propone medir el desempeño individual en varios ayuntamientos de México con sus variables sociodemográfica que permitan mostrar la influencia de dichas variables en el desempeño individual de dependencias gubernamentales.

Conclusiones

El presente artículo tuvo como objetivo identificar la influencia de las variables sociodemográficas en el desempeño individual del personal de un ayuntamiento del estado de Veracruz. Como resultado se obtuvo que las variables sociodemográficas de género, estado civil, edad y antigüedad no tienen influencia en el desempeño individual, sin embargo, el nivel académico si tuvo influencia.

Con base a que el nivel académico influye en el desempeño laboral, las organizaciones deben crear programas de capacitación para ayudar a los empleados a desplegar todo su potencial [15]. En el sector público, una fuerza laboral bien capacitada y motivada produce un trabajo de alta calidad [16]. Por su parte, el desempeño laboral individual es de suma importancia para la organización y sus colaboradores, ya que impulsa la economía individual y general.

Referencias

[1] R. Ahmad y H. Imam, "Roles of competencies, career shock, and satisfaction in career commitment: Evidence from project-based organizations", *Project Leadership Soc.*, pp. 100052, junio de 2022. Accedido el 20 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1016/j.plas.2022.100052

[2] López-Cabarcos, M. A., Vázquez-Rodríguez, P., & Quiñoá-Piñeiro, L. M. (2022). An approach to employees' job performance through work environmental variables and leadership behaviours. Journal of Business Research, 140, 361–369. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.11.006

[3] A. C. Rodríguez, M. Chang y A. Padilla, "0988 Vagal Nerve Stimulation and OSA", SLEEP, vol. 46, Supplement_1, p. A435—A, mayo de 2023. Accedido el 22 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1093/sleep/zsad077.0988

[4] M. M. Chiang Vega y N. J. San Martín Neira, "Análisis de la satisfacción y el desempeño laboral en los funcionarios de la Municipalidad de Talcahuano", Ciencia & trabajo, vol. 17, n.º 54, p. 159–165, diciembre de 2015. Accedido el 22 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.4067/s0718-24492015000300001

[5] L. A. Geraldo Campos, "Validación de la escala desempeño laboral individual en colaboradores peruanos", Revista de Investigación en Psicología, vol. 25, n.º 1, p. 63–81, junio de 2022. Accedido el 22 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.15381/rinvp.v25i1.21920.

[6] T. Paico y Tiofila. "Trabajo en equipo y desempeño laboral de los trabajadores de la municipalidad distrital de Pachangara, Oyón, 2022." (2023). Accedido el 19 de julio de 2023 http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/7441/TRABAJO%20EN%20EQUIPO%20Y%20DESEMPE%c3%91O%20LABORAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[7] J. A. Tuesta Panduro, M. A. Cárdenas, R. Chávez Santos y M. A. Morante Dávila, "Desempeño laboral en entidades públicas peruanas: Impacto salarial, antigüedad y nivel académico", Revista Venezolana de Gerencia, vol. 26, n.º 95, p. 629–641, julio de 2021. Accedido el 19 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.52080/rvgluz.27.95.12

[8 Quezada-Rodríguez, M. R., Quevedo-Barros, M. R., & Torres-Palacios, M. M. (2020). Trabajo en Equipo, Comunicación y Desempeño laboral en las Organizaciones del sector público. Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía, 5(3), 748. https://doi.org/10.35381/r.k.v5i3.920

[9] N. López, S. J., & DT-P. Barreno, Z. (2012). “El desempeño laboral en el balcón de servicios del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato y su incidencia en la satisfacción al cliente”. http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6019

[10] S. Chilán Robles, J. S. Chilán Indacochea, M. Marcillo Indacochea y A. Álvarez Indacochea, "Modelo de Gestión Administrativa para Optimizar el Desempeño de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Parroquiales", 3C Empresa Investigación y pensamiento crítico, vol. 05, n.º 02, p. 99–113, mayo de 2016. Accedido el 22 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.17993/3cemp.2016.050226.99-113

[11] IBM. SPSS. Statistical Package for the Social Sciences. v. 25. https://www.ibm.com/mx-es/products/spss-statistics

[12] R. Todaro, L. Godoy y L. Abramo, "Desempeño laboral de hombres y mujeres: opinan los empresarios", Cadernos Pagu, n. º 17-18, p. 197–236, 2002. Accedido el 18 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1590/s0104-83332002000100008

[13] C. Tarqui Mamani y D. Quintana Atencio, "Desempeño laboral del profesional de enfermería en un hospital de la Seguridad Social del Callao – Perú", Archivos de Medicina (Manizales), vol. 20, n.º 1, p. 123–132, diciembre de 2019. Accedido el 19 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.30554/archmed.20.1.3372.2020

[14] M. Bejarano Paredes, "Relaciones interpersonales afectivas y desempeño laboral según variables sociodemográficas de los trabajadores de radio y televisión de Lima Metropolitana", Revista de Investigación en Psicología, vol. 22, n.º 2, p. 313–328, enero de 2020. Accedido el 19 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.15381/rinvp.v22i2.17431

[15] Tabiu, A., Pangil, F., & Othman, S. Z. (2020). Does Training, Job Autonomy and Career Planning Predict Employees’ Adaptive Performance? Global Business Review, 21(3), 713–724. https://doi.org/https:/

[16] Nguyen, P. V., & Tran, T. T. . (2020). Role of motivation to learn in training transfer and job performance under peer and supervisor support in the Vietnamese public sector. International Journal of Advanced and Applied Sciences, 7(7), 7–18. https://doi.org/https://doi.org/10.21833/ijaas.2020.07.002

 ISSN: 2007 8102

Estudio de mercado para una cafetería de especialidad en la ciudad de Teziutlán, Puebla.

M. Martínez Demetrio[1], V. Millán Tinoco[2], A. Pérez López[3]*
[1]División de Licenciatura en Turismo, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II SN, C.P. 73960. magdaleno.md@teziutlan.tecnm.mx
[2]División de Ingeniería en Gestión Empresarial, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II SN, C.P. 73960 victor.mt@teziutlan.tecnm.mx
[3]División de Ingeniería en Informática, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II SN, C.P. 73960 adriana.pl@teziutlan.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Una de las estrategias para incrementar el consumo de café en México, es a través de cafeterías de especialidad, las cuales ofrecen aromáticos de comercio justo y de alta calidad. Teziutlán, actualmente carece de cafeterías especiales, por lo que, el objetivo de esta investigación es analizar los resultados del estudio de mercado para la implementación de una cafetería de especialidad en esta ciudad. Esta investigación es no experimental, transversal y cuantitativa, se realizó con una muestra de más de 380 habitantes y, a través de una encuesta, utilizada como instrumento, se evaluaron los gustos, preferencias y deseos actuales de los consumidores, como resultado, se obtuvo que más del 95% de los entrevistados gustan por el café, el 78% busca la relación precio-calidad y más del 80% prefieren cafeterías locales a franquicias, con lo anterior, se acepta ejecución de una cafetería de especialidad y comercio justo.

Palabras clave: *cafés especiales, mercado, consumo local*

Abstract

One of the strategies to increase coffee consumption in Mexico is through specialty coffee shops, which offer high quality and fair-trade aromatics. Teziutlán currently lacks specialty coffee shops; therefore, the objective of this research is to analyze the results of the market study for the implementation of a specialty coffee shop in this city. This research is non-experimental, cross-sectional and quantitative, it was conducted with a sample of more than 380 inhabitants and, through a survey, used as an instrument, the tastes, preferences and current desires of consumers were evaluated, as a result, it was obtained that more than 95% of those interviewed like coffee, 78% look for the price-quality relationship and more than 80% prefer local coffee shops to franchises, with the above, the implementation of a specialty coffee shop and fair trade is accepted.

Key words: *specialty coffees, market, local consumption*

Introducción

El café, desde siempre ha sido una de las principales actividades económicas de México debido a que toda la cadena productiva genera empleos tanto directos como indirectos. Con base al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), México en el año 2022 tuvo una producción de café de 987,101.92 toneladas distribuidas en 14 entidades en las que destaca Chiapas, Oaxaca y Veracruz con el primero, segundo y tercer lugar respectivamente [1]. El café mexicano es cosechado en más de 120 mil hectáreas en todo el país, con rendimiento de 1.52 udm/ha e impacta a 480 municipios [2].

Con lo anterior, México se posiciona en el lugar 10 dentro de los países con mayor producción a nivel mundial y pese a que es uno de los grandes proveedores de este grano no existe esa misma característica en el consumo. Un mexicano en promedio consume 0.2 tazas de café al día, equivalente a 1.6 kilogramos anuales a diferencia de Finlandia en el que se demandan 12 kg por persona al año y que lo ubican en el primer lugar [3]. México, a nivel internacional, se posiciona como el país número 54 en consumo y en América Latina es el número 8 después de países como Brasil, Colombia y Chile [4].

ISSN: 2007 8102

Dentro de las principales estrategias para incrementar el consumo del aromático es la promoción a través de cafeterías de especialidad, las cuales tiene como fin último ofrecer las diferentes variedades del café de la región donde se establezcan, pero sobre todo su objetivo es difundir una educación de consumo respecto al café, al ofrecer a los clientes variedades de alta calidad y que garantizan el comercio justo. Hoy en día, el café instantáneo es el más comprado por los mexicanos, de un 100% de consumo del aromático, el 85% le corresponde a éste y sólo el 15% es comprado en grano o molido, lo que impacta en los beneficios de los productores e incrementa la rentabilidad a las empresas transnacionales, por lo que se hace necesario el impulso de cafeterías locales y con enfoque de especialidad.

El municipio de Teziutlán, Puebla, actualmente posee 15 localidades, de las cuales, la ciudad de Teziutlán concentra el 61% de la población al tener 62, 849 habitantes de un total de 103, 583 del municipio [5]. Por esta razón, el sistema económico se desarrolla en la ciudad provocando con ello mayor movilidad social hacia la ciudad y, por lo tanto, mayor demanda de bienes y servicios, entre los que destacan servicios de alimentos y bebidas. Con base al Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del INEGI, Teziutlán posee 785 unidades económicas en la clasificación de *Servicios de preparación de alimentos y bebidas,* de éstas 746 se encuentran en la ciudad y solo 77 unidades son clasificadas como cafeterías [6].

El objetivo de esta investigación es analizar los resultados del estudio de mercado en el que se describen los gustos, preferencias, deseos y sobre todo el nivel de consumo de café en la ciudad de Teziutlán, la finalidad es que en función de los resultados del estudio se justifique la implementación de una cafetería de especialidad en la ciudad, que permita promover el consumo de café de alta calidad y de comercio justo, favoreciendo a los productores de la región y promoviendo la competitividad en el mercado.

Cabe resaltar que, en este trabajo la aplicación de la encuesta es el instrumento principal, pero tambien es el elemento central, es decir, no solo fue el medio, sino también el objeto que permitió determinar los resultado sobre el comportamiento de los consumidores y con ello, determinar la viabilidad del mercado. Se debe remarcar que, si bien, el estudio de mercado evalúa la factibilidad de los consumidores, no sifgnifica que sea este elmento el único para llevar a cabo el proyecto, ya que sólo es una parte complementaria del plan de negocios.

Metodología

En general, los estudios de mercado se pueden clasificar en; descriptivo, exploratorio y experimental, sin embargo, esta investigación tiene caracteristicas de las dos primeras al no calcular los niveles de correlación entre las variables como se lleva a cabo dentro de la investigación experimental, por lo que, este investigación tiene un diseño no experimental por las siguientes razones: se genera una obervación en su entorno natural. pero no se lleva una construcción de un contexto, el estudio de mercado presentado no tiene una manipulación de variables, no se lleva a cabo un control de estas y sólo se obtienen datos sin evaluar causas y efectos.

Para la realización de esta investigación, se consideró la metodología que contiene 6 pasos que se muestran a continuacion [7];

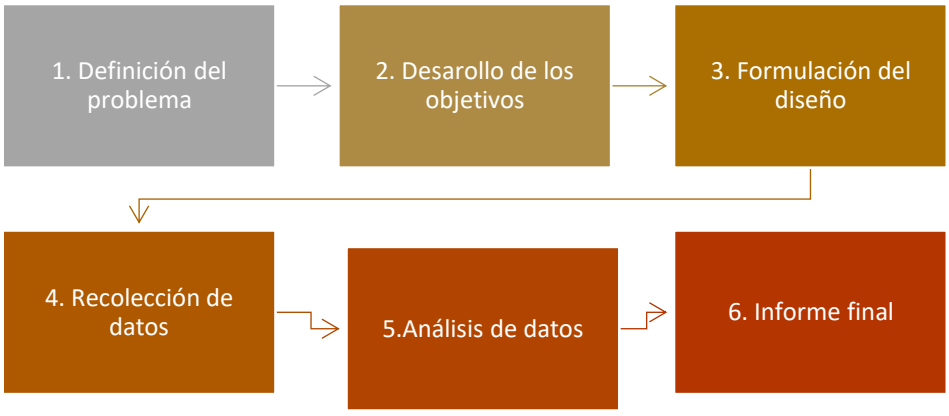


Figura 1. Fases del estudio de mercado.

 ISSN: 2007 8102

En la figura 1. Se muestran las fases del estudio de mercado utilizado en este trabajo, el cual como se mencionó anteriomente contiene 6 pasos; la definición del problema o necesidad que existe en el mercado (1), la elaboración de objetivos (2), la formulación de los instrumentos para recolectar las encuestas (3), posteriormente se propone la recolección de datos (4) que puede ser presencial, virtual, etc., y por último el análisis de datos (5) e informe final o conlusión del proyecto (6).

Definición del problema y Objetivos

Para el primer punto, en este trabajo se ha definido la necesidad de establecer una cafeteria de especialidad en la ciudad de Teziutlán, que promueva un consumo de café de calidad, así como la promoción del comercio justo. Para el desarrollo de los objetivos, el más relevante es conocer el consumo actual del café en los habitantes de Teziutlán con la finalidad de identificar sus principales gustos y necesidades dentro de las cafeterias.

Formulación del diseño

En la fase de formulación del diseño, se elaboró una encuesta de 26 preguntas las cuales contienen variables cualitativas y cuantitativas, distribuidas en indicadores que permitirán identificar las preferencias actuales de los consumidores y sus necesidades. Las variables e indicadores se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Variables e indicadores utilizados [8].

Variable	Indicadores en encuesta
Demográfica	⇒ Edad
	⇒ Sexo
Socioeconómicas	⇒ Ocupación
	⇒ Ingresos
	⇒ Gasto promedio en cafetería
	⇒ Preferencia de pago
Psicográfica	⇒ Gusto por el café
	⇒ Tipo de café que consume
	⇒ Características de cafeterías a la que asiste.
	⇒ Preferencia de cafeterias (locales o de cadena)
	⇒ Elementos más importantes de la cafetería de su peferencia.
	⇒ Importancia de la limipieza en cafeterías
	⇒ Importancia de la precios en cafeterías
	⇒ Importancia de la calidad en cafeterías
	⇒ Importancia del diseño de instalaciones en cafeterías.
Conductuales	⇒ Frecuencia de consumo de tazas de café.
	⇒ Frecuencia de asistencia a cafeterías
	⇒ Consumo de café en grano
	⇒ Consumo de café molido
	⇒ Consumo de souvenirs en cafeterería

En la tabla 1, se describen los indicadores y las variables consideradas en este estudio. Es necesario establecer que, uno de los requisitos de los estudios de mercado es tener indicadores que permitan tomar decisiones en el corto y mediano plazo, cabe resaltar que todos los indicadores estan agrupados en variables demográficas, socioeconómicas, psicográficas y conductuales las cuales permitirán conocer de manera oportuna las preferencias de los consumidores.

Recolección de datos

 ISSN: 2007 8102

La recolección de datos, se llevó a cabo de manera digital en un cuestionario diseñado en el apartado de *formularios* de google, la fórmula para determinar la muestra se presenta a continuación.

$$n = \frac{NZ^2pq}{E^2(N-1)+Z^2pq} \quad [9].$$

Donde:
N = Población total.
Z = Distribución normalizada.
p = Proporción de aceptación deseada para el producto.
q = Proporción de rechazo.
E = Porcentaje deseado de error.
En cuanto a la realización del estudio de mercado, se utilizó una confiabilidad del 95% y precisión del 5%;
N = 48,207 Población de la ciudad de Teziutlán, la cual ya no incluye a personas menores de 15 años. [5].
Z = Distribución normalizada. Si Z = 1.96 el porcentaje de confiabilidad es de 95%
p = 0.5
q = 0.5
E = 5%
Sustituyendo los valores se tiene:

$$n = \frac{48207 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (48207 - 1) + (1.96^2 * 0.5 * 0.5)}$$

$$\text{n} = 381.13 = \textit{382 encuestas}$$

Pese a que se sugiere un muestra de 382, gracias a la difusión del cuestionario, se recabaron 495 encuestas, por lo que se presentarán los resultados de estos cuestionarios, por último, en el caso de la fase 5 y 6 de este estudio tituladas análisis de datos e informe final, se presentan en el siguiente apartado.

Resultados y discusión

Demograficas

Los resultados de la encuesta aplicada con respecto a las variables demográficas como se mencionó anteriormente fueron dos; edad y sexo.

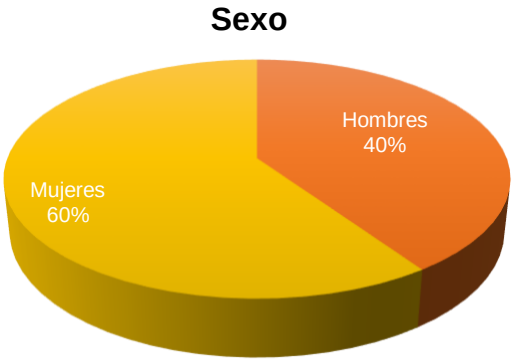


Figura 2. Clasificación por sexo de los encuestados

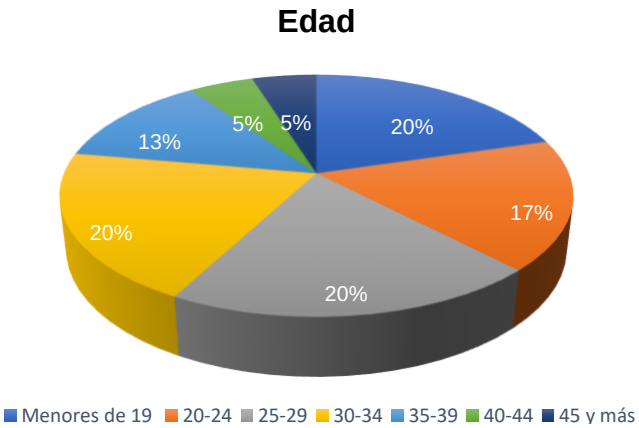


Figura 3. Clasificación por edad de los encuestados

Como se observa en la figura 2, el 60% de las personas que respondieron la encuesta fueron mujeres y el resto fueron hombres (40%). En el caso de la edad (Figura 3), el 20% fueron personas menores de 19 años, 17% de 20-24 años y en el caso de las personas en edad de 25-29 y de 30-34 años también participaron en 20%

 ISSN: 2007 8102

respectivamente, por último, el 13% le pertenece a personas de 35-39 años y para personas que son mayores de 40 años tuvieron una particiación de 10%.

Socioecocómicas

Los indicadores seleccionados para las variables socieconómicas fueron; ocupación, ingresos, medios de pago y gastos promedios en una cafetería.

Tabla 2. Variables e indicadores socieconómicos [10].

Variables	Indicadores	Resultado en porcentaje
Ocupación	Ama de casa	4%
	Empleado con profesión	20%
	Empleado sin profesión	17%
	Estudiante	44%
	Empresario	2%
	Jubilado	1%
	Profesionista/Prestador de servicios	12%
Ingresos	Menos de $5000	56%
	de $5,001 a $10,000	26%
	de $10,001 a $15,000	11%
	más de $15000	7%
Gastos promedios en una cafetería	Menos de $100	19%
	de $101 a $150 pesos	37%
	de $151 a $200 pesos	21%
	de $201 a $250 pesos	9%
	Más de $250 pesos	5%
	No voy a cafeterías	9%
Medios de pago	En efectivo	77%
	Con tarjeta de débito	16%
	Con tarjeta de crédito	3%
	Con puntos	-
	No compro café	4%

De los indicadores socioeconómicos (Tabla 2), el 44% de los encuestados fueron estudiantes, seguido de empleados con profesión con 20% y 17% empleados sin profesión, debido a que la mayor participación fueron estudiantes, se ve reflejado en los ingresos, al comentar que el 56% de los encuestados tienen ingresos menores de $5,000 seguido de un 26% con ingresos de $5,001 a $10,000.
En el caso de los gastos promedios en una cafetería, los encuestados registraron que su desembolso en promedio es de $101 a $150 por cada una de sus visitas con un 27%, en segundo lugar, de $151 a $200 con un 21% y muy cerca con 19% los consumidores gastan menos de $100. Por último, los consumidores, prefieren realizar su pago en efectivo (77%), en segundo lugar con tarjeta de débito (16%) y solo un 3% lo hace con tarjeta de crédito.

Psicográficas

Tabla 3. Variables e indicadores Psicográficos [11].

Variables	Indicadores	Resultado en porcentaje
Gusto por el café	Sí mucho, lo tomo casi diario	44%
	Sí, una que otra vez en la semana lo tomo	27%
	Sí me gusta, aunque casi no tomo	25%
	No, no tomo café	4%

 ISSN: 2007 8102

Tipo de café que consume	Espresso	15%
	Latte	7%
	Capuchino	28%
	Frapuccino	4%
	Americano	32%
	Mocaccino	4%
	Ninguno	10%
Características de cafeterías a la que asiste.	Variedad de sabores	52%
	Limpieza	59%
	Precio	46%
	Instalaciones	50%
	Tiene muchas promociones	10%
	Es una marca muy conocida	4%
	Flexibilidad de la carta	16%
	Calidad del café	58%
	Que hay internet	21%
	Que está cerca de mi casa	11%
	Otro	7%
	No asisto a cafetería	14%
Cafetería de preferencia	Italian Coffee	44%
	Starbucks	24%
	Bola de Oro	22%
	Punta del cielo	10%
	Café Gabana (Teziutlán)	25%
	La fabrica (Teziutlán)	30%
	Otro	29%
	No asisto a cafeterías	19%
Cafetería de cadena o cafetería local	Cafeterías de cadena (Franquicias)	5%
	Cafeterías locales	46%
	Ambas	42%
	Ninguna	7%
Elementos más importantes de la cafetería de su peferencia.	Que sea una cadena de cafeterías muy conocida	5.8%
	Que obtenga puntos que después pueda cambiar por productos gratis	7.6%
	Que tenga una buena variedad de café y otras bebidas	67.7%
	Que sea buena en precio-calidad	78.4%
	Que pueda trabajar bien	8.6%
	Que esté cerca de mi casa u oficina	7.9%
	Ninguna	5.2%
Importancia de la limipieza en cafeterías	Muy importante	96%
	Importante	4%
	Me da igual	-
	Poco importante	-
	Nada importante	-
Importancia de la precios en cafeterías	Muy importante	53%
	Importante	40%
	Me da igual	5%
	Poco importante	2%
	Nada importante	-

 ISSN: 2007 8102

Importancia de la calidad en cafeterías.	Muy importante	89%
	Importante	10%
	Me da igual	1%
	Poco importante	-
	Nada importante	-
Importancia del diseño de instalaciones en cafeterías	Muy importante	43%
	Importante	48%
	Me da igual	6%
	Poco importante	2%
	Nada importante	1%

En la tabla 3, se describen los resultados de las variables psicográficas, dentro de estos se puede considerar que, son variables sobre los intereses, valores, gustos de los consumidores, por lo que de los resultados presentados se tiene; el 96% de los consumidores les gusta el café aunque sólo el 44% lo consume casi diario, el café más preferido por los encuestados es el americano con 32%, por arriba del capuchino con 28%.

Dentro de las características que sobresalen de las cafeterías a las que asisten los consumidores la más importante es la limpieza con un 59% sólo después de la calidad del café con un 58%, también los consumidores consideran que las instalaciones con un 50% es una de las características más importantes así como la variedad de sabores con un 52%, cabe resaltar que los consumidores podían seleccionar más una opción para esta pregunta por lo que la sumatatoria estaría por arriba del 100%.

A los encuestados también se les preguntó qué cafetería preferían y se les presentaron algunas opciones tanto franquicias como locales de la ciudad, en los resultados se tienen que Italian coffee con un 44% es la de mayor preferencia en los consumidores de Teziutlán, seguida de La Fábrica una cafetería local con un 30% y en tercer lugar se tiene como resultado la opción de *otro* con un 29%, en el cuarto lugar se tuvo otra cafetería local con un 25% conocida como Café Gabana, al igual que la pregunta anterior, los consumidores podían seleccionar más de una opción, la intención es que no se limitaran y se pudieraa observar que en ocaciones los consuumidores cambian y seleccionan en función de condiciones de distacia, amigos, familia, etc. Los resultados muestran claramente la preferencia de los consumidores hacia las cafeterías locales ya que con un 46% de los entrevistados afirman que prefieren las cafeterías de la ciudad.

Para reforzar los gustos y preferencias de las cafeterías para los consumidores de la ciudad se les preguntó algunos elementos más relevantes que debería tener la cafetería para que ellos pudieran asistir y la respuesta más importante fue la relación entre precio y calidad con un 78.4%. Por último, sobre cuestiones de limpieza, precios, calidad y diseño de las instalaciones se tuvieron lo siguientes resultados; en el caso de la limpieza el 96% de los entrevistados considera que es muy importante dentro de las cafeterías. Los precios al igual que la limpieza es otra variable muy importante así lo hicieron saber un 53% de los resultados y un 89% le da la misma característica a la calidad; para terminar, el diseño de las instalaciones no es tan relevante al considerar el 48% que es una variable importante.

Conductuales

Tabla 4. Variables e indicadores conductuales [12].

Variables	Indicadores	Resultado en porcentaje
Frecuencia de consumo de tazas de café.	No tomo café diario	32%
	1 taza diaria	30%
	2 tazas diarias	23%
	3 tazas diarias	8%
	4 tazas diarias	3%
	Más de 4 tazas	4%
Frecuencia de asistencia a cafeterías	Diario	2%
	Dos veces a la semana	6%
	Tres veces a la semana	6%
	Una vez a la semana	17%
	Cada quince días	17%

 ISSN: 2007 8102

	Cada mes	20%
	Cada dos meses	16%
	No voy a cafeterías	16%
Consumo de café en grano	Sí, más de una vez	8%
	Sí, una vez	32%
	No, nunca	60%
Consumo de café molido	Sí, más de una vez	11%
	Sí, una vez	42%
	No, nunca	47%
Consumo de souvenirs en cafetererría	Sí, más de una vez	7%
	Sí, una vez	25%
	No, nunca	68%

Las variables conductuales se describen en la tabla 4, entre ellas se puede mencionar la frecuencia de consumo de tazas de café, para esta pregunta, en el caso de los consumidores de Teziutlán no toman café diario con un 32%, pero el 30% de los encuestados consume una taza diaria, seguido de un 23% con 2 tazas diarias. En el caso de la asistencia a cafeterías el 20% de los entrevistados asisten cada mes, el 17% cada semana y cada 15 días respectivamente y por último, con un 16% cada 2 meses.

Otra de las preguntas para los encuestados fue sobre su consumo de grano y molido dentro de las cafeterías, es decir, en las cafeterías de especialidad se ofrece café para llevar en presentaciones ya sea molido o en grano y se tuvo lo siguiente; el 60% de los consumidores no compra café en grano, el 32% sí lo ha hecho al menos una vez y el 8% lo ha hecho más de una ocasión. El consumo de café molido tiene la misma tendecia, sin embargo, los porcentajes se incrementan, los clientes han comprado café molido más de una vez con 11%, el 42% lo ha hecho al menos una ocasión y el 47% nunca ha comprado, por último, el consumo de souvenirs se divide de la siguiente manera; 7% de los encuestados ha comprado más de una ocasión, el 25% al menos una vez lo ha realizado y el 68% nunca lo ha hecho.

Otra de las preguntas que se realizaron dentro del estudio fue la disposición de compra hacia un café americano de 350 ml y los consumidores consideraron asignar un precio justo de $40.00, sin embargo, se debe de considerar que este resultado solo es un promedio ya que algunos de los precios propuestos van de $10, $15 hasta $80 y $90.

Beneficios de cafeterias locales

Desde siempre, las cafeterías han sido un negocio muy rentable, en el año 2017 por ejemplo, se hizo una estimación para el 2021 y se proyectaba que el negocio de cafeterías en nuestro país alcanzaría un valor de 93 mil 100 millones de pesos para el año 2021, 23% más al que en algún momento se presentó en el año 2016, sin embargo, por situaciones de pandemina no se alcanzó el objetivo [13].

Hoy en día en nuestro país, las cafeterías representan 10.2% de la generación de empleos y en los últimos años, después de la pandemia, el café tostado y molido ha ganado relevancia, con un repunte del 20.8% y es considerada la tercera categoría de la canasta básica de bebidas no alcohólicas [14], además, Forbes, lo considera como uno de los 12 mejores negocios para emprender en el año 2023 [15].

En Teziutlán actualmente no existe ninguna cafetería con enfoque de especialidad, por lo que se presenta una gran oportunidad para la ciudad y los consumidores. Dentro de los beneficios de las cafeterías de especialidad se tienen:

- Ofrece cafés que han sido evaluados y que por lo tanto se valida la calidad del grano, hasta la taza.
- Promueve el comercio justo para los productores al reconocer el origen, la finca, la altura, etc., del café.
- Se promueve un café del cuál se conoce el tipo de beneficiado, la variedad y hasta la fecha de tueste.
- Cafés adecuadamente tostados que permite potencializar los atributos del café.
- Generación de empleos directos e indirectos.
- Promueve el consumo local o regional de los municipios cercanos.
- Asegura el crecimiento y beneficio para las familias locales.
- Promueve el incremento de la calidad de vida de los productores.

- Favorece la competitividad de los productos del sector agrícola.
- Los consumidores aseguran la calidad del servicio que reciben.
- Se favorece el desarrollo económico de las zonas cafetaleras.

Con el estudio realizado y por las respuestas proporcionadas de los encuestados, el consumo de café en la ciudad de Teziutlán es abundante, por lo que la aceptación por parte del mercado para la cafetería es viable y factible de llevarse a cabo, tomando en cuenta siempre que, el café es una de las principales actividades de grupos indígenas que durante mucho tiempo se han limitado ante la poca competitividad del sector y por tanto el beneficio a largo plazo es no solo para los consumidores de la ciudad en términos de mayor oferta, sino también un beneficio para los productores cercanos que día con día buscan mejores precios para sus productos.

Trabajo a futuro

Gracias al estudio de mercado y las posibilidades que se tiene de implementar una cafetería de especialidad en la ciudad de Teziutlán, Puebla, se recomienda continuar con otros estudios, como lo es el factibilidad financiera ya que con su ayuda permitirá identificar y calcular los indicadores de rentabilidad y con ello detectar las áreas de oportunidad para la cafetería, sobre todo porque el cunsumo de café en grano y molido no tiene gran relevancia para la ciudad.
Por último, y con la ayuda de la inversión pública y/o privada, se propone establecer la cafetería dentro de la ciudad, para favorecer como se ha mencionado al inicio de este trabajo, a los pequeños productores y las familias de la región de Teziutlan, así como a los consumidores de ciudad, por lo que, este puede ser otro trabajo futuro en el cual se analice y se estudie el impacto de esta cafetería en la población.

Conclusiones

Los estudios de mercado hacen una gran aportación a la planificación estratégica, porque con base en los resultados, influye en las decisiones de empresas y proyectos, gracias a estos, se pueden definir objetivos y pautas a seguir y cómo abordarse. El objetivo es siempre el mismo, encontrar formas de optimización de recursos, así como evitar el mayor error posible al ofrecer un producto poco satisfactorio para los clientes. En este trabajo, se concluye la aceptación para la implementación de una cafetería de especialidad, gracias a los principales resultados del mercado entre los que destacan; (1) la mayoría de los consumidores gustan por el café, (2) en su mayoría consumen café americano, la mejor preparación para disfrutar un café de especialidad, (3) los consumidores reconocen la importancia de precio-calidad, lo que significa que el precio en algún momento puede ser irrelevante si la calidad del café lo amerita, (4) los consumidores prefieren las cafeterías locales que a las de franquicias.
Con lo anterior, es esclarece la posibilidad de una cafetería con un enfoque diferente a las actuales, que promueva además de un buen consumo, la posibilidad de reconocer el trabajo de los pequeños productores del aromático del municipio y otras regiones.

Referencias

[1] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (SIAP), 2022. Producción agrícola. Avance de Siembras y Cosechas. Ciclo: Ciclicos – Perennes. Modalidad: Riego + Temporal. Situación al 31 de diciembre de 2022.Disponible en https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
[2] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), (2022). Cultivo de café en México. Disponible en https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-de-cafe-en-mexico
[3] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), (2022). Café, la bebida que despierta a México. Disponible en https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cafe-la-bebida-que-despierta-a-mexico?idiom=es
[4] CAFEMALIST, s.f.Consumo del Café: Ranking de los Mayores Consumidores. Fecha de consulta: 20/07/2023. Disponible en https://cafemalist.com/consumo-del-cafe/
[5] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo de Población y Vivienda 2020. Principales resultados por localidad (ITER) 2020. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9
[6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) 2020. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx
[7] Rosendo, V. (2018). Investigación de mercados. Aplicación al marketing estratégico empresarial.1ª Edición. ESIC EDITORIAL.
[8] Fuente propia

[9] Baca Urbina, G. (2022). Evaluación de Proyectos. 9ª Edición. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
[10] Fuente propia
[11] Fuente propia
[12] Fuente propia
[13] Sanchez, A. (2016/24/05). Negocio de cafeterías crecerá 23% hacia 2021. El financiero. Disponible en: https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/negocio-de-cafeterias-crecera-23-hacia-2021/
[14] López, E.(2023/09/02). ¿Frío? Aprovéchalo para emprender con café. El Economista. Disponible en: https://www.eleconomista.com.mx/el-empresario/Frio-Aprovechalo-para-emprender-con-cafe-20230105-0075.html
[15] Forbes (2023/15/02). Los 12 mejores negocios para emprender en 2023. Disponible en https://forbes.co/2023/02/15/actualidad/los-12-mejores-negocios-para-emprender-en-2023

 ISSN: 2007 8102

Modelo alternativo de optimización de factores productivos

Orlando Gallegos Ibarra[1]
Divvio Gallegos Paniagua[2]
[1]*Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Morelia. orlando.gi@morelia.tecnm.mx*
[2]*Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Morelia. divvio.gpi@morelia.tecnm.mx*

Area: Ingeniería Administrativa

Resumen

El presente artículo presenta un procedimiento alternativo al de Equilibrio del Productor, correspondiente a la Teoría de la Producción de Microeconomía, que ofrece mayor versatilidad de aplicación. El método de investigación es análogo cuantitativo, siendo el producto tres ecuaciones de solución sobre el Equilibrio del Productor. Esta propuesta se estructura mediante un planteamiento del problema en el cual se consideran aspectos didácticos de la enseñanza de la asignatura de Economía Empresarial, para a continuación incorporar los antecedentes del Equilibrio del Productor. Un tercer apartado presenta un ejemplo solucionado mediante el procedimiento tradicional, para continuar con el procedimiento Cobb Douglas solucionando el mismo problema como cuarto subtema. El quinto subtema presenta un ejercicio demostrativo del mismo problema con el procedimiento alternativo, para terminar con un sexto y último tópico para justifica su carácter de modelo, dada su versatilidad y potencialidad, ejemplificando el Modelo Alternativo de Resultado Integral Ampliado (MARIA).

Palabras clave: Equilibrio del productor, Modelo alternativo, Optimización de recursos, Selección de factores productivos.

Abstract

This article presents an alternative procedure to the Producer Equilibrium, corresponding to the Production Theory of Microeconomics, which offers greater application versatility. The research method is quantitative analogous, being the product three solution equations on the Producer's Equilibrium. This proposal is structured through an approach to the problem in which didactic aspects of the teaching of the subject of Business Economics are considered, to then incorporate the antecedents of the Producer's Balance. A third section presents an example solved using the traditional procedure, to continue with the Cobb Douglas procedure solving the same problem as the fourth subtopic. The fifth subtheme presents a demonstrative exercise of the same problem with the alternative procedure, to end with a sixth and last topic to justify its nature as a model, given its versatility and potentiality, exemplifying the Alternative Model of Expanded Comprehensive Result (MARIA).

Keywords: Producer equilibrium, Alternative model, Optimization of resources, Selection of productive factors.

[1] Docente y Coordinador de Carrera. Maestro en Gestión de la información.
[2] Docente y Jefe de Proyecto de Investigación. Doctor en Administración.

 ISSN: 2007 8102

Introducción

A lo largo de varios semestres de asesorando el aprendizaje de la asignatura de Economía Empresarial en el Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Morelia, se ha logrado migrar de los modelos propios de la Microeconomía a los de Economía Empresarial utilizando los primeros para el diseño de procedimientos e instrumentos que permitan su aplicación a soluciones empresariales, particularmente en los campos de la Mercadotecnia, las Finanzas y el Desarrollo Organizacional, como recursos para la toma de decisiones administrativas. El presente, es el caso del modelo de Equilibrio del Productor.

Como uno de los resultados de la anterior tarea, ahora se presenta un procedimiento alternativo al modelo de Economía Matemática de Alfred Marshall para determinar la cantidad óptima de factores a emplear, bajo el principio de equimarginalidad, dentro de la Teoría del Productor. El procedimiento presenta ofrece ventajas sobre el tradicional (*marshalliano*) en cuanto a que es más sencillo y más versátil. En el primer caso, ya que requiere de una fórmula matemática que implica procedimientos aritméticos básicos ; la versatilidad se refiere a que es aplicable a dos o más alternativas de factores, a diferencia del procedimiento tradicional que solamente es aplicable a dos (Capital y Trabajo). Desde luego que, como modelo que es, "… no trata de presentar una explicación literal de la forma en la cual las personas toman decisiones" [1]

El problema que se aborda parte de la idea de que uno de los objetivos de la formación del Administrador, del Ingeniero en Administración y del Ingeniero en Gestión Empresarial, es la optimización en el uso de los recursos de la empresa y considerando que " … las empresas tienen que pagar los factores que emplean. Como consecuencia algunas combinaciones de factores son superiores a otras porque cuestan menos . Supondremos de hecho, que el empresario quiere minimizar el costo asociado a cualquier volumen de producción seleccionado" [2]. Para el caso, la Microeconomía aporta el modelo denominado marshalliano -por el apellido del auto desarrollador Alfred Marshall- de selección de factores productivos en cantidades variables (Capital y Trabajo), llegándose a la propuesta con el acrónimo MARIA.

Si bien los economistas suele observarse que es insuficiente el tiempo programado para las asignaturas de esa línea de formación " … puesto que los temas abordados no alcanzan para poder ver de manera completa la teoría del productor junto con la función de producción y los costos, y solo permite abordar de manera superficial, algunos conceptos y fórmulas de función de producción" {3] y en cierto modo ello obedece a que la Microeconomía no se dispone de modelos más contrastables y aplicables a la realidad, lo que el cambio el modelo MARIA pretende ofrecer.

Y aunque para algunos autores "El principal postulado o supuesto de la teoría de la producción estriba en que el productor busca obtener la mayor producción posible -sujeta a una restricción del presupuesto disponible – para dedicar a ese fin" [4], el modelo igualmente se emplea para determinar la cantidad de factores a emplear bajo restricciones presupuestarias, para alcanzar un nivel de producción deseado, dentro de un presupuesto determinado.

Metodología

Bases teóricas

La Economía Matemática, como expresión " … matemática de la relación en el comportamiento de los agentes económicos" [5] es una ciencia poco explorada actualmente siendo preferida la Econometría, por lo que ahora se exploran nuevas posibilidades del modelo marshalliano de Equilibrio del Productor.

Pero en todo caso, el modelo marshalliano considera costo de los factores, productividad de los mismos, presupuesto disponible y producción esperada "El nivel de factores productivos que minimiza los costos viene dado por el punto en el que la relación de precios de los factores es igual a la relación de las productividades marginales de los distintos factores" [6].

De acuerdo a lo escrito por Paul Samuelson, citado por Michael Parkin [7], el denominado *Equilibrio del Productor* consiste en lograr una producción determinada al mínimo costo posible, bajo la restricción de costo de factores productivos y un presupuesto disponible. Dicho equilibrio se logra bajo tres condiciones: 1. Que la productividad de un factor (generalmente Trabajo, como divisor) en términos de otro (generalmente Capital,

 ISSN: 2007 8102

como dividendo), sea proporcional al costo del factor divisor de la productividad, respecto al factor dividendo: ; 2. que la combinación definida ofrezca el menor costo respecto a otras combinaciones que permitan lograr la producción deseada; 3. que el costo de los factores seleccionados se apeguen al presupuesto.

Considerando que la Microeconomía se dedica " … a estudiar las decisiones de las personas y empresas …" [8], se tomaron como bases teóricas a la Teoría de la Conducta del Consumidor, el Principio de Equimarginalidad y la Teoría del Productor. La primera, aportante de los bases que explican las decisiones del consumir bajo restricciones presupuestarias, ante una canasta de consumo de satisfactores sustitutivos entre si; el segundo, como el modelo matemático que permite medir la anterior teoría; y el tercero como aplicación de las decisiones del productor ante la elección de factores productivos a usar, cuando estos son sustitutivos entre si.

Procedimiento

Para el caso del modelo que se propone, la Teoría del Productor abarca " … muchos aspectos de la empresa, relacionado con factores productivos, función de producción, producto marginal, producto medio, producto total, productividad, costes o costos de los factores de producción, maximización de beneficios, rendimientos de escala" [3] siendo de interés para caso el uso óptimo de los factores productivos dentro del Principio de la Equimarginalidad.

El método de investigación es el comparativo de corte cuantitativo, siendo el producto tres ecuaciones de solución sobre el Equilibrio del Productor. Es comparativo ya que se contrastan los resultados de tres procedimientos para un mismo problema, con lo que se logra demostrar la efectividad del nuevo procedimiento. De igual manera se evidencia lo amable del procedimiento en comparación con los otros.

El procedimiento se inició con el planteamiento del Equilibrio del Productor que consiste en la búsqueda de un uso de Factores Productivos que permitan alcanzar la producción deseada, dentro del presupuesto disponible, observando el principio de racionalidad de Equimarginalidad, es decir que el gasto realizado en cada uno de los insumos sea equivalente a su utilidad, de tal manera que al productor obtiene el beneficio equivalente por cada unidad monetaria erogada.

Análisis de resultados

Procedimiento tradicional

Este procedimiento muy conocido por los estudiosos der la Economía, es sin duda muy analítico. Concede importancia tanto al proceso como al resultado.

Ejemplo:

Siendo el presupuesto (R) para producir un lote de 60,000 unidades de $ 1, 200, 000 , en tanto que costo de renta de la **m**aquinaria (M) de $ 15,000 y el **s**ueldo por jornada de trabajo (S) de $ 300, determina la cantidad óptima de Trabajo (QT) y de Capital (QC)

Proceso:

1. Identificación de Variables
R = 1,200,000 Costo de S = 300 Costo de M = 15,000

2. Cálculo de Equimarginalidad (QC/QT = CT/CC)
QM / QS = 300/15,000

3. Construcción de la Ecuación de Expansión del Capital (QC= T* (CT/CC)

QM = S*(300/15,000) QM = .02S

4. Construir Ecuación del Presupuesto (QT*CT) + (QC*CC) = R
(QS*300) + (QM*15,000) = 1,200,000

 ISSN: 2007 8102

5. Calcular QT, sustituyendo valor de expansión de QM en ecuación del presupuesto

(QS*300) + (.02QS*15,000) = 1,200,000 **QS = 2,000**

6. Calcular QC, sustituyendo el valor de QS en ecuación del presupuesto

Q_M= [1,200,000 – (2,000*300)] / 15,000 **QM=40**

Procedimiento Cobb Douglas

Este procedimiento que en su forma regular es una herramienta que requiere menos procesos que el tradicional, implica en cambio habilidades básicas de derivación.

Ejemplo (mismo que en el procedimiento anterior):

Siendo el presupuesto (R) para producir un lote de 60,000 unidades de $ 1, 200, 000 , en tanto que costo de renta de la **m**aquinaria (M) de $ 15,000 y el **s**ueldo por jornada de trabajo (S) de $ 300, determina la cantidad óptima de Trabajo (QT) y de Capital (QC)

Proceso:

1. Identificar variables

R= 1,200,000

CS = 300

CM = 15,000

2. Plantea función producción ($QP_{t,c} = T^{.5}*C^{.5}$)
   ($QP_{s,m} = S^{.5}* M^{.5}$)
3. Calcula Productividad marginal de T ($Pma_T = .n (T^{(.n-1)} * C^{(.m)}$

   ($Pma_S = .5 (S^{(.5-1)} * M^{(.5)}$
4. Calcula Productividad marginal de C ($Pma_c = .m (C^{(.m-1)} * T^{(.n)}$

   ($Pma_m = .5 (M^{(.5-1)} * S^{(.5)}$

   Elabora ecuación de rendimiento marginal
   ($Pma_c = .50 (C(^{.50-1}) * T (^{.50}) /(Pma_t = .50 (T (^{.50-1}) * C (^{.50})$

   ($Pma_m = .50 (M(^{.50-1}) * S (^{.50}) /(Pma_s = .50 (S (^{.50-1}) * M (^{.50})$
5. Determina Razón Marginal de Sustitución de factores ($RMS_{t,c} = .m/.n (T/C)$
   $RMS_{s,t}$ = .5/.5*(M/S) = M/**S**
6. Calcula valor de conversión de T a C multiplicando por costos de T y C
   .m/.n* (QM/QS) =CT/CC .5/.5* (QM/QS) = 300/15,000 QM=.02*S
7. Calcula el T en la ecuación del presupuesto
   300*QS + .02QS*15,000 = 1,200,000 **QS = 2,000**
8. Calcula C en la ecuación del presupuesto

300*2,000 + QM* 15,000 0 = 1,200,000 **QM = 40**

Mismo resultado que en el problema anterior, aunque habrá que advertir que el que el procedimiento tradicional no admite productividad de los factores.

El procedimiento Cobb Douglas se simplifica con la fórmula:

QT = R/ [(CT + (CT (pC/pT))]* en donde p significa productividad

QC = R/ [(CC + (CC (pT/pC))]*

Aplicadas al problema anterior:

R = 1,200,000 CS = 300 CM= 15,000 pS= .5 pC= .5

QS = 1,200,000 / (300+ (300* (.5/.5)) QS= 1,200,000 / 600 **= 2,000**

QM = 1,200,000/ (15,000+ (15,000*(.5/.5)) QM = 1,200,000 / 30,000 **= 40**

Mismo resultado aplicando el "Procedimiento Simplificado Cobb Douglas".

Procedimiento alternativo

Este procedimiento permite calcular directamente los resultados para, para que en base a ellos tomen se las decisiones empresariales que correspondan

Ejemplo (mismo que en los dos procedimientos anteriores):

Siendo el presupuesto (R) para producir un lote de 60,000 unidades de $ 1, 200, 000 , en tanto que costo de renta de la **m**aquinaria (M) de $ 15,000 y el **s**ueldo por jornada de trabajo (S) de $ 300, determina la cantidad óptima de Trabajo (QT) y de Capital (QC)

Proceso:

1. Identificación de Variables

Presupuesto: R = 1, 200, 000
Costo de Trabajo: CS = 300
Costo del Capital: CM = 15,000
Número de factores: N = 2

2. Calculo de Cantidad de Factores *(QF = R/ (N*CF))*
   *QM = 1,200,000 / (2*15,000*) = **40** *QS = 1,200,000/ (2*300*) = **2,000**

Como se observa, es mucho más amigable que los anteriores y aporta los mismos resultados: obtener la producción deseada al mínimo costo posible, es decir, apegado al presupuesto disponible.

El procedimiento anterior se transforma en un modelo alternativo ampliado, ya que permite calcular más de dos factores, en lo que supera al modelo tradicional y más simplificado que el Cobb Douglas, como se verá a continuación.

ISSN: 2007 8102

Aplicaciones prácticas (a manera de Discusión)

Al igual que los otros procedimientos, l Modelo Alternativo de Resultado Integral Ampliado (MARIA) se aplica para la selección de factores productivos a menor costo, pero a diferencia de aquellos, éste es útil para dos o más factores a seleccionar, además de ser mucho más amigable.

La fórmula QF = R/ (N*CF), es el único instrumento necesario, recordando que:

QF es la cantidad de factores, R el presupuesto disponible, N la cantidad de factores y CF el costo de cada factor.

Ejemplo:

Se desea elaborar granola, buscando usar la cantidad de cada ingrediente de tal manera que represente el costo menor posible y apegado a un presupuesto fijo, tal como la tabla lo indica:

Tabla 1. Costo de los factores de la fórmula para elaborar granola

Presupuesto (R)	$ 26,000
Costo de Cereza deshidratada	$ 80 Kgr.
Costo de Uva Pasa	$ 50 Kgr.
Costo de Amaranto tostado	$ 70 Kgr.
Precio de Avena tostada	$ 20 Kgr.

Fuente: elaboración propia a partir de precios de Central de Abastos de Morelia, 2022

1. Calcular factor de distribución (f= R/N), para este caso f =$26,000 / 4 = **6,500**
2. Calcular la cantidad óptima de cada ingrediente f/Cn en este caso:

Tabla 2. Cantidad óptima a usar en la elaboración de la granola

Ingrediente	Costo	Cantidad óptima	Gasto
Cereza deshidratada	$ 80 Kg	6500/ 80 = 81.250	6,500
Uva Pasa	$ 50 Kgr.	6500/50 = 130.000	6,500
Amaranto tostado	$ 70 Kgr.	6500/70 = 92.858	6,500
Avena tostada	$ 20 Kgr.	6500/20 = 325.000	6,500

En la tabla anterior se puede advertir que la suma del gasto por los ingredientes es justo el presupuesto.

En caso de que algún ingrediente subiera o baja de costo, el presupuesto se dividiría entre los nuevos costos de manera proporcional, generándose una nueva composición de la granola sin alterar el precio de venta, protegiéndose así tanto la sostenibilidad del negocio como al consumidor del producto.

Así entonces MARIA se constituye en un instrumento científico para la sostenibilidad del negocio y la solidaridad con el consumidor, al alcance de cualquier empresario capaz de ejecutar operaciones aritméticas simples.

ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

La aplicación del modelo con factores ponderados por su peso en la fórmula productiva, permitirá lograr mayor potencialidad de uso del modelo.

Realizar un análisis matemático, de Geometría Analítica y con principios de los Grandes Números

Conclusiones

El modelo de Equimarginalidad para optimización de costos en el uso de factores productivos puede aplicarse por diversos procedimientos.y en comparación con otros procedimientos, el modelo MARIA permite alcanzar los mismos resultados pero de manera más sencilla.

El modelo MARIA es más versátil en sus aplicaciones, por lo que racionaliza los costos productivos.

MARIA se constituye en un instrumento para diseñar y rediseñar negocios que permitan su sostenibilidad y su solidaridad con los consumidores.

Referencias

[1] G. Mankiw (2019) "*Principios de Economía"*. Séptima edición. México: Cengage. p. 456.

[2] R. Blair y L. Kenny (1982) "*Microeconomía con aplicaciones a la empresa"*. México: McGrawHill. p.82.

[3] L. Andrade (2021) Análisis del currículo de los cursos de Fundamentos de economía, microeconomía y Fundamentos de economía y microeconomía en relación con la Teoría del productor Revista de estudios y experiencias en educación, vol. 20, núm. 43, 2021, pp. 167-180 Universidad Católica de la Santísima Concepción. Facultad de Educación. p.179.

[4] H. Viscencio (2002) "*Economía para la toma de decisiones"*. México: Thompson.p.189.

[5] D. Escobar (2018) *"Economía matemática"* . Bogotá: Ediciones Uniandes. p.86.

[6] M. Baye (2006) "*Economía de Empresa"*. Quinta edición. Madrid: McGrawHill. p.193..

[7] M. Parkin (2018) "Economía". Décimo segunda edición. México: Pearson. p.242.

[8] M. Parkin y G. Esquivel (2019) "Microeconomía". Décima segunda edición. México: Pearson. p.G5.

 ISSN: 2007 8102

Diseño y automatización de ruta de abastecimiento de agua potable en el municipio de Ahualulco, S.L.P.

G. C. Rendón Sustaita[1], J. A. Domínguez López[2], V. Rodríguez Avalos[2], H. A. Saavedra Hernández[1], B. Ruiz Martínez.*
[1]Departamento de Sistemas y Computación, TNM/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Av. Tecnológico s/n, U.P.A., C.P. 78437, San Luis Potosí, S.L.P., México.
[2]Departamento de Metal-Mecánica, TNM/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Av. Tecnológico s/n, U.P.A., C.P. 78437, San Luis Potosí, S.L.P., México.
**gloria.rs@slp.tecnm.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

La importancia de llevar a cabo de manera correcta la administración del subsector de agua potable en los municipios de San Luis Potosí radica en la problemática que presenta el estado referente a la escases del vital líquido en estos momentos. Por lo anterior, el municipio de Ahualulco se dio a la tarea de rediseñar y automatizar los departamentos de CODESOL y AGUA POTABLE de la presidencia municipal para implementar una estructura acorde a la distribución y cuidado del agua que se debe tener de acuerdo con la situación que se vive en el estado en este año 2023. La idea de involucrar la tecnología informática en la presidencia municipal de Ahualulco, S.L.P. como apoyo al cuidado de la distribución del agua en el municipio, surge como una necesidad para contar con un sistema automatizado de fácil acceso y uso, con el cual no se contaba, y que brinde evidencia del desempeño de las dos áreas involucradas, generando como resultado la obtención de datos que proporciona información en términos de productividad, estándares, control de actividades cotidianas y programadas para la toma de decisiones en referencia al vital líquido.

***Palabras clave**: Agua potable, Escases, Distribución, Control, Automatización.*

Abstract

The importance of correctly carrying out the administration of the drinking water subsector in the municipalities of San Luis Potosí lies in the problems that the state presents regarding the shortage of the vital liquid at this time. Due to the above, the municipality of Ahualulco undertook the task of redesigning and automating the CODESO and AGUA POTABLE departments of the municipal presidency to implement a structure according to the distribution and care of the water that must be taken according to the situation that lives in the state in this year 2023. The idea of involving computer technology in the municipal presidency of Ahualulco, S.L.P. As support for the care of water distribution in the municipality, it arises as a necessity to have an automated system of easy access and use, which was not available, and that provides evidence of the performance of the two areas involved, generating as The result is the obtaining of data that provides information in terms of productivity, standards, control of daily and scheduled activities for decision-making in reference to the vital liquid.

***Keywords**: Drinking water, Shortages, Distribution, Control, Automation.*

Introducción

Uno de los elementos importantes para la existencia de vida en el planeta, es el agua, por lo tanto, es de suma importancia proteger y conservar los recursos hidráulicos que se disponen alrededor de todo medio de vida, a fin de que se pueda habitarlo a través de un desarrollo equilibrado.

En el Estado de San Luis Potosí, México, hay 19 acuíferos, de los cuales ocho presentan sobreexplotación [1], lo que provoca alteraciones en los ecosistemas, la importancia de llevar un control en el proceso de obtención y distribución del vital líquido, permite establecer medidas para el aprovechamiento del agua y ampliar su cobertura en las viviendas, generando mejores condiciones para el tratamiento, saneamiento y potabilización en todo el estado, garantizando el acceso al agua potable en las próximas décadas.

En 2023, en el Municipio de Ahualulco en el Estado de San Luis Potosí se presenta un problema de abastecimiento de agua potable en la cabecera municipal y zonas conurbadas, para resolver esta situación, se llevan a cabo trabajos de mantenimiento, así como el abastecimiento del vital líquido a través de pipas de agua. La Cabecera Municipal tiene el problema de no tener un eficaz sistema de distribución de agua potable, principalmente por la falta de una red de tubería, la cual no abarca a todas las viviendas.

La creciente población en el Municipio ha conducido a una mayor presión sobre las fuentes de abasto de agua potable, como resultado de la necesidad de más demanda de líquidos por reclamos de la población. La importancia del agua, además de ser necesaria para beber, para aseo personal y otros usos domésticos habituales, también es necesaria para una diversidad de actividades. El suministro de agua potable en los pueblos es indispensable para su desarrollo socio económico para mejorar sus condiciones.

Por lo anterior, el determinar organizar, actualizar y contar con un proceso basado en la digitalización de la información de cada vivienda y las necesidades de cada habitante, así como estar al tanto del trabajo que realiza cada encargado de la distribución del servicio generando su respectiva documentación, fueron los objetivos principales para el diseño y automatización de la ruta de abastecimiento de agua potable, considerando el proceso de inicio a fin, el cual radica iniciar desde la obtención del agua desde los manantiales, pozos y pilas que son la principal fuente, hasta su distribución en cada vivienda.

Para la presidencia municipal de Ahualulco, el contar con agua potable en cada vivienda, representa un ejemplo de superación acorde a los tiempos actuales que reclaman el bienestar social de cada uno de los habitantes que en él habitan.

Metodología

El método utilizado para esta investigación aplicada es la basada en las nuevas tecnologías de la información, utilizando las herramientas existentes para realizar grafos para las líneas de tubería y las bases de datos para la manipulación de los datos de las viviendas.

El desarrollo del algoritmo se presenta en los siguientes apartados, generando un trabajo tecnológico aplicado con base en plataformas programables.

Para el proyecto se determinó desarrollar un sistema de información automatizado llamado REDAPA (Red de Agua Potable Ahualulco), basando el desarrollo con tecnología Web. El sistema solo será utilizado únicamente en la red interna de la presidencia municipal de Ahualulco.

Diseño del Sistema de información automatizado REDAPA

La tecnología informática es una herramienta estratégica que brinda ventajas competitivas a las organizaciones, pero puede originar costos y desventajas si no es bien administrada por el personal encargado, sobre todo si no se cuenta con la cultura informática dentro de una organización. La solución es realizar evaluaciones oportunas y completas de la función informática, a cargo de personal calificado y realizando evaluaciones periódicas, realizadas por el mismo personal encargado del área informática.

ISSN: 2007 8102

Los beneficios de los sistemas de información automatizados dirigidos a la manipulación de información a través de bases de datos dentro de los organismos gubernamentales, ayudan a mejorar la imagen pública, dar confianza a los usuarios sobre la seguridad y control de los servicios que se ofrecen, al utilizar las Tecnologías de la Información, se optimizan las relaciones internas y del clima de trabajo, disminuye costos causados por mala calidad como los reprocesos, rechazos, reclamos, entre otros.

Para REDAPA se determinó desarrollar una base de datos manipulada a través de una aplicación web, se manejó un enfoque híbrido para combinar el desarrollo nativo con tecnología Web. Este permite que los sistemas con tecnologías Web trabajen para múltiples plataformas ylograr tener el acceso directo a APIs nativas. En este caso, el acceso a la aplicación solo se realizará en la red interna de la presidencia del municipio de Ahualulco, San Luis Potosí.

REDAPA, tiene una arquitectura de software denominada Modelo Vista Controlador (MVC), la cual es presentada en la Figura 1.

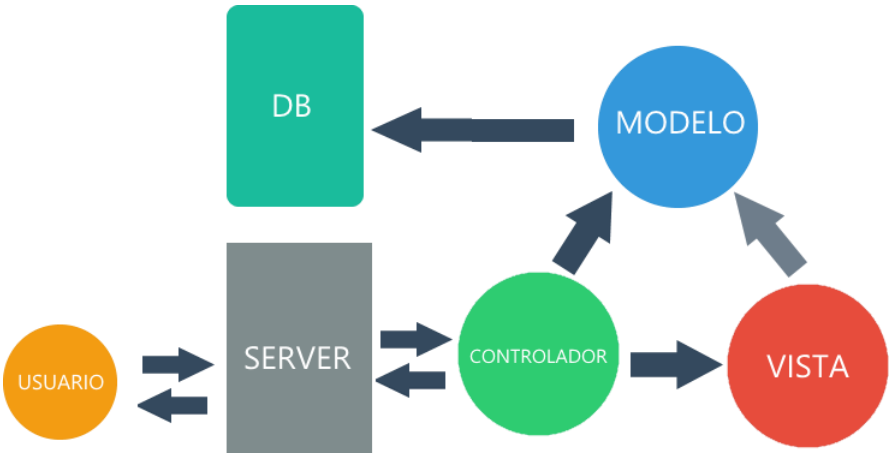


Figura 1. Diagrama del diseño de REDAPA [2].

De acuerdo a Sommerville [3] se establece que el patrón de arquitectónico MVC consiste en varios componentes lógicos relacionados entre sí. El *Modelo*, es en donde se encuentran los datos y operaciones del sistema, en la *Vista* se presentan los datos al usuario y el *Controlador* establece la manera de interactuar del usuario con el sistema.

Herramientas a utilizar

Para desarrollar REDAPA se utilizó Progressive Web Apps (PWA) porque permite trabajar en la web tradicional así como en aplicaciones nativas para teléfonos móviles y tabletas.

Desarrollo

Ribas [4], indica que la parte más importante de una PWA es su arranque, porque permite que el manifiesto de la aplicación sea en formato JSON. El manifiesto da la visualización actualizada de la aplicación en lugares en donde generalmente los usuarios tienen las aplicaciones nativas.

El *Service Workers,* utiliza *scripts* que permiten trabajar en canales *offline* para bajar los elementos base del funcionamiento del sistema.

Ionic es un framework propiedad de Drifty. *Ionic* permite crear aplicaciones híbridas, estas son aplicaciones webs que permiten utilizarlas en teléfonos. Estas aplicaciones son una combinación de CSS, HTML y JavaScript, y se comportan como los controles nativos más usados.

Los *servicios Web* permiten considerarlos como un conjunto de aplicaciones o de tecnologías con capacidad para interoperar en la Web [5]. Los servicios web intercambian datos entre sí, para ofrecer los servicios.

Los *servicios web rest*, son modelos con un diseño basado en restricciones arquitectónicas aplicadas a los componentes, conectores y datos, de un sistema hipermedia distribuido. *Rest* se centra en las funciones, restricciones sobre su interacción con otros componentes y la interpretación de los datos.

LoopBack es un ambiente de trabajo de *Node.js* extensible y de código abierto basado en *Express* en él se pueden crear facilmente API´s y microservicios compuestos desde el *backend*, los cuales son sistemas con bases de datos y servicios SOAP [6].

Modelado

Para el modelado de requisitos se establecieron los elementos necesarios para delimitar el sistema y captura, para obtener una funcionalidad idónea para el usuario [7]. Para lo anterior, se basó en el modelo de requisitos de la metodología Objectory, el cual es el modelo de casos de uso y se utilizó el modelo de requerimientos para la parte de la ingeniería de requisitos.

Para el modelado se utilizaron las herramientas que apoyan a la ingeniería de requerimientos, las cuales son:

- Entrevistas: Se entrevisto al personal de CODESOL y AGUA POTABLE
- Encuesta en línea a la población para confirmar datos de las viviendas.
- Diagramas de datos: Para visualizar el proceso actual.
- Diccionario de datos: Para representar cada entidad y atributo.



Figura 2. Encuesta en línea realizada a población del municipio de Ahualulco [8].

Dentro del Municipio de Ahualulco, San Luis Potosí, se identificó la necesidad de tener una aplicación informática que permita acceder en forma oportuna a la detección de situaciones como, tubería dañada, fugas de agua, obstrucción en tuberías, distribución del agua, etc, así como las necesidades de mejora tanto de la red de distribución como en las viviendas del municipio. La aplicación permitirá que los documentos solicitados por los departamentos de CODESOL (Coordinación de Desarrollo Social) y AGUA POTABLE el cual se encuentra dentro del área de Servicios Municipales [9] realicen con eficiencia y en tiempo oportuno, ya sea, las reparaciones o establezcan trabajos de mejora tanto en la red de distribución como en las viviendas.

El problema que se identificó consiste en que el sistema con el que se contaba, al ser manual, no permitía el acceso a los documentos solicitados para solucionar daños o solicitar un beneficio en vivienda, por falta de actualización o no contar con las herramientas necesarias para realizar las especificaciones requeridas para la búsqueda.

Los procedimientos identificados para ambos departamentos y que son el objetivo principal de la aplicación REDAPA son los siguientes:

- Verificación de la información a almacenar en la base de datos.
- Mapear de manera organizada las rutas de abatimientos de la red de distribución de agua.
- Apoyar en la toma de decisión en soluciones temporales a partir del mapeo en situaciones de fallas de la red de distribución.
- Generar reportes de las solicitudes tanto por falla de distribución de agua.
- Generar reportes de las solicitudes para mejora de las viviendas por parte de los habitantes.

La aplicación se almacenará en un servidor ubicado en el área de cómputo del departamento de CODESOL y desde ahí se tendrá acceso para el departamento de servicios municipales para el área de AGUA POTABLE. Se detectó la necesidad de contar con un departamento de informática, con el cual en estos momentos no se cuenta. La importancia de contar con un departamento de informática se basa en contar con personal calificado para realizar las actividades relacionadas con el mantenimiento tanto de la red como de la aplicación y base datos. En estos momentos solo cuentan con el apoyo de residentes de modalidad a distancia de la carrera de Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de San Luis Potosí Campus Ahualulco.

Resultados y discusión

La aplicación desarrollada permite ingresar de forma ordenada toda aquella información de control para poder supervisar o informar de aquellas viviendas que no cuentan con el servicio, sin perjudicar los tiempos de procesos y generar pérdidas de tiempo o quejas de cada habitante.

Con la aplicación se pretende programar y organizar las necesidades de cada vivienda para dar un mejor servicio a la población, tanto en las fallas de la red de distribución de agua, así como las solicitudes presentadas para mejora de la red, así como de las viviendas.

La aplicación cuenta con una ventana de inicio en la cual radica la estructura de funcionamiento, la cual es a partir de una cuadrícula que contiene las opciones.

La cuadricula se conforma de la siguiente manera:

- En la parte superior se establecen tres niveles, uno para CODESOL, para AGUA POTABLE y un tercero para generación de informes.
- En la opción de CODESOL, se contempla la siguiente opción:
  - Solicitud: Se establece los requerimientos solicitados para una mejora en vivienda relacionada con suministro de agua potable.
  - Reporte: Se establecen los reportes por falla en la red de distribución.
- En la opción de AGUA POTABLE, se contemplan las siguientes opciones:
  - Pozos: Se establecen las características de cada pozo, tiene la posibilidad de agregar imágenes.
  - Equipamiento: Se establece el equipo habilitado en pozos y red de distribución.
  - Tanques: Se establecen las características de cada tanque, tiene la posibilidad de agregar imágenes.
  - Red de distribución: Se establecen las características de cada nudo de la red, así como los datos de las líneas de conducción, tiene la posibilidad de agregar imágenes.
  - Grafos de la red de distribución: Se establece el mapeo de la red de tuberías en forma gráfica.
  - Seguimiento de falla: Se establece el seguimiento de reparación de la red de distribución.

REDAPA muestra el control y la actualización correspondiente a cada opción elegida, observando la información almacenada y en su caso, imágenes agregadas a la base de datos.

 ISSN: 2007 8102

Los temas están establecidos para:

- Usuarios.
- Dispositivos de usuario dentro de la Presidencia Municipal.
- Soluciones de oficina.

Los datos son confidenciales, asegurando la seguridad de la Presidencia Municipal a no exponer información de suma importancia a la vista de personal ajeno al gobierno municipal.

Funcionamiento de REDAPA

El objetivo principal de REDAPA es guardar la información necesaria que se especifica en cada opción, anexando fotos y comentarios para asegurar la información.

El resultado del sistema de información automatizado REDAPA es el siguiente:

La ventana de inicio de REDAPA y estructura se muestran en la Figura 3.

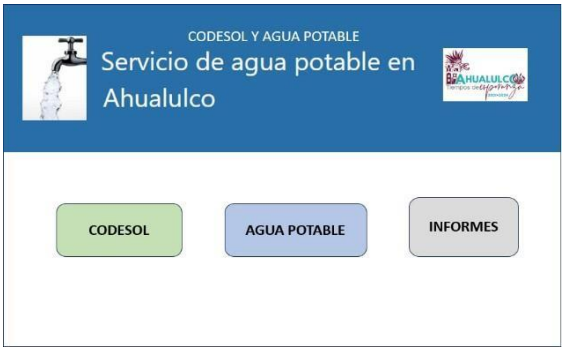


Figura 3. Ventana de inicio y estructura de REDAPA.

En la Figura 4, se muestran se muestra el informe generado para un pozo en específico con sus respectivas características.



Figura 4. Reporte de pozo.

 ISSN: 2007 8102

En la Figura 5, se muestra el informe generado para los nudos de la red de distribución en funcionamiento con datos correspondientes.



ID Nudo	Cota m	Demanda Base LPS	Altura m	Presión m
Conexión 1	1890.28	0.02	1891.19	0.91
Conexión 2	1889.75	0.05	1888.33	-1.42
Conexión 3	1878.50	0.46	1864.42	-14.08
Conexión 4	1872.25	0.75	1860.85	-11.40
Conexión 5	1867.02	0.44	1859.79	-7.23
Conexión 6	1863.45	0.58	1859.23	-4.22
Conexión 7	1862.58	0.28	1859.14	-3.44
Conexión 8	1860.88	0.33	1859.01	-1.87
Conexión 9	1862.21	0.07	1858.97	-3.24
Conexión 10	1862.65	0.17	1858.94	-3.71
Conexión 11	1863.02	0.01	1858.93	-4.09
Conexión 12	1863.45	0.06	1858.93	-4.52
Conexión 13	1864.20	0.23	1858.90	-5.30
Conexión 14	1870.98	0.18	1859.76	-11.22
Conexión 15	1878.52	0.53	1859.72	-18.80
Conexión 16	1869.90	0.15	1859.66	-10.24
Conexión 17	1870.10	0.05	1859.66	-10.44
Conexión 18	1873.25	0.25	1859.64	-13.61
Conexión 19	1876.20	0.21	1859.64	-16.56
Conexión 20	1869.20	0.07	1859.64	-9.56
Conexión 21	1870.20	0.46	1859.61	-10.59
Conexión 22	1868.34	0.32	1859.63	-8.71

Figura 5. Reporte de nudos de la red de distribución.

En la Figura 6, se muestra el informe generado para el seguimiento de falla.



Figura 6. Reporte de falla.

 ISSN: 2007 8102

En la Figura 7, se muestra el informe generado para el diagrama de grafos de la red de distribución.



Figura 7. Generación de grafo de la red de distribución.

Conclusiones

El alcance de esta Innovación radica en la posibilidad de extenderla a diversas áreas de la Presidencia Municipal de Ahualulco. Las aplicaciones informáticas se conforman obteniendo información y documentación de todo tipo, el objetivo de utilizar estas herramientas es para que la información generada este en tiempo y forma, permitiendo la toma de decisiones adecuadas para dar solución a fallas, en este caso, las que se presentan en la red de distribución, así como atender las solicitudes de mejora que los habitantes realicen. El objetivo principal de REDAPA consiste en lograr obtener toda la información necesaria para emitir un juicio global objetivo, siempre amparando las evidencias comprobatorias para una buena toma de decisión.

Recomendaciones

Considerando el acelerado desarrollo tecnológico que se está experimentando en las dependencias gubernamentales, así como también el alto grado de riesgo que esto implica, es conveniente que las mismas cuenten con un departamento dedicado a las Tecnologías de Información con personal suficiente para la cobertura total de las áreas involucradas.

ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] https://slp.gob.mx/sitionuevo/Paginas/Noticias/2022/FEBRERO/120222/Comisi%C3%B3n-Estatal-del-Agua-presenta-aplicaci%C3%B3n-para-cuidado-del-agua.aspx#:~:text=En%20San%20Luis%20Potos%C3%AD%20hay,apenas%2078%20millones%20de%20recarga.
[2] G.C. Rendón, P. Rivera, R.E. Martínez, J.M. Huerta, J.M. Rodríguez, "*Medición algorítmica de indicadores de economía circular en función del desarrollo sostenible"*, Journal CIM, vol. 9, no. 1, pp. 39-46, 2021.
[3] Sommerville, I., *"Ingeniería de Software (Novena ed.),"* Pearson Educación, México, 2011.
[4] Ribas, Ester (2018). *"¿Qué son las Progressive Web Apps? ¿por qué son tan importantes".*
[5] Disponible: https://www.iebschool.com/blog/progressive-web-apps-analitica-usabilidad/.
[6] LoopBach 4. Disponible: https://loopback.io/doc/es/lb4/.
[7] W3C. (s.f.). "*Servicios Web2.* Disponible: http://www.w3c.es/Divulgacion/GuiasBreves/ServiciosWeb.
[8] Disponible: https://forms.office.com/r/8CYJArThDT
[9] Disponible:http://www.transparenciamunicipalslp.gob.mx/Transparencia/Municipios//_AHUALULCO/Art%C3%ADculo%2019.%20fracc.%20IV/MANUALES%20DE%20ORGANIZACION/MANUAL%20DE%20ORGANIZACI%C3%93N%20ADM.%202015-2018.pdf

ISSN: 2007 8102

Formación de Supervisores de Educación Física: acciones estratégicas

J. Contreras Ruiz[1], J. A. Yáñez Figueroa[2], X. Contreras Calvario[3], L. A. Carretero Muñoz[4], H. J. Ferrer Petrilli[5],*

[1]Instituto Tecnológico de Orizaba / Universidad Veracruzana, jcruiz11@hotmail.com, [2] Dirección General de Educación Física Estatal, jantonio.yanezf@gmail.com, [3] Instituto Tecnológico de Orizaba, xaviercc@orizaba.tecnm.mx, [4] Instituto Tecnológico de Orizaba,luiczito@hotmail.com,[5] Universidad del Golfo de México de Ciudad Mendoza, petrilli926ucorreo@gmail.com

jcruiz11@hotmail.com

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa / Gestión del talento humano*

Resumen

Un problema recurrente en las Supervisiones de Educación Física, es la baja eficiencia y la poca formación del personal para realizar sus funciones [1]. La Dirección General de Educación Física Estatal de Veracruz, diseñó una ruta para el fortalecimiento de la función supervisora; por ello se busca contribuir con una estrategia de formación de supervisores de educación física. En esta investigación exploratoria, participaron 3 Inspectores y 15 Supervisores. El método empleado, consistió en la impartición de conferencias, actividades lúdicas y talleres. Se aplicaron algunos instrumentos para la recolección de datos, los resultados indican que no existe asociación entre los estilos de liderazgo y la función desempeñada, se establecieron las necesidades de formación desde el modelo ECAI, para establecer algunas propuestas que aprovechen los liderazgos en ambas esferas laborales y se continúe con formación del recurso humano, en beneficio de las comunidades a las que sirven.

***Palabras clave**: Educación Física, función supervisora, liderazgo, modelo ECAI.*

Abstract

A recurrent problem in Physical Education Supervisors is the low efficiency and poor training of personnel to perform their functions [1]. The Dirección General de Educación Física Estatal of Veracruz, designed a route for the strengthening of the supervisory function; therefore, it seeks to contribute with a strategy for the training of physical education supervisors. In this exploratory research, 3 Inspectors and 15 Supervisors participated. The method used consisted of lectures, recreational activities and workshops. Some instruments were applied for data collection, the results indicate that there isn´t association between leadership styles and the function performed, the training needs were established from the ECAI model, to establish some proposals to take advantage of leadership in both labor spheres and to continue with the training of human resources, for the benefit of the communities they serve.

***Key words**: Physical Education, Supervisory Function, Leadership, ECAI Model.*

ISSN: 2007 8102

Introducción

La Dirección General de Educación Física Estatal (DGEFE), es una institución educativa dependiente de la Subsecretaría de Educación Básica de la Secretaría de Educación del Estado de Veracruz, encaminada a fortalecer y contribuir desde la educación física, la recreación, el deporte y el fomento a la salud y al desarrollo armónico e integral del individuo, así como lograr los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo y el Plan Veracruzano de Desarrollo 2016-2018. La DGEFE es la responsable de la educación física que se brinda a los niños, niñas y adolescentes (NNA) de los diferentes niveles educativos en las escuelas oficiales de Educación Básica [2].

La educación física, es fundamental en el desarrollo de las habilidades, no sólo físicas, sino desde el punto de vista psicológico ya que contribuye a la formación integral para la vida de los seres humanos; las clases de educación física, hacen aportes a las capacidades y habilidades físicas, contribuyendo al desarrollo de la psiquis del practicante. En este sentido es acertado reconocer el papel de esta asignatura en el desarrollo psicológico de la personalidad, no únicamente enfocándose éste en la esfera de los conocimientos, sino también desde el punto de vista afectivo [3, 4].

Las funciones de los supervisores incluyen diversas tareas, tanto generales como específicas del puesto; y que, dada su naturaleza requiere de actividades de gestión orientadas a satisfacer las necesidades de los profesores de educación física a los que se supervisa, la atención indirecta de los estudiantes de educación básica y a los padres de familia de dichos estudiantes. Además, del trato y atención a las solicitudes de sus superiores que son los inspectores regionales, a quienes deben rendir cuentas del estado de la educación física en sus respectivas supervisiones [2].

El liderazgo, como lo establece Kotter, citado en [1], puede entenderse como una función sustantiva en la vida de las organizaciones, que permite el logro de los objetivos, a través de la motivación y el acompañamiento que aporta a sus colaboradores, a quienes apoya en la solución de problemas, lo que implica que quien ejerce la función supervisora debe contar con las cualidades ideales de liderazgo, para propiciar la mejora continua y el cumplimiento de los planes y programas.

La malla gerencial de Blake y Mouton [5, 6], se enfoca en medir dos dimensiones: la orientación a la gente y la orientación a la tarea. Los individuos con personalidad orientada a tareas tienden a enfocar su atención en los detalles, no se sienten cómodos de iniciar una acción hasta reunir todos los elementos necesarios. Por otro lado, quienes tienen personalidad orientada a las relaciones, tienen un interés considerable en el resultado y se sienten cómodos de iniciar una acción, aun cuando sólo tienen hechos esenciales [7].

El liderazgo debe ser un aspecto relevante en la formación de supervisores escolares, ya que, si el propósito de la supervisión educativa es mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje, entonces la supervisión debe convertirse en una fuerza activa que provea dirección a los docentes, así como estructura y atención a los asuntos curriculares. Es necesario redefinir la función supervisora, para evitar un enfoque sólo en el control del proceso, y transformarla en la fuerza motivadora que promueva la participación de los involucrados, para conformar una supervisión escolar en una comunidad de profesionales, en lugar de una jerarquía de poder y estatus [1].

El perfil del Supervisor de Educación Física Estatal, está definido en el documento Perfil, parámetros e indicadores para personal con función directiva y de supervisión en educación básica [8] y considera cinco dimensiones, con sus respectivos parámetros e indicadores. La dimensión 1, considera tres parámetros y once indicadores; a la dimensión 2, le corresponden cinco parámetros y veinticuatro indicadores. La dimensión 3, tiene tres parámetros y diez indicadores. La dimensión 4, comprende cuatro parámetros y dieciséis indicadores. La dimensión 5, incluye tres parámetros con diez indicadores. Los datos previos, dan un panorama del amplio alcance de la función supervisora.

La Dimensión 1, que corresponde al nivel inferior, establece que el supervisor, conoce el sentido de su función, los propósitos educativos y las prácticas que propician aprendizajes; mientras que la Dimensión 5, considera que el supervisor en este nivel, debe ser capaz de reconocer la diversidad de los contextos sociales y culturales de las escuelas y promover las relaciones de colaboración entre ellas, las familias, las comunidades e incluso con otras instancias, para garantizar el derecho a los NNA una educación de excelencia [8].

ISSN: 2007 8102

La ruta para el fortalecimiento de la función de Supervisores de Educación Física Estatal, se atiende desde una estrategia de formación que debe tomar en consideración las necesidades particulares de cada supervisor. Dicha formación contribuirá a alcanzar los niveles óptimos de la función en cada dimensión considerando el perfil profesional del supervisor. El comportamiento del supervisor es uno de los aspectos del entorno laboral que más impactan sobre la salud ocupacional [9], ya que permeará positivamente hacia los profesores que supervisa, si éste es el adecuado.

La dosis de entrenamiento para la formación de los supervisores, requiere del balance de las cuatro estrategias de entrenamiento que comprende el Modelo Educación, Capacitación, Adiestramiento e Instrucción (ECAI). La dosis de entrenamiento requerida, varía de un período a otro en función del nivel de evolución y madurez; por lo tanto, se requiere de un diagnóstico inicial, para establecer los porcentajes de cada estrategia que deben incluirse en el programa de formación, que puede incluir seminarios, talleres, conferencias, cursos, juntas de trabajo o mesas de diálogo, entre otras opciones.

El modelo ECAI, permite aprovechar al máximo el dinero y las horas invertidas; que, de otra manera pueden ser simplemente desperdiciados. Desde la perspectiva del modelo, la Educación, está enfocada a la cultura organizacional; la Capacitación, le permite al personal realizar mejor su trabajo, mientras que el Adiestramiento, garantiza que cada persona sea experta en las funciones que requiere su puesto de trabajo, finalmente, la Instrucción corresponde al desarrollo de las capacidades para definir, comunicar y recibir los requisitos del trabajo [10], [11].

Dentro de las cualidades que debiera poseer un buen líder, se encuentra la creatividad, la motivación y la capacidad de tener una visión para la organización, que le permita contemplar más oportunidades de desarrollo que las estrictamente necesarias para alcanzar los objetivos propuestos.

Desde el enfoque de Blake y Mouton [5], [6], en su malla gerencial del liderazgo, se identifican 81 estilos de liderazgo, que se representan en una tabla de 9 x 9, donde se establecen los grados de orientación hacia las personas y hacia las tareas. En la malla se establecen cinco principales estilos de liderazgo: el indiferente, el autoritario, el status quo, el tipo country y el líder de equipo.

Otra cualidad de la malla gerencial, es que además de mostrar los estilos de liderazgo, también identifica cuáles factores predominan en el pensamiento de los líderes para obtener los resultados, permitiendo observar la relación entre ambos puntos de vista.

En lo relacionado a la autopercepción de los supervisores respecto de su función, el modelo ECAI, permite establecer las necesidades de formación, con base en cuatro dimensiones: Educación, Capacitación, Adiestramiento e Instrucción [12].

Uno de los aspectos novedosos del presente trabajo, consistió en el método para determinar las necesidades de capacitación, ya que no fueron establecidas como resultado de la aplicación del instrumento de Diagnóstico de Competencia Organizacional (DCO); sino como un proceso de autodiagnóstico individual a partir de un ejercicio autoreflexivo, desde la experiencia y autopercepción de los supervisores participantes.

Los porcentajes de las necesidades de formación, se establecieron, considerando la información presentada en la matriz de congruencia de la Tabla 1; cuyas necesidades de formación, se calculan sobre las 30 funciones específicas [8] incluidas en el autodiagnóstico.

Los porcentajes de formación para cada dimensión, están en función del número de ítems que contiene cada una de ellas; Educación [7 ítems] = 23.3 %, Capacitación [7 ítems] = 23.3 %, Adiestramiento [8 ítems] = 26.6 % y, finalmente la Instrucción [8 ítems] = 26.6 %, lo que suma el 100 % de las necesidades de formación.

Para establecer las necesidades de formación que requieren los supervisores, se determina el diferencial entre el porcentaje asignado teóricamente a cada dimensión, contra el porcentaje obtenido de las respuestas del instrumento del autodiagnóstico.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 1. Matriz de congruencia modelo ECAI. Por cuestiones de espacio en este documento, sólo se presentan de manera resumida las descripciones de las funciones específicas; para las descripciones completas, pueden consultarse en SEV (2022).

Funciones Específicas	Educación	Capacitación	Adiestramiento	Instrucción
Revisar cambios en educación			x	
Buscar innovaciones en educación			x	
Informar sobres las innovaciones				x
Trabajar con enfoque humanista		x		
Fortalecer función supervisora		x		
Privilegiar necesidades de alumnos	x			
Promover el servicio educativo	x			
Asegurar servicio equidad e inclusión	x			
Favorecer una educación integral		x		
Atender las disposiciones de la DGEFE				x
Asegurar al cumplimiento disposiciones				x
Verificar cumplimiento de las funciones		x		
Controlar funciones en personal docente		x		
Diseñar estrategias de fluidez de info.				x
Atender dudas e inquietudes que surgen			x	
Mantener comunicación asertiva				x
Crear comunidades de aprendizaje	x			
Vincular Supervisiones-gobierno			x	
Vincular supervisores-ONG			x	
Mantener comunicación con Inspección				x
Comunicación con autoridad escolar				x
Comunicación con comunidad escolar				x
Apoyar procesos técnico pedagógicos		x		
Trabajo colaborativo actores principales		x		
Fomentar cultura de mejora aprendizaje	x			
Promover la importancia de Educ. Fís.	x			
Seguimiento a solicitudes de materiales			x	
Seguimiento sol. técnico-pedagógicas			x	
Apoyar que el personal logre excelencia			x	
Orientar mejora de servicios educativos	x			
Totales	**7**	**7**	**8**	**8**

Metodología

El tipo de investigación, es exploratoria, pasando al plano descriptivo y terminando como correlacional, el diseño del estudio es no experimental, puesto que no se hizo manipulación alguna de las variables del estudio. Dado que los datos se recabaron en un solo momento, se considera transversal [13]. Los sujetos de estudio fueron en total tres inspectores y quince supervisores de la DGEFE asistentes a la reunión de trabajo.

Para acotar el problema de investigación, se hicieron tres preguntas:

1. ¿Cuál es el estilo de liderazgo de los mandos medios de la DGEFE?
2. ¿Existe relación entre el estilo de liderazgo y la función que desempeña el personal de supervisión e inspección de la DGEFE?
3. ¿Cómo se auto percibe el personal de la DGEFE, para la realización de sus funciones?

Así mismo, con relación a la segunda pregunta de investigación, se plantearon dos hipótesis:

 ISSN: 2007 8102

Ho: No existe relación entre el estilo de liderazgo y la función que desempeña el personal de supervisión e inspección de la DGEFE.

Hi: Si existe relación entre el estilo de liderazgo y la función que desempeña el personal de supervisión e inspección de la DGEFE.

Materiales

Para establecer el tipo de liderazgo de los participantes, se recurrió al Test de estilos de liderazgo de Blake y Mouton [5], [6]; además, para conocer cómo se autoperciben los supervisores respecto a sus funciones, se diseñó y aplicó un cuestionario de 30 ítems; el diseño de dicho instrumento se hizo con base en los indicadores de las dimensiones del perfil profesional del supervisor [2].

Sin duda alguna, el liderazgo resulta esencial para alcanzar los objetivos organizacionales; pero también es imprescindible conocer las necesidades que tiene el personal de la misma, pues, en la medida que pueda aumentar la satisfacción laboral de los colaboradores, también se incrementará su potencial para trabajar y ello repercutirá positivamente en la situación de la organización [14].

Resultados y discusión

Primeros resultados

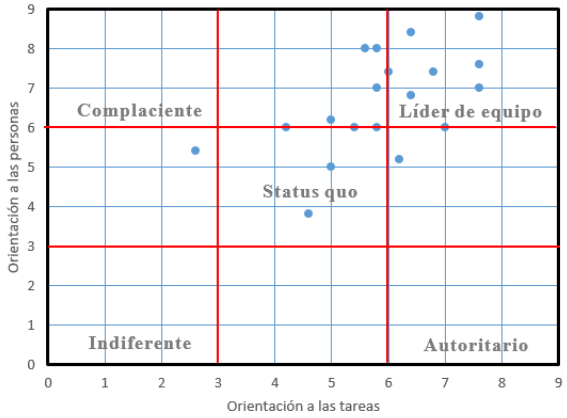
El instrumento de autodiagnóstico, contiene 30 planteamientos redactados en forma positiva; su escala de evaluación va desde 1, que representa el mínimo grado de acuerdo, hasta el 5, que corresponde al grado máximo de acuerdo. De los primeros resultados obtenidos, que dan respuesta a la primera pregunta de investigación: ¿Cuál es el estilo de liderazgo de los mandos medios de la DGEFE?

Los estilos de liderazgo identificados de los participantes, se indican en la Tabla 2; en la que puede observarse que aún quedan espacios de mejora, ya que no existe un solo colaborador que se encuentre en la casilla [9,9], que sería el estilo más deseable de liderazgo.

Lo anterior contribuye a justificar la aplicación de estrategias de formación, orientadas principalmente al fortalecimiento de la función del liderazgo en el equipo de supervisores, ya que como se ha establecido anteriormente, es un aspecto clave en el logro de los objetivos de las organizaciones.

La misma Tabla 2 permite determinar que, en su mayoría, los supervisores presentan una orientación hacia la gente más alta que la orientación hacia las tareas; lo que es relevante, porque es posible que, a través de un proceso de formación, se les pueda preparar para alcanzar mayor domino de las funciones de supervisión para beneficio de las comunidades a las que sirven.

Tabla 2. Estilos de liderazgo encontrados,
Adaptación del modelo de Blake y Mouton (1964)



 ISSN: 2007 8102

Es importante resaltar que adicionalmente, se realizó la prueba estadística para determinar el valor de correlación, entre las variables de orientación a las personas y la variable orientación a las tareas; dando un valor 0.57 en el coeficiente de Pearson, que indica una correlación alta.

La segunda pregunta de investigación ¿Existe relación entre el estilo de liderazgo y la función que desempeña el personal de supervisión e inspección de la DGEFE? Se responde mediante la prueba de las hipótesis planteadas; empleando la prueba de Chi cuadrado con base en la Matriz de contingencia de la Tabla 3.

Tabla 3. Matriz de contingencia.
Para el cálculo se consideró un margen de error del 5%

	Tipos de liderazgo			
Puesto	Indiferente	Autoritario	Country	Líder
Inspectores	1	0	0	2
Supervisores	1	0	3	11
totales	*2*	*0*	*3*	*13*

El valor calculado de Chi cuadrado fue X2 = 2.73

El valor correspondiente en las Tablas de Chi cuadrada, considerando el margen de error del 5%, fue de X2 = 7.8147; por lo que de acuerdo al diagrama de decisión de la Figura 1, nos lleva a aceptar H0 y a rechazar H1

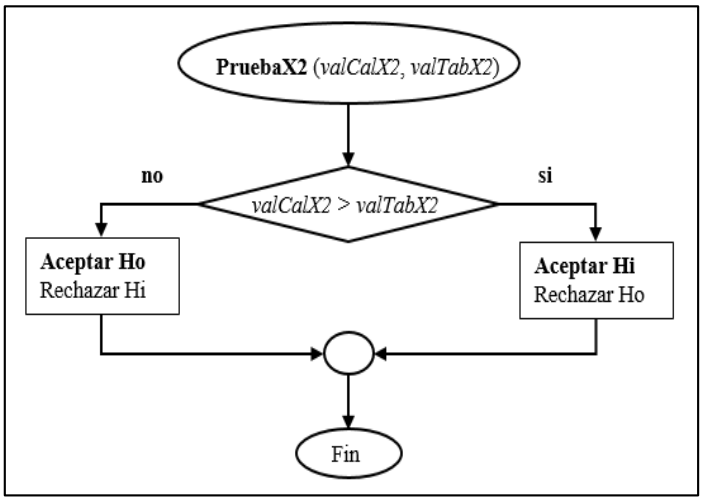


Figura 1. Diagrama de decisión para la prueba de Chi cuadrada

Ho: No existe relación entre el estilo de liderazgo y la función que, personal directivo de la DGEFE, desempeña
Hi: Si existe relación entre el estilo de liderazgo y la función que, personal directivo de la DGEFE, desempeña.

Segundos resultados

Finalmente, para dar respuesta a la tercera pregunta de investigación ¿Cómo se auto percibe el personal de la DGEFE, para la realización de sus funciones? Se procesaron las respuestas de los participantes, que se concentraron en la Tabla 4

Tabla 4. Necesidades de formación establecidas de acuerdo al Modelo ECAI

Estrategia	Indicador	Porcentaje Estimado	Puntaje Máximo	Puntaje Alcanzado	Porcentaje de Formación Requerido
Educación	7	23.3	35	28.8	22.63 %
Capacitación	7	23.3	35	29.0	21.90 %
Adiestramiento	8	26.7	40	30.5	34.67 %
Instrucción	8	26.7	40	34.4	20.80 %

 ISSN: 2007 8102

Los resultados de la Tabla 4, indican que el mayor porcentaje de formación para los supervisores se requiere en el Adiestramiento, que es la diferencia significativa entre máxima y alcanzada de las 4 estrategias; lo que indica que es la mayor debilidad autopercibida. Por lo que se requiere un 34.67 % de esfuerzo de formación.

En segundo lugar, se requiere el mismo porcentaje de esfuerzo de formación en Educación y Capacitación, dado que ambas dimensiones obtuvieron resultados similares cercanos al 22 %.

Finalmente, vemos en la Tabla 4 que la dimensión mejor autopercibida y por ello la que requiere menor esfuerzo de formación es la Instrucción, considerando un 20.80 % del 100 % de los esfuerzos de formación para los Supervisores.

Trabajo a futuro

Como trabajo futuro, queda pendiente realizar ante las autoridades de la DGEFE, las propuestas de formación para el personal participante en este proyecto y en caso de ser aceptadas, debiera llevarse el seguimiento correspondiente, que permita determinar el grado de efectividad que se alcance y realizar los ajustes pertinentes, si resultaran necesarios.

Para fines de la presente Investigación se Utilizaron los Perfiles, Parámetros e Indicadores de Servicio Profesional Docentes, por ello, para un futuro estudio se realizará la actualización del autodiagnóstico a Dominios, Criterios e Indicadores de USICAM [15].

Conclusiones

Se considera que los objetivos planteados para este trabajo, sí fueron alcanzados, ya que, como ha quedado plasmado, se logró dar respuesta a las tres preguntas que motivaron el desarrollo de la investigación.

A continuación, se exponen las aportaciones más relevantes de este trabajo de investigación:

1. Comprobar, a partir de los datos recabados, que no existe una asociación significativa entre los estilos del liderazgo y la función desempeñada.

2. Que, considerando el alto valor de correlación y su significancia estadística, entre las dimensiones del liderazgo de orientación hacia las personas y la orientación hacia las tareas, resulta conveniente trabajar en el desarrollo de la empatía del personal directivo de la DGEFE.

3. Con base en los resultados del autodiagnóstico, es posible establecer las estrategias más adecuadas para los procesos de formación del personal directivo de la DGEFE, logrando con ello, la optimización de los recursos necesarios para tal fin.

4. Los datos obtenidos, permiten confirmar lo que establece Calderón y Olivares (2014), quienes indica que los supervisores, carecen de formación para el ejercicio de sus puestos.

5. Se espera que supervisores líderes con sólida formación para el ejercicio de sus puestos, propicien mejor servicio a las autoridades escolares y profesores asignados a las escuelas que supervisan, todo ello para ofrecer mejores servicios educativos desde el área de la Educción Física a los NNA de Educación Básica de sus respectivas supervisiones.

Agradecimientos

Se extiende un agradecimiento amplio a la Dirección General de Educación Física Estatal de Veracruz, por habernos permitido participar en esta *ruta para el fortalecimiento de la función supervisora*, desde un enfoque estratégico, para lograr una aplicación más eficiente de sus recursos.

 ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] Calderón S. D. y Olivares M. J, “La supervisión de educación física a partir del liderazgo”, ALTAmira Revista Académica, Año 2, No. 6. /2014
[2] Guía Operativa para la Organización y Funcionamiento del Servicio de Educación Física Estatal. Secretaria de Educación de Veracruz. Subsecretaria de Educación Básica. Dirección General de Educación Física Estatal de Veracruz /2022
[3] Escudero S. D. “La educación física y su influencia en la formación integral del hombre para la vida”, efdeportes.com, Revista digital. Buenos Aires, Año 14. No. 131, 2009
[4] Bernate, J., Fonseca, I., & Babativa, H. “Revisión sistemática de las estrategias didácticas en la Educación Física para el desarrollo de habilidades motrices”. Ciencia y Deporte, 8(1). 2023
[5] Blake, R. y Mouton, J. “The Managerial Grid: The Key to Leadership Excellence”. Houston, TX: Gulf Publishing Company. 1964
[6] Price-Dowd, C. F. J. “Your leadership style: why understanding yourself matters”. BMJ Leader, 4(4). 2020
[7] Méndez Bravo, J.C & Méndez Bravo, M. A. “La influencia de la personaliad en los estilos de liderazgo”, INNOVA Reseachr Journal. Vol I, no. 12. pp 52-58. 2016
[8] SEP. “Perfil, parámetros e indicadores para personal con función directiva y de supervisión en educación básica”. Subsecretaría de Educación Básica. Subsecretaría de Planeación y Evaluación de Políticas Educativas. Coordinación Nacional del Servicio Profesional docente. 2017
[9] Omar, A. “Liderazgo transformador y satisfacción laboral: el rol de la confianza en el supervisor”, Liberabit, 17(2), 129-138. 2011
[10] Álvarez T. M. “El entrenamiento, fuente de crecimiento y desarrollo” documento consultado en línea el 2 de mayo de 2022, desde: https://www.grupoalbe.com/planeacion-estrategica-el-entrenamiento-fuente-de-crecimiento-y-desarrollo/, 2022
[11] Ramírez-Torres, W. “Análisis de la gestión del talento humano en el contexto empresarial actual: una revisión bibliográfica”. INNOVA Research Journal, vol 8, no. 2, pp. 83-106. 2023
[12] Luna Rojas, N.E y Sánchez romero, M.C. “Diagnóstico de competencia organizacional: su importancia para determinar áreas de oportunidad en una PYME y fomentar su desarrollo”, Journal CIM, vol 4. No. 1, pp. 120-126, 2016
[13] Hernández S. R., Fernández C. C. y Baptista L. P. “Metodología de la investigación”. (6ta.Ed). México, DF. McGraw-Hill. 2014
[14] Bravo, J. G., Irigoyen, J. Y., Alcorta, R. C. y Martínez, I. ¡Análisis de la satisfacción laboral percibida por los trabajadores pertenecientes al sector deportivo: una revisión sistemática”. RICAFD: Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, 11(2), 134-154, 2022
[15] SEP. “Marco para la excelencia en la enseñanza y la gestión escolar en la Educación Básica”. Subsecretaría de Educación Básica. Unidad del Sistema para la Carrera de las Maestras y los Maestros. 2020

ISSN: 2007 8102

Plan de ventas, estrategia para incrementar ingresos: caso de estudio microempresa recicladora de plástico

A.D. Hernández Vargas[1], M.L. Ruiz Tejeda[2], P.L. Tejeda Polo[3], E. Juárez Martiñón[4], A. Cabrera Ramírez [5]. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, alma.hv@teziutlan.tecnm.mx [1] , Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán maria.rt@teziutlan.tecnm.mx [2], Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, patricia.tp@teziutlan.tecnm.mx[3] edmundo.jm@teziutlan.tecnm.mx [4],Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico superior de Teziutlán, ariadna.cr@teziutlán.tecnm.mx [5].*

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Esta investigación presenta un estudio descriptivo y exploratorio sobre las estrategias que utiliza la empresa fabricante de esquineros de plástico reciclado para incrementar el valor de sus clientes y se reflejen en las ventas. Se propone un plan estratégico de ventas que contribuya a incrementar el volumen de ingresos, expandir el mercado y garantizar la permanencia en el mismo. Para ello se efectuó la recolección de la información a través del método descriptivo, mediante instrumentos de observación, encuesta y entrevista, primero a integrantes de la corporación y posteriormente a clientes con la finalidad que aporten información actualizada del entorno, a fin de establecer las estrategias idóneas del plan de ventas. Adicionalmente se elabora un presupuesto de ejecución, éste mostrará los resultados y reportará las utilidades ganadas, a la fecha de presentación de esta investigación se reporta un beneficio en aumento del 30%.
***Palabras clave**: plan de ventas, estrategias, clientes*

Abstract

This research presents a descriptive and exploratory study on the strategies used by the manufacturer of recycled plastic corners to increase the value of its customers and are reflected in sales. A strategic sales plan is proposed that contributes to increasing the volume of revenue, expanding the market and guaranteeing its permanence. For this, the information was collected through the descriptive method, through observation, survey and interview instruments, first to members of the corporation and later to customers in order to provide updated information on the environment, in order to establish the ideal strategies of the sales plan. Additionally, an execution budget is prepared, it will show the results and report the profits earned, at the date of presentation of this research an increase of 30% profit is reported.
***Key words**: : sales plan, strategies, customers*

Introducción

En un mundo globalizado los ingresos juegan un papel primordial en el economía, considerando que la industria y el comercio se han estancado, comenzando por la pandemia de SARS-CoV-2, siguiendo con la dificultad en el desplazamiento de los productos y terminando con la recesión económica.

La presente investigación tiene como propósito diseñar un plan de ventas que permita un adecuado direccionamiento hacia los objetivos que diseñan las empresas. Los clientes cada vez son más exigentes y la supervivencia de una empresa se refleja en la capacidad que debe poseer para adaptarse a la tendencias que se desarrollan en su entorno, y solventar las necesidades de los consumidores.

Los negocios enfrentan varios retos en el desarrollo de sus funciones, una de las principales es la entrada de nuevos proveedores y la falta de uso de los canales virtuales para promocionarse.

El diseño de un plan de ventas es importante, a decir de Hoyos [1] es la manera en que la empresa puede alcanzar las metas u objetivos establecidos (pronóstico de ventas). Para ello es importante diseñar estrategias y apoyarse con una fuerza de ventas que será el punto clave entre los clientes y la empresa.

ISSN: 2007 8102

El objetivo principal de un diseño de ventas y la creación de una área especializada en ventas, es desarrollar elementos tácticos y estratégicos tanto cuantitativos como cualitativos, con la finalidad de que la empresa logre sus márgenes de ventas y establezca un crecimiento dentro del mercado y al mismo tiempo fortalezca su estructura organizacional.

Metodología

Contexto y Antecedentes

La empresa Agro Procesos Reciclables SPR de RL de CV con domicilio Av. J. Ramiro Galván S/N, Barrio de San Diego, se creó el 17 de octubre de 2017, RFC: APR171025791, propiedad del Sr. Félix Nader Márquez, se dedica principalmente a la fabricación de esquineros de plástico utilizados por las industrias exportadoras de cítricos de Martínez de la Torre, Veracruz.

Anteriormente Don Félix Nader Márquez ya se dedicaba al ramo del plástico, comenzó fabricando botellas de plástico para el envase de refresco, posteriormente realizaba manguera de distintas medidas; elaboró marquetas de plástico para la industria cárnica y en un momento vislumbro la idea de esquineros de plástico aprovechando el material que tenía en desecho y que no quería que contaminara el medio ambiente.

Por múltiples factores, la empresa comenzó a ver que sus ingresos iban disminuyendo gradualmente, el análisis se presenta a continuación. Ver tabla 1.

Tabla 1. Ventas anuales de esquineros de plástico de la empresa Agro Procesos Reciclables SPR de RL de CV. Tomado/Adaptado de [2]

Ventas anuales	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ventas netas en pesos	6,451,550.00	5,234,500.00	5,232,280.00	4,144,362.00	3,214,833.00	1.646,500.00

Estudio diagnóstico

Como primera etapa se realiza una entrevista de profundidad a la empresa, a decir de Sampieri [3] su fundamento es una guía general de contenido y el entrevistador tiene la facultad de dirigirla, con la finalidad de detectar el problema en el rezago de ingresos en los últimos años, esto con el fin de crear un plan de ventas que maximice las mismas en un periodo de 6 meses. Se realiza el 13 de febrero del 2023 con 5 personas claves de los departamentos de administración, finanzas y producción. En los resultados obtenidos se encontró lo siguiente. Ver tabla 2

Tabla 2. Entrevista de profundidad a las áreas de administración, finanzas y producción. Tomado/Adaptado de [4]

Ítem	Pregunta	Análisis	Interpretación
1	Cuanto tiempo tiene organizando las ventas de esquineros de la empresa Agro Procesos	a) 10% de 0 a 2 años b) 30% 3 a 7 años c) 60% más de 7 años	La mayor parte del equipo (60%) de la empresa cuenta con más de 7 años de experiencia en el área de producción y ventas.
2	Asisten a curso o talleres para actualización de técnicas de ventas	a) 40% una vez al año b) 50% cada 6 meses c) nunca	El personal de la empresa se capacita (40%) pero no lo necesario para estar actualizado en el manejo de nuevas técnicas de mercadotecnia
3	¿Cuánta producción de esquineros desplaza en un mes actual?	a) 40% todas las medidas b) 50% de las medidas c) 15% medidas especiales	El personal se encuentra activo en lo que se refiere al desplazamiento del material (50%), pero es bajo en comparación con los periodos anteriores
4	¿Cuál es la capacidad máxima desplazada de esquineros en periodos anteriores?	a) 90% todas las medidas b) 50% de las medidas c) 40% medidas especiales	Si se comparara el desplazamiento del producto con el ítem anterior existe un reducción en la capacidad de 63% sobre la ventas anteriores
5	Actualmente cuales son los días que reparten material a los clientes	a) 100 % martes y jueves b) 0% lunes a sábado	Por la baja capacidad de desplazamiento las entregas solo son tres días a la semana, de martes a jueves

 ISSN: 2007 8102

6	Los cobros que realiza tienen alguna política de crédito	a) 100% b) 0%	La empresa maneja diferentes periodos de crédito, dependiendo de la antigüedad es de 1 mes, 15 días y 8 días
7	Considera que la si ubica una sucursal en la zona de venta, aumentaría los ingresos	a) 100% SI b) 0% NO	El 100% del personal involucrado considera que si existiera en un punto de venta en otro lugar sería factible desplazar más material, debido a que algunos clientes requieren menos de 1000 piezas y el coste se reduciría en fletes
8	¿Por qué medios se ha dado a conocer el material que distribuye la empresa?	a) 60% Cotizaciones y muestras físicas b) 80% Recomendación c) 10% Otros	Para el personal de Agro proceso, sus principales medios han sido la recomendación de los mismos clientes y no ha utilizado otros medios para la difusión de su producto
9	De la pregunta anterior, cual ha sido el que ha dado mejor resultado	a) 95% recomendación b) 5% cotizaciones c)0 % otros	Las recomendaciones han sido el punto fuerte de ventas, pero la debilidad se muestra en que no ha incursionado satisfactoriamente en otro medio de difusión para tener mayor desplazamiento.
10	Considera que se ha dado suficiente difusión a los medios para desplazar el esquinero	a) NO 85% b) SI 15%	Del total del personal cuestionado de Agro Procesos, aseguran que no han utilizado otros medios de difusión para ofertar el producto, otorgando una gran desventaja para la empresa y mayor ventaja a los competidores potenciales.
11	Si tuviera la oportunidad utilizaría las redes sociales para una mejora en las ventas	a) 100% SI b) 0%NO	El 100% de la población si utilizaría las redes sociales, aun cuando se usa el WhatsApp para comunicarse fácilmente con los clientes
12	¿Qué considera que le hace falta a la empresa para tener más clientes?	a) 100% mayor promoción del producto b) 100% suficiente publicidad c) 100% mejorar estrategias de ventas d) 100% vendedores capacitados	El total de la población está de acuerdo que para que haya un incremento de las ventas es necesario que existan las circunstancias adecuadas y que se implementen mejores estrategias de ventas.
13	¿ La empresa Agro procesos cuenta con una fuerza de ventas?	a) 0% SI b)100% NO	El 100% del personal encuestado argumenta que no cuenta con una fuerza de ventas
14	¿Cuál es el motivo por el que no cuenta con un fuerza de ventas?	a) 20% por desconocimiento b) 70% por falta de presupuesto c) 10% mala experiencia	Del total de los encuestados el 70% refiere a la falta de presupuesto para costear la fuerza de ventas, y esto va a encadenado a un ingreso mermado en el área correspondiente
15	¿Tiene conocimiento de qué manera puede contratar la fuerza de ventas?	a) 90% NO b) 10% SI	El 90% de la población de la empresa no tiene conocimiento de que forma puede contratar la fuerza de ventas

Esta entrevista fue de utilidad para detectar las áreas de oportunidad y poder diseñar las estrategias de ventas requeridas para el aumento de los ingresos en la empresa Agro Procesos Reciclables SPR de RL de CV.

Método de investigación

Se aplica a este estudio la investigación descriptiva y exploratoria, que a decir Mar [5] se trabaja sobre realidades de hecho y su característica principal de la de interpretar correctamente. Se utilizó el método descriptivo, al respecto Tamayo [6], establece que el enfoque se realiza sobre conclusiones dominantes de un grupo de personas, grupos o cosas.

El target fue la población de exportadores de limón persa de la región de Martínez de la Torre, Ver. Con las empresas que utilizan esquineros de plástico, consultando el Consejo Estatal Citrícola AC [7]. Para la investigación de mercados se utilizó el muestreo probabilístico aleatorio, recolectando datos, trabajando en campo y escritorio, creando un formulario en Google Forms, considerando un Focus Group de 162 personas, que contestaron el instrumento.

Resultados y discusión

Primeros resultados

 ISSN: 2007 8102

Posterior a la aplicación de la encuesta realizada en formularios Google, se analizaron los datos.

Los resultados mostraron que las 162 personas que representan el 100% de la población. En el ítem 3, están familiarizados con él uso de los embalajes, conocen a fondo el uso de esquineros de plástico. Ver Figura 1.



Figura 1. Personas encuestadas que tienes conocimiento sobre el embalaje. Tomado/Adaptado [4]

De acuerdo al ítem 6, de la población encuestada el 79% están dispuestos a utilizar los esquineros de otro proveedor que no es el actual, lo que significa que existe una oportunidad para desplazar el producto que se está ofertando. Ver figura 2.



Figura 2. Opción de cambio de proveedor. Tomado/Adaptado [4]

En la figura 3, se puede observar que el 62% de los encuestados prefieren la calidad del producto que se les mostro, en comparación con el esquinero actual que utilizan, ya que la competencia tiene menos calidad en cuanto el ancho y es muy duro, tanto que al apretar el pallet se no resiste y se rompe

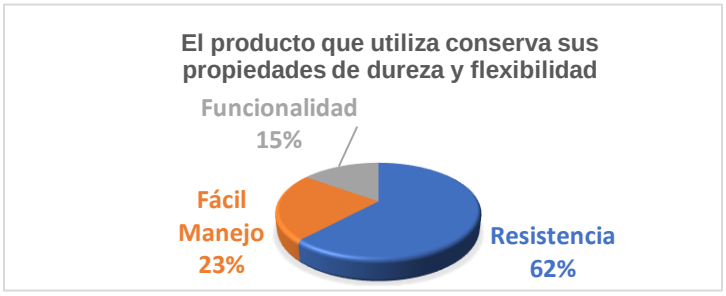


Figura 3. Calidad del producto ofertado. Tomado/Adaptado [4]

De acuerdo con los datos obtenidos, se puede observar que el 62% de los encuestados pudo corroborar que el precio del producto ofertado era menor en comparación al adquirido actualmente. Ver figura 4.



 ISSN: 2007 8102

Figura 4 Precio del producto. Tomado/Adaptado [4]

De acuerdo a los datos obtenidos el 50% de los encuestados comentaron que preferiría conocer nuestros productos por medio de redes sociales 50%, correo electrónico 30% e internet 20%

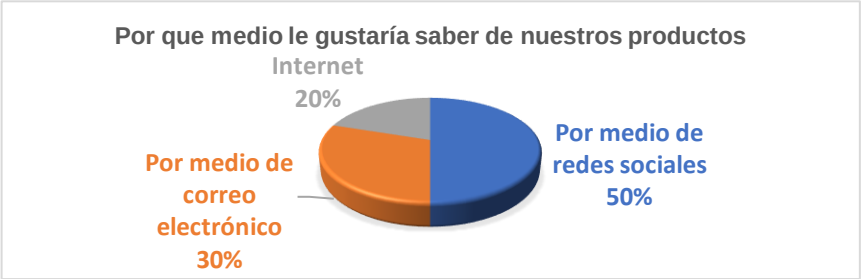


Figura 5. Publicidad del producto. Tomado/Adaptado [4]

Considerando y analizando todo lo anterior descrito, la empresa debe implementar una estrategia general motivacional que a decir de Benassini [8] “Es la fuerza que nos induce a la acción” para su posicionamiento en el mercado y que sea primordial y valiosa.

Segundos resultados

Después de este análisis se tomarán como referencia los resultados obtenidos para poder adoptar las estrategias que más convengan a la empresa, las cuales se establecen a continuación:

Las estrategias básicas estándar que propone Porter [9], y se a clasifican en: a) Liderazgo en el costo total, b) Diferenciación y c) Enfoque.

Se propone mediante su aplicación en el negocio que pertenece al sector segundario, establecerá sus ventajas competitivas en el mercado como objetivos estratégicos. Ver tabla 3

Tabla 3. Propuesta de estrategias genéricas de Porter. Fuente: Elaboración propia

Liderazgo de costos	Ser más baratos	Reducción de costos Precios competitivos Mayor participación en el mercado	Esto lo logra fácilmente la empresa, ya que al ser fabricante y no revendedor puede ajustar sus precios y mejorarlos contra la competencia.
Diferenciación	Ser los únicos	Producto único y original Preferencia del consumidor Consumidor asequible al precio	Se aplica a la empresa ya que ofrece el producto diferente a la competencias en cuanto a medidas y dimensiones, ya que puede fabricar las medidas adaptativas a cada cliente.
Segmentación	Ser los mejores	Atención a un segmento Especializado en un perfil	Se especializa en un segmento que es los exportadores de limón persa de la región.

Estas estrategias, pueden ser de gran ayuda para comenzar a incrementar los ingresos y aumentar con ello las utilidades necesarias para incrementar la infraestructura de la misma.

Para poder fijar y establecer claramente los objetivos estratégicos de la empresa, se formuló la matriz de expansión de productos/mercado, que a decir de Kotler & Armstrong, [10] es una herramienta de planeación de cartera utilizada para identificar los oportunidades de crecimiento en las organizaciones. Considerando lo anterior se analizó como se puede verificar en la tabla 4.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 4. Propuesta de estrategias de Kotler. Fuente: Elaboración propia

Penetración en el mercado	Refiere incrementar las ventas de productos actuales sin modificaciones en el producto.	Medida estándar del producto 1.80; 1.90 y 2 metros.	La empresa Agro Procesos Reciclables SPR de RL de CV; posee un buen posicionamiento en el mercado, pero no se ha expandido por desconocimiento respecto al área de marketing.
Desarrollo de mercados	Considera el crecimiento buscando identificar y desarrollar nuevos segmentos de mercado con el producto actual que maneja.	Medidas diversificadas acorde a las necesidades del cliente 0.94; 1.04; 2.20 y 2.40 metros	Buscar nuevos mercados con los empresarios de verduras en la región de Acatzingo y establecer una sucursal en la región de los exportadores de cítricos de limón persa, esto en corto plazo.
Desarrollo de productos.	Consiste en realizar nuevos productos o mejorar los existentes en el mercado actual	Tablas plásticas para uso rudo	La empresa cuenta con infraestructura necesaria para poder fabricar nuevos productos necesarios en el industria agrícola.

Analizado los datos anteriores es posible retomar fuerza en el mercado adoptando estas estrategias de manera consensual y asertiva con la alta dirección de la empresa.

Diseño de la estructura del departamento de ventas de la empresa Agro Procesos Reciclables SPR de RL de CV

Se propone estructurar al departamento de ventas con la integración de un supervisor de ventas, quien será el encargado de dirigir a los comisionistas, un asistente de ventas que será quien brinde apoyo al supervisor de ventas y a los comisionistas y por último a los comisionistas que serán los encargados de persuadir a los clientes potenciales.

Descripción de puestos

Se consideran los siguientes atributos para cada individuo participante en el plan de ventas, ver tabla 5

Tabla 5 descripción de puestos departamento de ventas. Tomado/Adaptado de gerencia de la empresa

SUPERVISOR DE VENTAS		COMISIONISTAS		ASISTENTE DE VENTAS	
Horario: lunes a viernes 8:00 am a 4.00 pm	**Riesgos**: Asaltos, siniestralidad, choques	**Horario**: Disposición de tiempo	**Riesgos:** Asaltos, siniestralidad, choques	**Horario**: lunes a sábado de 8.00 a 4.00 pm	**Riesgos:** Asaltos, siniestralidad, choques
Sueldo: $6,000 mensuales más 5% de comisión por venta	**Jefe Directo**: Señor X	**Sueldo**: del 10% al 12% sobre las ventas generadas	**Jefe Directo**: Supervisor de ventas	**Sueldo:** $5,000.00 mensuales	**Jefe Directo**: Supervisor de ventas
Línea de mando: director de la empresa	**Actividades**: Establecer la ruta de los vendedores Asignar actividades Proyección de ventas Supervisa el cumplimiento de las ventas y los objetivos	**Línea de mando**: Supervisor de ventas	**Actividades:** Responsable de la cartera de la zona Proyección de clientes Terminar negociaciones Atención al cliente	**Línea de mando**: Comisionistas	**Actividades**: Elaboración de reportes de las áreas vendidas Asignar actividades Seguimiento de ventas Enviar y recibir cotizaciones Apoyo administrativo
Responsabilidades:	**Funciones:**	Responsabilidades:	Funciones:	**Responsabilidades**:	Funciones:

 ISSN: 2007 8102

Ejecutar las metas de ventas establecidas Otorgar a los vendedores capacitación para las ventas Localizar a futuros clientes	Elaboración de reportes Evaluar ventas diarias Planificar estrategias comerciales	Ejecutar las metas de ventas establecidas Otorgar a los vendedores capacitación para las ventas Localizar a futuros clientes	Elaboración de reportes Evaluar ventas diarias Planificar estrategias comerciales	Seguimiento de nuevos clientes Elaboración de estimaciones e informes de ventas Canalizar atenciones de los clientes Programar pagos y cobros	Elaboración de reportes Evaluar ventas diarias Planificar estrategias comerciales

Perfil de puestos del departamento de ventas

Dentro de la estructura del departamento de ventas que se propone, se crean los perfiles de las personas colaboradoras. Ver tabla 6

Tabla 6. Perfil de puestos departamento de ventas. Tomado/Adaptado de gerencia de la empresa.

SUPERVISOR DE VENTAS		COMISIONISTAS		ASISTENTE DE VENTAS	
Jornada de trabajo: lunes a viernes 8:00 am a 4.00 pm, con disponibilidad de un sábado al mes	**Jefe directo**: director general de la empresa	**Jornada de trabajo**: Acorde a las necesidades de venta, con disponibilidad de un sábado al mes	**Jefe directo**: Supervisor de ventas	**Jornada de trabajo**: lunes a sábado 8:00 am a 4.00 pm	**Jefe directo**: Supervisor de ventas
Departamento: Ventas	**Lugar de trabajo:** Teziutlán, Puebla	**Departamento**: Ventas	**Lugar de trabajo:** Martínez de la Torre, Veracruz y Acatzingo, Puebla	**Departamento**: Ventas	**Lugar de trabajo:** Teziutlán, Puebla, Martínez de la Torre, Veracruz y Acatzingo, Puebla
Idioma: español	**Sexo**: Masculino, excelente presentación, edad de 28 a 45 años	**Idioma**: español	**Sexo**: Ambos sexos, excelente presentación, edad de 20 a 50 años	**Idioma**: español	**Sexo**: Ambos sexos, excelente presentación, edad de 25 a 40 años
Evaluación laboral: Reporte Mensual, Seguimiento de ventas	**Habilidades y Experiencias:** La persona propuesta para el perfil debe contar con: Facilidad de palabra y negociación Trabajo en equipo, por objetivos, y bajo presión Agrado por las ventas **Actividades** Liderar a los vendedores Elaboración de reportes Establecimiento de los objetivos de ventas Planificación de las rutas de ventas	**Evaluación laboral:** Diaria, seguimiento al cliente	**Habilidades y Experiencias:** La persona propuesta para el perfil debe contar con: Afinidad con las ventas Trabajo en campo actitud de servicio responsable Desarrollo y crecimiento pagos por comisión	**Evaluación laboral:** Mensual, seguimiento de clientes	**Habilidades y Experiencias:** La persona propuesta para e perfil debe contar con: Facilidad de palabra y negociación Trabajo en equipo, por objetivos manejo de personal **Actividades** Análisis numéricos Atención a clientes Seguimiento de cartera de clientes Acordar condiciones de crédito Asegurar la entrega del producto en tiempo y forma Atender cotizaciones

ISSN: 2007 8102

Políticas de ventas

Es necesario considerar las políticas internas y externas de la empresa, de acuerdo a las condiciones establecidas por la empresa Agro Procesos Reciclables SPR de RL de CV, las cuales se describen a continuación:

Política de ventas del departamento de ventas

- Todos los cobros que se efectúen deben ser vía transferencia electrónica (SPEI) o depósitos de cheques, y nunca en efectivo.
- Los descuentos solo se otorgarán si sobrepasa las 10,000 unidades en un porcentaje del 1%
- Las comisiones de venta solo se liquidarán cuando el pedido este entregado al cliente
- Los pagos en parcialidades serán en un máximo de 3 por pedido entregado
- Se entrega carta de garantía, ficha técnica e inocuidad del producto entregado

Políticas para clientes

- Solicitar pedidos mediante orden de compra con el número de esquineros y medida requerida
- Se otorgarán plazos de crédito a 15 días después de la tercera compra consecutiva
- Se solicitará la constancia de situación fiscal para la facturación
- Reposición del producto en caso de defectos de fabrica en un plazo no menor a un día después de la entrega en la planta del cliente.

Últimos resultados

Actualmente la empresa Agro procesos Reciclables SPR de RL de CV no cuenta una departamento de ventas, por lo tanto no tiene establecido un objetivo de ventas.
Analizando las ventas que ha tenido anteriormente, la empresa está vendiendo un 37% de su producción, lo que genera un ingreso de 1,646,400 en lugar de 3,135,000, lo cual se puede observar en la tabla 7.

Tabla 7. Presupuesto de ventas. Tomado/Adaptado de gerencia de la empresa

Medida en centímetros	Capacidad de producción	Vendidos	Capacidad utilizada	Costo	Ingreso promedio	Ingreso posible
180	120,000.00	45,000.00	32%	10.80	486,000.00	810,000.00
190	150,000.00	50,000.00	35%	11.40	570,000.00	741,000.00
200	50,000.00	24,000.00	17%	12.00	288,000.00	480,000.00
210	30,000.00	12,000.00	9%	13.20	158,400.00	528,000.00
240	30,000.00	10,000.00	7%	14.40	144,000.00	576,000.00
Total	380,000.00	141,000.00	37%		1,646,400.00	3,135,000.00

Con base en la información anterior se plantean objetivos a corto, mediano y largo plazo.
Corto plazo. Incrementar las ventas a un capacidad de 75% en un periodo de 3 meses
Mediano plazo. Una vez incrementadas la ventas en el 75%, conservar el porcentaje y en un plazo de 3 meses más, aumentar las ventas en un 90%
Largo plazo. Incrementar las medidas que se tienen estandarizadas en un 30% para poder captar más clientes en un plazo de 6 meses. Una vez establecido lo anterior mantener ese porcentaje un 80%, esto después de los 6 meses.
De cumplirse con los objetivos mencionados, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 8.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 8. Resultado de objetivos. Tomado/Adaptado de gerencia de la empresa

Concepto	Actual	Cuota mínima	Objetivos corto plazo	Objetivos mediano plazo	Objetivos largo plazo
Ingresos	1,646,400.00	1,728,720.00	2,881,200.00	3,128,160.00	3,276,336.00
Gastos anuales	1,294,000.00	1,294,000.00	1,294,000.00	1,294,000.00	1,294,000.00
Sueldos y comisiones	0	343,046.40	481,344.00	510,979.20	528,760.32
Ganancias	352,400.00	91,673.60	1,105,856.00	1,323,180.80	1,453,575.68

Proceso de ventas de los esquineros de plástico diversas medidas.

Pre contacto: El equipo de ventas analizara el mercado de Agro procesos Reciclables SPR de RL de CV, y clasificara los prospectos a los cuales visitara, considerando su potencial de consumo y los ordenara conforme la importancia.
Presentación: con la información recolectada el comisionista ofrecerá el producto, resaltando la importancia del producto en el proceso de embarque del cliente y creando expectativas positivas y de interés sobre el producto que oferta.
Atención: el comisionista buscara obtener el interés del cliente potencial, resaltando la importancia de su utilización en el embalaje de su producto
Interés: El comisionista presentara los argumentos de ventas que le sean útiles y los beneficios que reportara la adquisición de producto ofertado.
Convicción: El comisionista sustentara con argumentos reales la utilidad del esquinero en su proceso de embalaje y la comparación con la competencia, resaltado las características de valor del producto ofertado.
Deseo: El comisionista identificara los puntos de interés del cliente potencial y lo motivara a tomar la decisión de adquirir el producto ofertado.
Resolución: El comisionista deberá estar preparado para poder solventar todos las dudas del cliente potencial, derribando barreras de duda y definirá los detalles para que la compra se efectúe.
Cierre: El comisionista identifica el momento exacto en el que debe cerrar el trato y definirá los últimos detalles que permitan concretar la venta de esquineros.
Postventa: En este momento, en el cual la venta ya ha sido realizada, se dará seguimiento a la misma y el producto ofertado cumpla con los requisitos que exigió el cliente potencial, así mismo estará en contacto con él para ofrecerle el material en el momento que lo necesite.

Trabajo a futuro

La adecuada estructuración del departamento de ventas será de utilidad para mantener las metas establecidas, considerando en todo momento retroalimentar a los colaboradores para cubrir de forma asertiva las oportunidades presentadas y de esta manera, conservar el incremento esperado. De igual manera se buscará un profesional que diseñe las redes sociales de la empresa para un conocimiento visual de los productos en toda la República Mexicana.

Conclusiones

Hoy por hoy las empresas compiten entre sí para posicionarse en el mercado y mantener la preferencia de los clientes, por ello deben establecer estratégicamente la fuerza de ventas de manera objetiva.
La clave para lograrlo es construir una infraestructura de ventas que vigile las necesidades de la empresa y su flujo de ventas, de esta manera puede atraer a más clientes mediante la ventaja competitiva, la comunicación y la organización de su fuerza de ventas, planeando y dirigiendo adecuadamente las actividades de los vendedores por región para llegar a su objetivo.
Una tarea titánica es estructurar la fuerza de ventas de la empresa Agro Procesos Reciclables SPR de RL de CV, considerando que no es una labor sencilla, ya que de ello depende el aumento en las ventas, sin embargo, a la fecha de la presentación de este trabajo de investigación, las estrategias establecidas han dado frutos y se han incrementado las ventas en un 30%.

Referencias

[1] R. Hoyos, PLAN DE MARKETING. Diseño, implementación y control, Colombia: ECOE Ediciones, 2021.

[2] L. Báez, Interviewee, *Informe Anual de la empresa Agro Procesos Reciclables SPR de RL de CV.* [Entrevista]. 06 02 2023.

[3] R. M. C. Hernandez, Metodología de la Investigación. las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Séptima edición, México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2020.

[4] H. AD, L. Báez y M. B. I. &. G. P. Bravo, Interviewees, *Entrevista profundidad integrantes Agro Procesos Reciclables SPR de RL de CV.* [Entrevista]. 13 02 2023.

[5] C. Mar, A. Barbosa y J. Molar, Metodolología de la investigación. Métodos y técnicas, 2020: Patria eduación , México .

[6] M. Tamayo, El proceso de investigación científica. Quinta edicion, México: Grupo Editorial LIMUSA, SA DE CV, 2018.

[7] C. E. C. AC, «MexicoPymes,» Consejo Estatal Citrícola AC, 01 07 2010. [En línea]. Available: https://mexicopymes.com/info/consejo-estatal-citricola-B7C9ECBE066EA293. [Último acceso: 14 julio 2023].

[8] M. Benassini, Introducción a la INVESTIGACIÓN DE MERCADOS,, México: McGraw-Hill, 2020.

[9] M. Porter, Estrategia competitiva: Técnicas para el análisis de los sectores industriales y de la competencia. Cuadragésima cuarta edición, México: Grupo Editorial Patria, 2018.

[10] P. &. A. G. Kotler, Marketing. 17 edición, México: PEARSON EDUCACIÓN, MÉXICO, octava edición, 2018.

ISSN: 2007 8102

Optimización en el área de Corte para la reducción de tiempo de espera y costos

E. Covarrubias Ramírez[1], M. Gallegos López[1], D.F. Reynoso Hernández[1]*, J.M. Capetillo Gómez[1], *H.E. Rivera Cabrera[1]*

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de San Luis Potosí y elizabeth.cr@slp.tecnm.mx,*
[1]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de San Luis Potosí y martha.gl@slp.tecnm.mx,
[1]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de San Luis Potosí y dolores.rh@slp.tecnm.mx,
[1]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de San Luis Potosí y juan.cg2@slp.tecnm.mx,
[1]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de San Luis Potosí y L16180853@slp.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

El presente proyecto fue implementado en una empresa en la Ciudad de San Luis Potosí, que se dedica a la fabricación de piel para el recubrimiento de asientos, de volantes y palancas; como una propuesta de mejora continua para la reducción de tiempos de espera y costos, así como la optimización de recursos en el área de Corte, en los procesos de Troquelado, Inspección y principalmente Empaque, utilizando las metodologías y técnicas como: Poka Yoke, Gemba Walk, Balance de líneas y 5s; la problemática identificada corresponde a las pérdidas por costo de producción debido a los defectos ocasionados por doblez, propiciado por manipulación y apilamiento de pieles.

La propuesta contribuyó a optimizar los procesos en el diseño e implementación de una línea piloto de producción eficiente logrando reducir el tiempo, costos y defectos por doblez en las pieles, y de esta manera aumentar la productividad de la empresa.

Palabras clave: *Mejora Continua, Tiempo de Espera, Optimización de procesos.*

Abstract

This project was implemented in a company in the City of San Luis Potosí, which is dedicated to the manufacture of leather for covering seats, steering wheels and levers; as a proposal for continuous improvement for the reduction of waiting times and costs, as well as the optimization of resources in the Cutting area, in the processes of Stamping, Inspection and mainly Packaging, using methodologies and techniques such as: Poka Yoke, Gemba Walk, Line Balance and 5s; The identified problem corresponds to production cost losses due to defects caused by folding, caused by handling and stacking of skins.

The proposal contributed to optimize the processes in the design and implementation of an efficient production pilot line, managing to reduce time, costs and defects due to folding in the skins, and thus increase the productivity of the company.

Key words: *Continuous Improvement, Waiting Time, Process Optimization.*

Introducción

La Mejora Continua, parte fundamental para el logro empresarial en esta época de constante cambio, se concentra en buscar permanentemente la mejora de los procesos empleando una estricta disciplina en calidad, productividad, satisfacción del cliente, tiempos del ciclo y costos [1].

También, la mejora continua es un método por el cual las empresas realizan optimizaciones a pequeña escala de forma continua. Este proceso mejora la calidad de los productos, los procesos y los servicios a largo plazo, y que la calidad de los procesos y servicios suele optimizarse por sí sola cuando se organiza mejor el trabajo. Es por

eso que la limpieza y el orden son tan importantes: el caos lleva a cometer errores con más facilidad y a alargar innecesariamente el tiempo dedicado a cada tarea [2].

Por otra parte, Hernández y Vizán [3] establece que, el desperdicio por tiempo de espera es el tiempo perdido como resultado de una secuencia de trabajo o un proceso ineficiente. Los procesos mal diseñados pueden provocar que unos operarios permanezcan parados mientras otros están saturados de trabajo. Por ello, es preciso estudiar concienzudamente cómo reducir o eliminar el tiempo perdido durante el proceso de fabricación.
Características:

- El operario espera a que la máquina termine.
- Exceso de colas de material dentro del proceso.
- Paradas no planificadas.
- Tiempo para ejecutar otras tareas indirectas.
- Tiempo para ejecutar reproceso.
- La máquina espera a que el operario acabe una tarea pendiente.
- Un operario espera a otro operario.

Los métodos para optimizar las características de productos y procesos y reducir la variabilidad de éstos son esenciales para la obtención del objetivo de incremento de productividad. La optimización de las características de calidad supone una mayor uniformidad de los productos en todas las etapas y menos paradas de las instalaciones productivas por problemas debidos a materia prima o en proceso [4].

La optimización de procesos, se trata de un conjunto de actividades destinadas a aumentar la productividad del sistema, así como mejorar las distintas fases y técnicas. Puede utilizarse en la mayoría de las operaciones de fabricación para casi cualquier proceso de producción con el fin de lograr una mayor eficiencia tanto en el producto final como en todas sus etapas [5].

También menciona, que el objetivo es producir grandes resultados, con la mayor calidad posible, utilizando la menor cantidad posible de recursos, incluidos el tiempo. En este aspecto, la optimización de procesos suele incluir la eliminación de pasos innecesarios y la introducción de innovaciones.

En la empresa se fabrican pieles para el recubrimiento de asientos, volantes y palancas. En el área de Corte se realizan los siguientes procesos: *Marcación de defectos*, que se encarga de marcar los defectos que tiene la piel para enseguida pasarla a *Marcación de Patrones* donde por medio de plantillas las operadoras van marcando patrones de piezas sacando el máximo aprovechamiento a la piel y evitando las áreas donde hay defectos anteriormente marcados, el siguiente paso consiste en el *Troquelado* donde su labor es cortar las piezas con los patrones marcados por medio de suajes para pasarlos a *Inspección* donde su objetivo es verificar que la pieza vaya en óptimas condiciones, y de no hacerlo así, las piezas con defectos (doblez, sarna, fisura, pigmentación, rasguños, entre otros) moverlas a otro lado, y el último proceso es el de *Empaque* que consiste en contar las piezas para separarlas, guardarlas en cajas y trasladarlas al siguiente proceso.

Los procesos en los que se desarrolló este proyecto son: Troquelado, Inspección y Empaque; porque la principal problemática identificada fueron los defectos por doblez, provocado por la manipulación y apilamiento de pieles; así como el tiempo de espera que tiene la operadora en el proceso de empaque debido a la espera de material.

Con el fin de subsanar dicha problemática, y buscando siempre la mejora continua, se propuso optimizar los procesos a través del diseño e implementación de línea piloto de producción en el área de Corte, identificando las actividades y recursos necesarios para su realización, logrando balancear los tiempos y reducir los costos de operación. Es importante mencionar, que el porcentaje de defectos que se presentaban era del 0.06% y se logró disminuir el porcentaje a 0.02%.

Para lograr el objetivo planteado se utilizaron diversas técnicas y metodologías Poka Yoke, Gemba Walk, Balance de Tiempos, 5s y Tiempos y Movimientos, lo que permitió aumentar la productividad de la empresa y disminuir sus costos.

 ISSN: 2007 8102

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el proyecto planteado se utilizó la metodología que consta de las siguientes etapas mostradas en la figura 1:

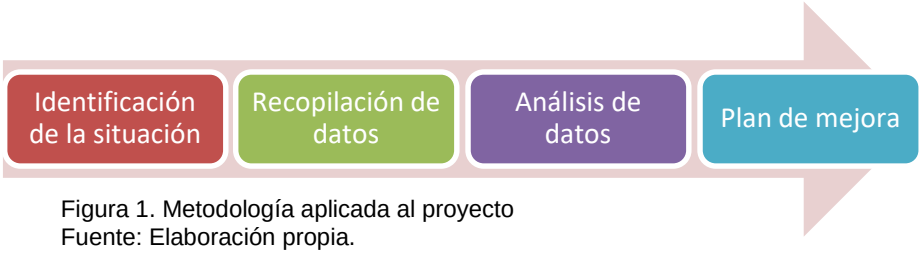


Figura 1. Metodología aplicada al proyecto
Fuente: Elaboración propia.

Identificación de la situación

Esta actividad consistió en identificar los procesos del área de Corte. En la figura 2 se muestra la distribución del Layout anterior donde se desarrolló el proyecto que contaba con 12 personas operativas.

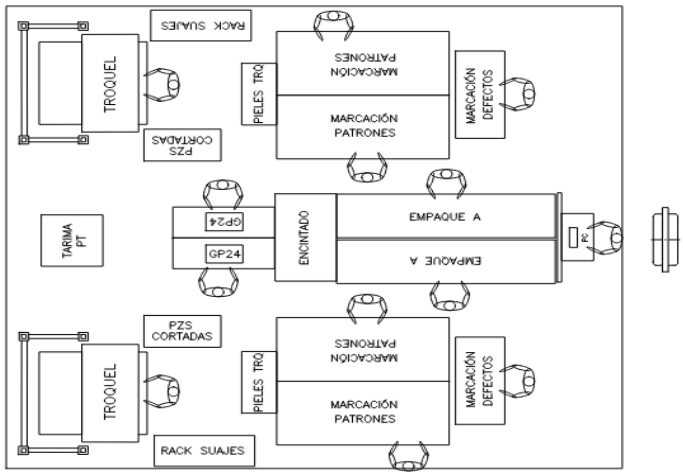


Figura 2. Layout anterior.
Fuente: Empresa.

En seguida, se describen brevemente las actividades de cada proceso:

Marcación de defectos
En este proceso se toma la piel anteriormente tratada y se monta en una máquina llamada marcadora de defectos, la cual tiene una iluminación adecuada para que se resalten los defectos que puede tener la piel y marcarlos.
Marcación de patrones
Este proceso consiste en acomodar la piel antes marcada con los defectos en una mesa, en la cual la labor principal del operador consiste en marcar las piezas que se van a utilizar por medio de plantillas las cuales tienen los patrones correspondientes.
Troquelado
Con la piel ya marcada con patrones en el proceso anterior, el operario que está en la máquina troqueladora extiende sobre la MDF (una madera corrediza) la piel para enseguida alinear un suaje con el patrón.
Inspección
Este proceso consiste en inspeccionar las piezas que el troquelador le entrega y verifica que las piezas no tengan defectos. En caso de tener defectos se acomodan en otro espacio.
Empaque
El último proceso del área de Corte, consiste en que las piezas que terminan el proceso anterior que es de Inspección se las entregan y se colocan en una mesa, en donde las piezas no van separadas ni en orden por

 ISSN: 2007 8102

número de pieza por lo que el empacador tiene primero que separar las piezas y acomodarlas para enseguida colocarlas en otra mesa donde hay un mapa de piezas, que es donde las van acumulando.

Dicho proceso actualmente tiene defectos principalmente doblez, debido a la misma acumulación de las piezas por diferente modelo, ya que al ser de diferente tamaño algunas de ellas por el peso suelen quedar dobladas o se marca la diferencia de tamaños por medio del doblez.
Se tienen dos empacadores, de los cuales entre los dos empacan los dos lados de las líneas espejo, y por lo tanto tienen tiempo de espera de materiales y se pierde también tiempo al separar las piezas, por lo que el punto principal de este proyecto es atacar ese tiempo de espera que tienen para convertirlo en tiempo productivo.

Recopilación de datos (Toma de tiempos)

Se realizó la toma de tiempos en el proceso de empaque, en donde se efectuó con tiempos cíclicos con una muestra fue de cinco personas, con dicha toma de tiempos se hizo un promedio en cuanto a las actividades que se realizaban dentro del proceso y se dividió por tres colores como se muestra figura 3, el color verde representa el tiempo operativo, el rojo el tiempo de espera y el azul que es tiempo adicional que no aporta valor a la operación, sin embargo es una actividad que se tiene que realizar.

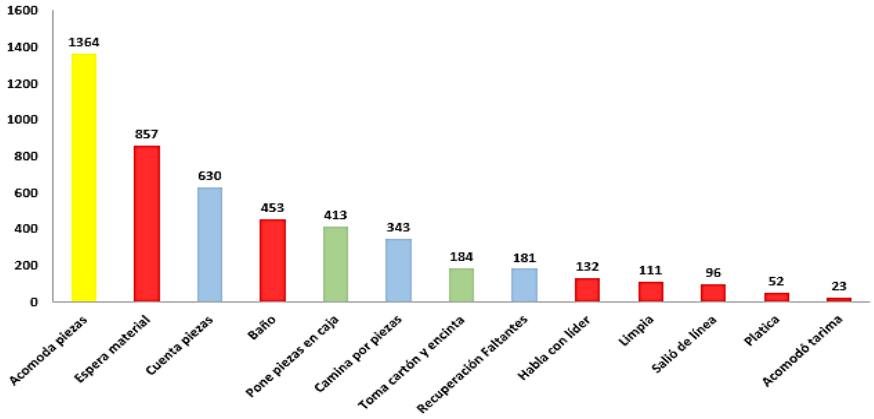


Figura 3. Variables toma de tiempos actual.
Fuente: Elaboración propia.

Análisis de datos

En el análisis obtenido por medio del gráfico se puede apreciar los criterios donde se ocupa el mayor porcentaje de tiempo en el proceso de empaque, entre ellos está el acomodo de piezas, la espera de material y el conteo de piezas; el acomodo de piezas por su parte se resaltó en amarillo porque es un tiempo muerto que no agrega valor y es un punto crítico, debido a que no sólo acomoda piezas, también se tienen que separar, ya que vienen todas mezcladas del proceso anterior.
Como se muestra en la figura 4, actualmente en el área de empaque el tiempo de espera o actividades que no agregan valor es de un 64% con las variables anteriormente mencionadas, un 24% del tiempo ocupado consiste en actividades adicionales o complementarias, que no agregan valor al producto, sin embargo, se tienen que realizar y solo un 12% del tiempo consiste en el tiempo operativo que realiza la persona, y que se busca elevar a un 70%.

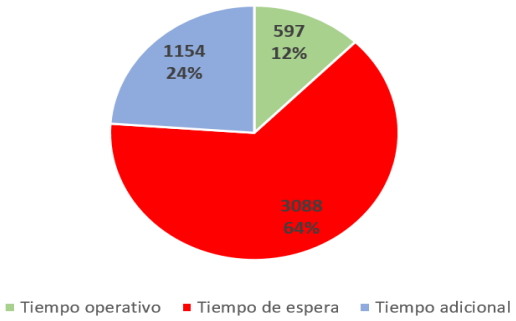


Figura 4. Toma de tiempos.
Fuente: Elaboración propia.

 ISSN: 2007 8102

Otros datos que se recopilaron en el área de Corte, fueron los diferentes tipos de defectos como son: doblez por manipulación, fisura, pigmentación, rasguño y sarna, mismos que se obtuvieron de un total de 337 piezas con defectos, de las cuales se encontró que el mayor número de defectos se presentaron en el Doblez por manipulación, mostrados en la figura 5. En el análisis encontrado el porcentaje que presentaba dicho defecto era de un 0.06 %, el cual se puede detectar en el proceso de inspección.

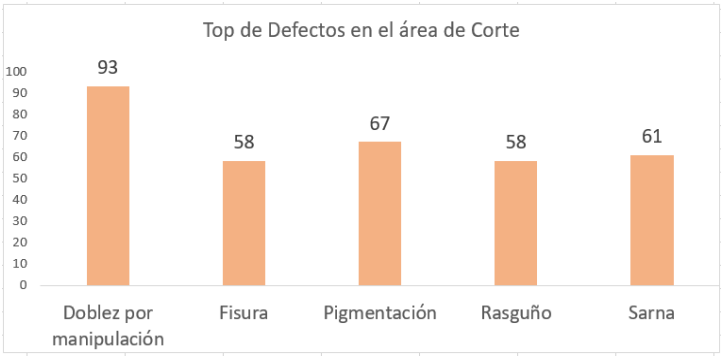


Figura 5. Top de Defectos en el área de Corte.
Fuente: Elaboración propia.

Con el apoyo del diagrama de espagueti, que es la representación de los movimientos de los operarios dentro de su puesto de trabajo, como lo indica PDCA Home en su portal [6], se identificó el recorrido que realizaban las dos personas de Empaque durante el proceso, encontrando que hacían recorridos innecesarios; la persona de marcación de defectos no contaba con el material a la mano, por lo que realiza más movimientos durante el turno para recoger la piel, mostrado en la figura 6.

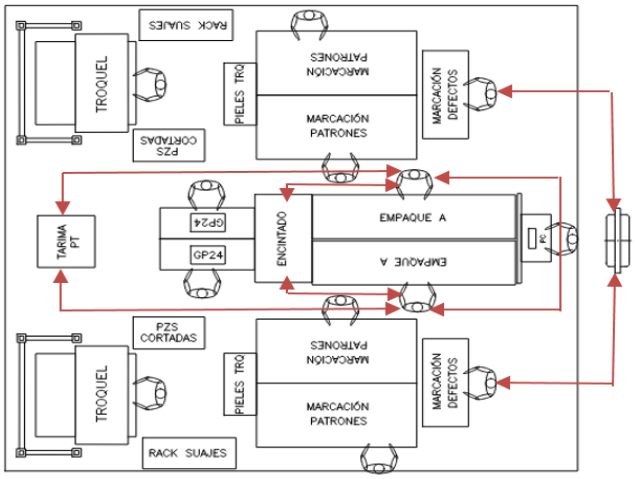


Figura 6. Diagrama de espagueti
Fuente: Elaboración propia.

Plan de mejora

Con el apoyo de las metodologías y técnicas aplicadas en este proyecto y que se mencionan a continuación, se logró diseñar e implementar una línea piloto de producción en el área de Corte que sea eficiente para aumentar la productividad de la empresa:

Poka yoke
Este método se basa en la seguridad incorporada para reducir los defectos a cero. La clave de este método es resaltar los problemas en el momento que ocurren para no permitir que los errores y descuidos se cuelen. Los procesos están diseñados alrededor de este principio para que sean más efectivos y ayuden a tu negocio a reducir costos, desperdicios y chatarra [7].

Gemba Walk
Es un recorrido para observar y preguntar a los empleados sobre sus tareas con el fin de identificar algunos problemas y aumentar ganancias y productividad. La palabra proviene de la palabra japonesa «Gemba» o «Gembutsu» que significa «el lugar real» y se refiere al acto de ver lo que realmente sucede en tu negocio. Gemba walk es un método simple pero poderoso realizado por gerentes y líderes para promover la optimización continua de los diversos procesos en sus negocios [8].

El método 5s
Se basan en gestionar de forma sistemática los elementos y materiales de un área de trabajo específica de acuerdo con cinco etapas preestablecidas, las cuales son conceptualmente muy sencillas, pero que demandan esfuerzo, monitoreo constante y perseverancia para mantenerlas. Las cinco etapas de las 5s son: SEIRI

ISSN: 2007 8102

(Separar), SEITON (Ordenar), SEISO (Limpiar), SEIKETSU (Estandarizar / Comunicar) y SHITSUKE (Respetar) [7]

Balance de línea
Consiste en que todas las estaciones de trabajo tengan en promedio el mismo tiempo del ciclo, o hacer que se acerque lo más posible [9].

Dichos métodos y técnicas se aplicaron e implementaron en este proyecto como parte del plan de mejora continua de la empresa. A continuación, se explican las actividades más importantes que se realizaron:

Movimiento máquina inspección
Consistió en recorrer la prensa de presión, ya que se encontraba en la parte de en medio y la persona a cargo de esa operación tenía que extender el brazo para poder dejar las piezas inspeccionadas en la mesa o en lugar de eso tenían que caminar a dejarlas; por otro lado, no se tenía espacio a los costados por lo que las piezas que iba a inspeccionar estaban apiladas en pequeños espacios, que no eran los óptimos y ocasionaban los dobleces.
El cambio realizado fue colocar la prensa a la orilla pegada a la mesa donde se entregan las piezas y con eso la persona ya no tiene que extender la mano y por consiguiente tiene espacio para colocar piezas a inspeccionar.

Carpeta de plantillas
En el proceso de inspección se utilizan unas plantillas las cuales ayudan para verificar que la pieza este correcta cuando es difícil identificarlo por sí sola, dichas plantillas anteriormente no tenían un lugar asignado por lo que no las tenían a la mano, o estaban estorbando, por lo que se perdían o se maltrataban. Para remediar esa situación se elaboraron unas carpetas donde se pueden colocar de manera ordenada lo que facilita su uso.

Mesa inspección final
Anteriormente no había como tal una mesa donde la persona de inspección pusiera las piezas ya inspeccionadas para que la persona de empaque la tomara e hiciera su proceso, y por otro lado las piezas iban todas mezcladas sin importar el modelo, por lo tanto, la persona de empaque tenía que separar las piezas una por una para después acomodarlas en el mapa de piezas lo cual le ocupaba una gran cantidad de tiempo ya que son 10 números de partes distintas.
La mejora que se realizó consistió en colocar dos mesas de inspección, una por cada lado, con el objetivo de que la inspectora tenga donde colocar las piezas que ya terminó para no entregarlas todas mezcladas, dado que la mesa tiene una guía de donde debe ir cada una de las piezas para que la persona de empaque ya solo realice el conteo de piezas y las coloque en el mapa, con esto se reduce el tiempo que se perdía por la separación de ellas.

Separación de las mesas de Empaque
Esta actividad fue la más esencial ya que fue la que permitió la reducción de personal y agregado a eso se fueron realizado las demás actividades y mejoras.
Anteriormente se tenía una mesa de empaque completa en la cual las dos personas que se encargaban del proceso tenían que rodear toda la mesa para poder acomodar las piezas o en su caso se dividían la mitad y la mitad, lo cual ocasionaba que tuvieran considerablemente una gran cantidad de tiempo muerto, la cual utilizaban para platicar o salir del área y esta actividad no aumentaba valor al producto.
La actividad que se realizó para contrarrestar dicho problema consiste en la separación de la mesa de empaque junto al mapa de piezas, esto con el fin de poder separarlas y dejar un espacio entre ellas para que una sola persona pueda deslizarse de manera lineal sobre el área para poder estar a cargo de los dos lados del mapa de piezas.

 ISSN: 2007 8102

Con los cambios realizados se tiene una mejora en el flujo, ya que la persona de empaque solo camina de manera lineal sin tener que rodear la mesa y las piezas ya separadas con anterioridad se pueden tomar con facilidad desde el espacio establecido, se hizo un balance tanto de tiempos como de actividades en las cuales las actividades tanto de la empacadora como de la inspectora son de manera que no ejerza un cambio negativo en el tack time.
Se colocó un tapete a lo largo del área para que la persona no tenga problemas con la caminata que realizará durante el turno.
La salida de material terminado para llevarlo a la siguiente área será por el frente, para lo cual tiene facilidad de acceso desde el punto donde estará laborando. El resultado se muestra en la figura 7.

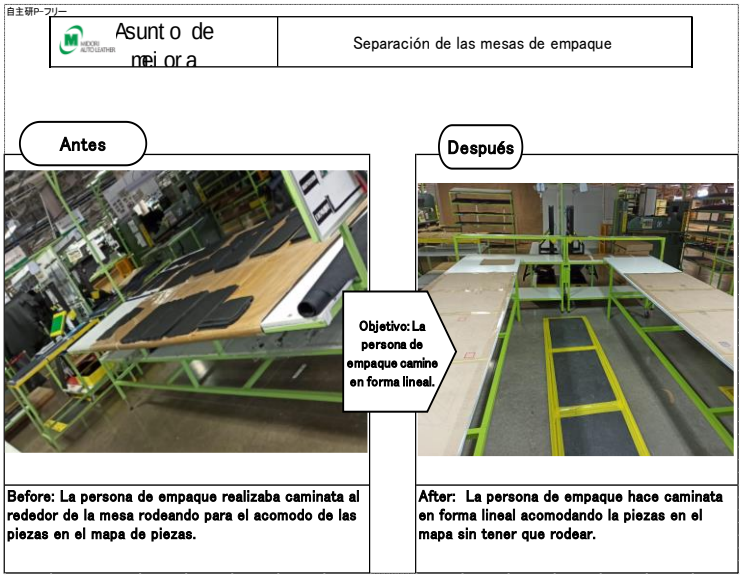


Figura 7. Antes y Después separación de las mesas de empaque.
Fuente: Elaboración propia.

Poka Yoke

Anteriormente el número de parte mostrado en la imagen conocido como camarones por su forma, de los cuales hay dos números de partes distintos uno más grande que el otro, por lo que se ocupaba mucho tiempo separándolos y alineándolos para poder contarlos, ya que el troquelador los entregaba todos mezclados, la inspectora los checaba y entregaba de la misma manera; la mejora es que se realizó un poka-yoke el cual consiste en separar los camarones, primero en grandes y chicos y que era labor del troquelador, como segundo, la inspectora tiene que verificarlos y colocarlos en el lugar designado como se muestra en la imagen para que la persona de empaque ya solo los tome con facilidad, haga el conteo de ellos y los encinte evitando la pérdida de tiempo que se tenía anteriormente. Figura 8.

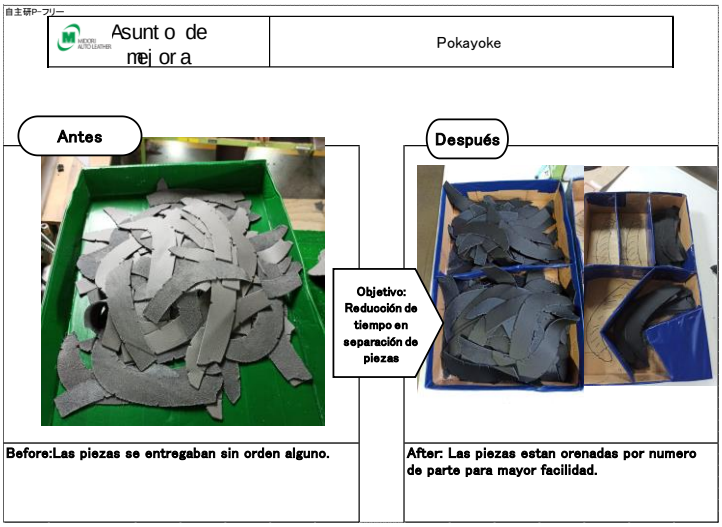


Figura 8. Antes y Después Poka Yoke.
Fuente: Elaboración propia.

Línea Piloto y Pruebas

Se realizó una línea piloto, mostrada en la Figura 9, la cual tenía todas las modificaciones y actividades antes mencionadas, esto con el fin de ponerla a prueba durante un tiempo para poder medir los beneficios que se obtuvieron tanto de defectos, como ver el funcionamiento de la línea con un solo operador, dicha prueba duro 3 semanas en las que se estuvo monitoreando y haciendo mejoras que se requerían en el momento, como por ejemplo ponerles encintadores o colocar tapetes ergonómicos para el personal.
El fin de tener una línea piloto, es poderla monitorear y el siguiente paso implementarla a las demás líneas para que todas tengan el mismo flujo de material, siempre y cuando sea el mismo modelo, los hallazgos obtenidos en la prueba se mostrarán en los resultados.

 ISSN: 2007 8102

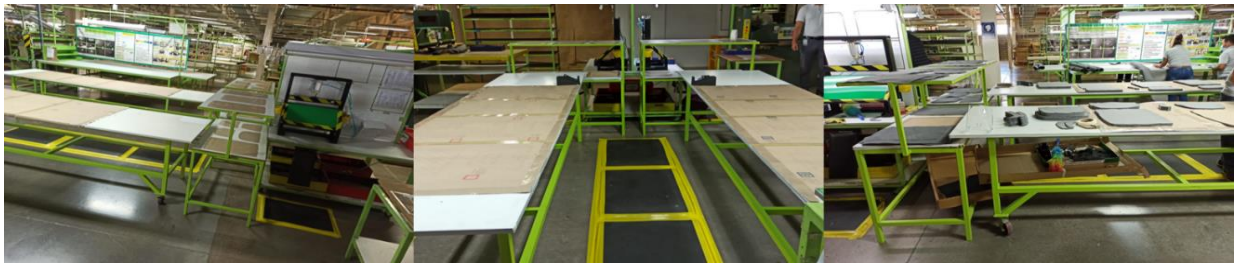


Figura 9. Línea piloto.
Fuente: Elaboración propia.

Gemba Walk

Al terminar las pruebas en la línea piloto lo que se realizó fue la actividad Gemba Walk, la cual consiste en una presentación en la misma línea que es de manera impresa y se coloca en un pizarrón donde se recopilan todos los datos importantes que queremos dar a conocer para que evalúen el proyecto. Entre los datos que se dieron a conocer está el top de defectos, los tiempos obtenidos con anterioridad, la propuesta que se realizó junto con los beneficios esperados; los demás datos posteados son información del proceso tanto del antes como el después de las pruebas. Se realizó la presentación a los directivos los cuales evaluaron el trabajo y retroalimentaron para solucionar los problemas identificados, Figura 10.



Figura 10. Presentación Gemba Walk.
Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

Una vez aplicados e implementados los métodos y las técnicas antes mencionadas para la propuesta de mejora, se procedió nuevamente a realizar la recolección y análisis de la toma de tiempos con el mismo número de muestras, las cuales se realizaron durante una semana y los resultados obtenidos de dicho análisis se presentan en la figura 11.

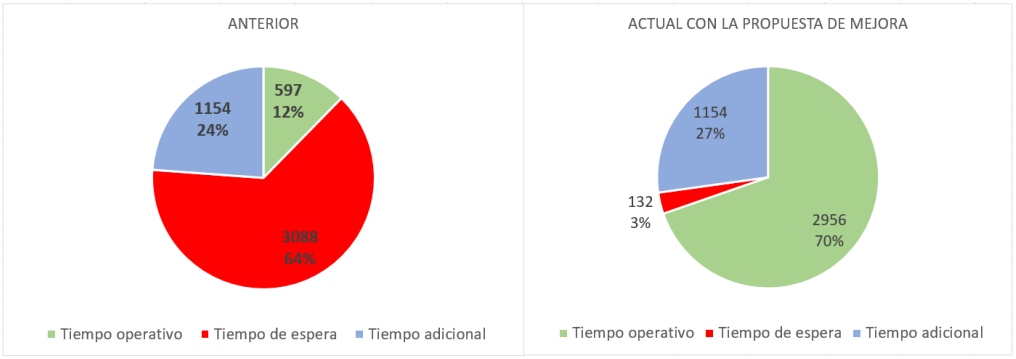


Figura 11. Comparativo de análisis anterior y actual.
Fuente: Elaboración propia.

El análisis de los datos obtenidos muestra la mejora en cuanto a tiempos que tiene el operador en el área de empaque tomando en cuenta que las actividades ya solo son realizadas por una persona en lugar de 2, anteriormente se tenía que un 64% era tiempo de espera, un 24% era tiempo adicional y un solo 12% era el tiempo operativo, a comparación de ahora que es un 70% de tiempo operativo, 27% de tiempo adicional y ahora solo un 3% es el tiempo espera que tiene el operador, con esto se mejora la productividad de la operación y asimismo la reducción de costos y de personal.

ISSN: 2007 8102

Balance de tiempos

Con base en las actividades que se le añadieron a la persona de empaque y a la de inspección se hizo un balance de tiempos donde se verificó que el tiempo añadido a cada una de las actividades no rebase el Take Time.

Anteriormente la persona de inspección tenía un tiempo ciclo de 4.2 segundos y con la actividad que se le agrego por la separación de piezas y acomodo en mesa se subió a un tiempo ciclo de 4.50 segundos el cual no rebasa el take time que es de 6 Segundos.

En cuanto al operador de empaque tenía con anterioridad un tiempo ciclo de 2.5 segundos, lo cual nos decía que la capacidad que tenía era sobrada, después de la reducción de una persona y asignar las actividades a solo una el tiempo ciclo se elevó considerablemente a 5 segundos, dicho incremento no rebasa el take time establecido de 6 segundos. Figura 12.

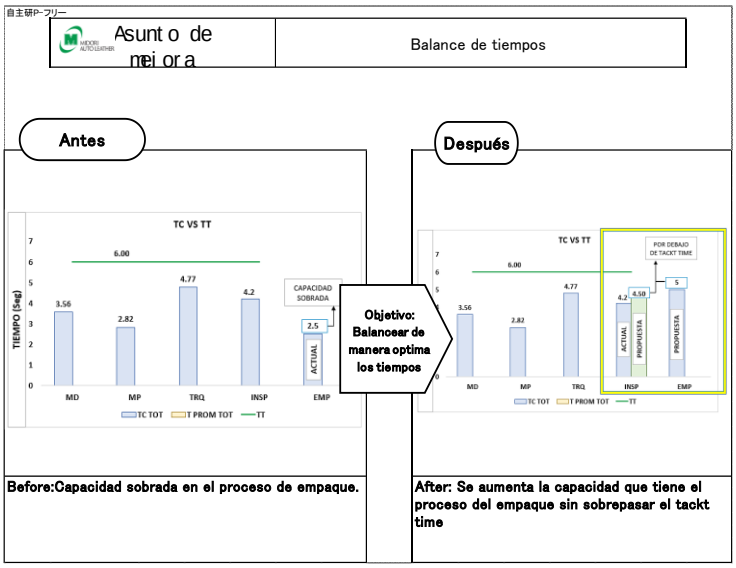


Figura 12. Antes y Después Balance de tiempos
Fuente: Elaboración propia.

Reducción de costo

En base a la reducción de una persona operativa en el proceso de Empaque se realizó un análisis de los costos que se tienen tanto mensual como anualmente donde la cantidad que se ahorra con esa reducción es de $933.17 dólares y con un ahorro anual de $11,198.00 dólares en total, que se muestra en la figura 13.

En cuanto a las piezas NG (material defectuoso) que se obtenían anteriormente en promedio se van a reducir un aproximado de 337 piezas con las nuevas mejoras.

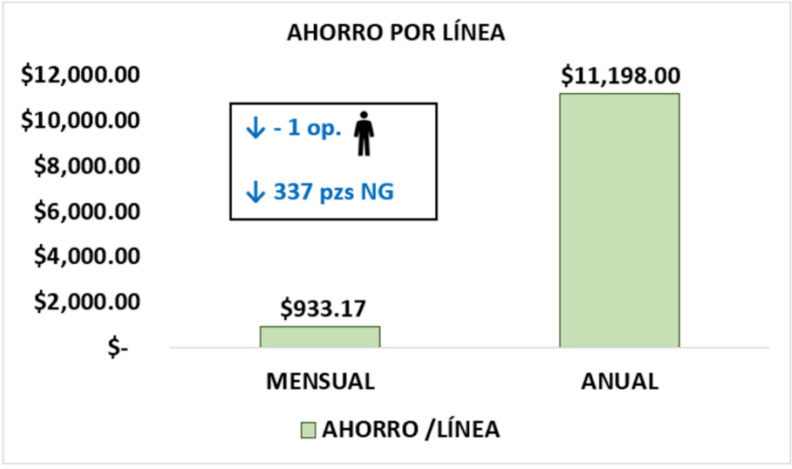


Figura 13. Gráfico de reducción de costos
Fuente: Elaboración propia.

Layout Actual

Se realizó un movimiento de layout con el cual se logró mejorar el flujo de material que se tenía anteriormente, porque realizaban una gran cantidad de caminatas durante el turno, lo que se modificó del layout anterior consiste en que, en donde la persona de marcación de defectos tomaba las pieles para meterlas al proceso, se colocó cerca de ella para que no tuviera que caminar hasta donde estaba anteriormente; la persona de inspección se acercó al troquel, con el fin de que no tuviera que caminar por las piezas terminadas. Otra mejora consiste en que ya están separadas las mesas de empaque. Por último, el producto terminado que antes acomodaba la empacadora y se encontraba a gran distancia para dejar las piezas, con la mejora, la tarima del producto terminado ahora se encuentra por la parte de enfrente, dando consigo mayor facilidad al empacador de dejar el producto terminado Figura 14.

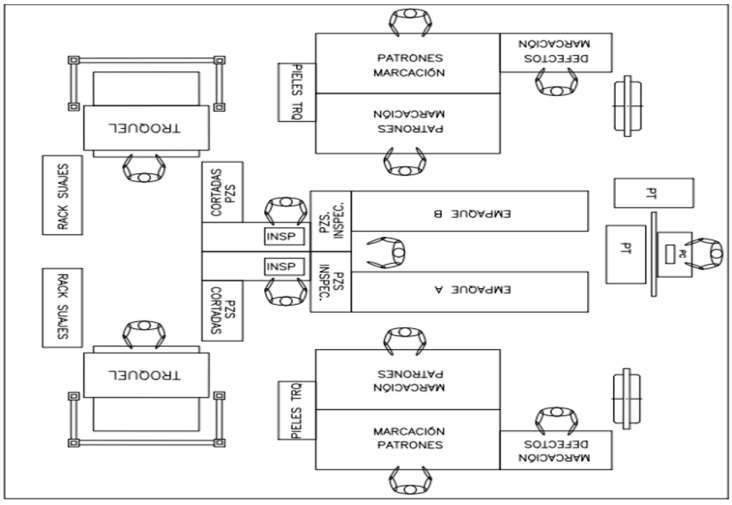


Figura 14. Layout actual.
Fuente: Elaboración propia.

Trabajo a futuro

Los resultados obtenidos generaron una línea piloto que mejoró el proceso de Empaque, la cual se está manejando de manera óptima; dicha línea en un futuro puede ser utilizada como guía para implementarse en modelos que se adecuen a las especificaciones del área de Corte.

Conclusiones

El propósito principal de este proyecto fue la implementación de una línea piloto aplicando la mejora continua, y que cumpla con las actividades a realizar de una manera idónea para reducir el tiempo de espera garantizando la eficiencia y eficacia en todo el proceso operativo del área de Corte.
Con el desarrollo de este proyecto los resultados obtenidos cumplieron con las expectativas de los directivos de la empresa, ya que se disminuyó el tiempo de espera de un 0.06% a un 0.02%, además los costos de personal se redujeron anualmente en $11,198.00 dólares.
Es importante que se conozcan y se apliquen las técnicas y metodologías para el control de procesos, ya que existe una gran variedad de ellas para la mejora continua.

Referencias

[1] J. C. Alarcón Gaviles, «Modelo de mejora continua basado en procesos y su impacto en la calidad de los servicios que perciben los clentes de la empresa de servicios ServiFreno de la ciudad de Quito-Ecuador,» Quito, Ecuador, 2017.

[2] S. G. IONOS, «La mejora continua: método para mejorar la calidad en tu empresa,» Startup Guide IONOS, 29 06 2020. [En línea]. Available: https://www.ionos.mx/startupguide/productividad/proceso-de-mejora-continua/. [Último acceso: 20 04 2023].

[3] J. C. Hernández Matías y A. Vizán Idoipe, Lean manufacturing. Concepto , técnicas e implantación, Madrid: EOI ESCUELA DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL, 2013.

[4] P. Figuera Vinué, Oprimización de productos y procesos industriales, Barcelona: Ediciones Gestión 2000, 2006.

[5] I. I. CONSULTING, «Optimización de procesos industriales,» INFINITIA INDUSTRIAL CONSULTING, 20 06 2022. [En línea]. Available: https://www.infinitiaresearch.com/noticias/optimizacion-de-procesos-industriales/#. [Último acceso: 8 05 2023].

[6] G. P. Home, «Cómo dibujar y qué es un diagrama de espagueti,» PDCA Home El portal de la gestión, calidad y mejora continua, 20 06 2013. [En línea]. Available: https://www.pdcahome.com/4726/como-dibujar-y-que-es-un-diagrama-de-espaghetti-o-spaghetti-chart/. [Último acceso: 20 05 2023].

[7] M. Fernández Gómez, Lean Manufacturing En Español: Cómo eliminar desperdicios e incrementar ganancias, Editorial Imagen, 2015.

[8] M. L. George, D. Rowlands, M. Price y J. Maxey, The Lean Six SIGMA Pocket Toolbook., McGraw-Hill Education, 2005.

[9] F. E. Meyers, Estudios de tiempos y movimientos para la manufactura ágil, México: Pearson Educación, 2000.

 ISSN: 2007 8102

Aplicación de un programa de mantenimiento de máquinas expendedoras tipo vending

O. Jiménez Estévez[1], C. H. Ocampo Ponce[2], C. I. Casique García[3], A. Gómez Cárdenas[4], G. A. Gamboa Vázquez[5],*
[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Cuautla, oscar.jimenez@cuautla.tecnm.mx
[2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Cuautla, celina.ocampo@cuautla.tecnm.mx
[3]Universidad Latina/Campus Cuautla, c.casique@unila.mx
[4]Tecnologico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Cuautla, angelica.gomez@cuautla.tecnm.mx
[5]Tecnologico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Cuautla, 15680339@cuautla.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

El siguiente trabajo muestra los resultados de la implementación de un programa de mantenimiento de máquinas expendedoras tipo vending como estrategia de soporte al área comercial, ya que se contaba con un alto índice de reportes generados por clientes que se quejaban de la gran problemática en el funcionamiento de los equipos expendedores, esto presentó una área de oportunidad ya que básicamente eran por falta de atención y mantenimientos en sus diversos sistemas. Dentro de las fallas a resolver se planteaban prioritariamente dos, la primera evitar pérdidas de producto a consecuencia de funcionamientos anormales de los equipos ya que esto representaba altos indicadores de alerta en el área, y por ende era necesario poner un alto a dicha problemática, y de esta forma salir de la zona de alerta de pérdidas.

***Palabras clave**: Mantenimiento, vending, telemetría, herramientas básicas de calidad.*

Abstract

The following work shows the results of the implementation of a maintenance program for vending machines as a support strategy for the commercial area, since there was a high rate of reports generated by customers who complained about the great problems in the operation. of the vending equipment, this presented an area of opportunity since they were basically due to lack of attention and maintenance in their various systems. Within the failures to be resolved, two were given priority, the first to avoid product losses as a result of abnormal operation of the equipment, since this represented high alert indicators in the area, and therefore it was necessary to put a stop to said problem, and in this way leave the loss alert zone

Key words: Maintenance, vending, telemetry, basic quality tools.
.

Introducción

Como menciona Juan Miguel Arencibia [1], el mantenimiento ha sido ampliamente desarrollado por muchos autores debido a la necesidad de conservar y mantener la maquinaria y los equipos sino todo aquello que dentro de su vida útil pueda deteriorarse. Hoy en día se define al mantenimiento como la función empresarial que por medio de sus actividades de control, predicción, revisión, mejoramiento y reparación, permiten garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de los equipos e instalaciones.

El mantenimiento de máquinas expendedoras forma parte de la vida diaria del sector, por lo que contar con un fabricante que te de fiabilidad y soporte es esencial. Como cualquier elemento electrónico o mecánico, es necesario realizar ajustes, reparaciones y controles de calidad de forma periódica para asegurarnos de que el funcionamiento de las máquinas de vending es el adecuado. Una máquina expendedora con problemas puede fallar en la refrigeración y que los productos en stock se echen a perder, puede sufrir atascos en el mecanismo de acción de los productos o simplemente dar error en el cobro y la vuelta de dinero. Una serie de problemas que son comunes cuando no se realiza el mantenimiento de las máquinas de vending. [2].

Los diagramas de Pareto son gráficos que ponen de manifiesto que, cuando se analizan las causas de un problema, algunas pocas causas son las responsables de su mayor parte,[3]. El diagrama de Pareto facilita la identificación de las principales causas que afectan a un problema y ayuda a priorizar las acciones para abordarlas. Al enfocarse en las causas más relevantes, se puede lograr una mejora significativa en la eficiencia y la calidad. El diagrama de Pareto se basa en el principio de la regla 80/20, que sugiere que aproximadamente el 80% de los efectos provienen del 20% de las causas.

La lluvia de ideas es la generación de ideas respecto a un tema o problemática de parte de una o varias personas para encontrar la solución a un problema. Tiene las ventajas de alentar un pensamiento más creativo, mejorar el trabajo en equipo y pueden ser escuchados todos los que tienen algo que aportar para la resolución de la problemática [4]. Esta herramienta es mejor cuando se forma un grupo multidisciplinario lo cual va a permitir estimular el pensamiento lateral y explorar múltiples enfoques para abordar un problema o desarrollar nuevas ideas.

La técnica 5 Porqués es un método basado en realizar preguntas para explorar las relaciones de causa-efecto que generan un problema en particular. El objetivo final es determinar la causa raíz de un defecto o problema. Es una técnica de preguntas, en la cual se requiere que se pregunte “por qué” al menos cinco veces,[5] También es posible tener cinco niveles de detalles de la problemática que se está evaluando. Se puede identificar la raíz de un problema de una forma rápida y sencilla, a veces incluso en menos de 5 pasos, se consigue un notable ahorro de tiempo a la hora de focalizar la atención sobre un problema o dificultad, consiguiendo llegar a su solución con un notable ahorro también de energía, también podemos acabar resolviendo otros problemas entroncados o relacionados con el que hemos comenzado. Cuando se ha identificado la causa, se empieza a preguntar “¿por qué es así?”

El vending es una forma de comercializar productos a través del autoconsumo. Es decir, sin presencia de un vendedor, y esto lo hacemos a través de máquinas en las que pagamos a cambio de adquirir un producto,[6]. Vending es un término inglés con el que solemos referirnos a las máquinas expendedoras

Telemetría es todo aquel sistema capaz de obtener de manera remota información que se pueda medir, independientemente del tipo de información a tratar. En diferentes sectores se ha asociado el concepto de telemetría a los sistemas de adquisición de datos en tiempo real para la toma de decisiones. Todos estos sistemas pretenden obtener información para la posterior toma de decisiones que pueden ser instantáneas y automatizadas como de posterior estudio y ejecución [7].

Desde el enfoque del mundo de la venta desatendida, en especial en la telemetría aplicada al vending, siempre se pretende adquirir información de manera remota de las máquinas instaladas como ventas, alarmas, averías y también, si los sistemas lo permiten, la gestión remota de comportamiento, tales como gestión de precios, parámetros de comportamiento, autorización y modificación de los precios establecidos en base a ciertos parámetros y que pueden afectar incluso a una única compra de un cliente,[8].

Este trabajo está enfocado a la implementación de un programa de mantenimiento predictivo para aumentar la disponibilidad de las máquinas vending, la cual permita disminuir el mantenimiento correctivo de las máquinas.

Metodología

La metodología empleada consta de las siguientes etapas:

Etapa I. Identificación del problema y su valoración del problema. Se desarrolló una hoja de verificación, la cual se aplicó durante el periodo 2022 para ver cuál era la causa de la baja credibilidad y confiabilidad de los clientes hacia las maquinas vending. Dicha hoja de verificación tuvo el objetivo de encontrar la causa raíz del caos de incidencias en las máquinas, lo cual provoca a consecuencia Dicha información permitió realizar un diagrama de Pareto graficando las distintas causas.

Etapa II. Lluvia de ideas y diagrama de Ishikawa. Las áreas de ventas, mantenimiento y planeación, formaron un grupo multidisciplinario. Se realizó una lluvia de ideas para hallar la solución a la problemática de las máquinas de tipo vending. De estas reuniones se desprende el diagrama de Ishikawa, en donde se encontró la causa raíz del problema (fallas) que se ven reflejadas en las ventas directas de los mismos, cayendo en un ambiente de desconfianza de los clientes hacia las maquinas ya que se presentan varios caos donde las

 ISSN: 2007 8102

maquinas no entregan el producto a los compradores, y esto ocasiona que no regresen a una próxima compra, lo que pega directamente en los objetivos contenidos en el plan de ingresos de la compañía.

Etapa III. Se aplicó la herramienta de los 5 porqués partiendo de la causa raíz identificada. Falta de mantenimiento óptimo de las máquinas expendedoras. Las conclusiones obtenidas de dicho análisis fueron las siguientes:

- Falta de un programa de mantenimiento completo al parque de máquinas expendedoras
- Recuperar números positivos en casos de incidencia de reportes del Centro de Atención a Clientes. Denominados CAC's.
- Coordinar las áreas de mantenimiento y producción para realizar mantenimientos sin afectar el proceso.
- Revisar el programa de capacitación.
- Curso a supervisores para manejo efectivo de personal.
- Planeación. Verificar requisiciones de mantenimiento
- Revisar la política de la empresa y analizar si se puede comprar materiales con otros proveedores.

Etapa IV. Se identificó que el parque de máquinas. Se podía agrupar en tres grupos generales, escuelas, industria y vía pública. Y se mapearon los equipos expendedores en donde se visualizó también que se contaban con dos modelos trabajando en la actualidad, la máquina de IMBERA VENDO modelo 8v21 y la máquina de ROYAL & COINCO modelo RVVGEN2, que son los dos modelos que se abordaran en lo referente al mantenimiento.

Etapa V. Revisión y consulta de los manuales de operación. Se observó que no se contaba con personal capacitado en el área para poder ir más a fondo y no solo en lo superficial sobre el procedimiento de manera correcta para cada tipo de equipo, puesto que son dos sistemas totalmente diferentes los que operan cada máquina. Para la maquina V21 logramos comprender que era un modelo más versátil en cuanto a las condiciones en las que puede operar ya que por su arquitectura nos permite ponerla en marcha tanto en interiores como en exteriores, asimismo nos presenta ventaja sobre el otro equipo ya que son equipos con mayor porcentaje de partes eléctricas, lo cual la hace ser de mayor resistencia a las variaciones de voltaje. Por otro lado se encontró que el modelo RVVGEN2 es una maquina más compleja en sus sistemas de venta, y sus filtros de seguridad ya que en ella se pueden encontrar gran parte de sistemas electrónicos, sistemas eléctricos, sistemas cartesianos que son el alma del trabajo de la máquina diversos sensores de diferentes tipos, tales como sensores de temperatura, sensores del tipo magnético, sensores ópticos, sensores infrarrojos, y sensores electrónicos, además de que esta máquina presenta dos tarjetas de control a diferencia de su compañera que solo presenta una forma más fácil.

Etapa VI. Una vez realizados los análisis y después de conocer el manual y revisarlo se pudo tener una visión más amplia sobre los principales puntos a considerar para enfocarse en el mantenimiento.
Etapa VII. Después de implementar las acciones determinadas en la etapa VI, se realizó nuevamente la etapa de recolección de datos mediante telemetría. En la búsqueda de la mejora continua en el área vending se encontró una buena opción en la implementación de sistemas de telemetría, para ello la parte gerencial busco apoyo en una empresa externa que nos pudiera brindar el servicio, así se logró consolidar una relación laboral entre corporación RICA y VENDWATCH TELEMATICS.

Desarrollo

Después de conocer el manual y revisarlo se pudo tener una visión más amplia sobre los principales puntos a considerar para enfocarse en el mantenimiento. A continuación, se presenta una tabla comparativa de ambos equipos.

Tabla 1. COMPARATIVA Maquina V21 vs RVVGEN2

Maquina	SISTEMA DE REFRIGE-RACION	CAPACI-DAD DEL MOTOR	GAS REFRIGE-RANTE	CAPACI-DAD DE ENFRIA-MIENTO	DIMEN-SIONES	SET POINT	SELE-CCIONES	# DE MOTORES
8v21	VALVULA DE EXPAN-SIÖN	1/3	R134a	800 envases 355ml	(1m)(1.1m)(1.8m)	0 grados	64	10
RVVGEN2	CAPILAR	1/3	R134a	320 envases 355ml	(1m)(1.1m)(2.05m)	2 grados	8	4

 ISSN: 2007 8102

A continuación se presenta una tabla 2 comparativa de gastos que se hacían por daños eléctricos contra lo que se invierte en materiales de protección eléctrica para tener una visión más amplia del ahorro.

Tabla 2. Gastos por daños eléctricos vs invierte en protección eléctrica.

		Inversión en protección eléctrica	
Material	**Costo en pesos**	**Material**	**Costo en pesos**
Transformador 28vac	$319.00	Fusible .8A	$30.00
Tarjeta electrónica v21	$ 5,000.00	Centro de carga	$ 169.00
Monedero cashflow 7000	$ 9,000.00	Pastilla termomagnética	$ 126.00
Billetero mei	$ 8,500.00	Supresor de picos	$ 400.00
Display	$ 2,800.00	Cable 3x12	$ 30.00 / m

Como se puede apreciar en la anterior tabla es mejor destinar recurso que ayuden en la prevención de daños, que el gasto que se genera por los mantenimientos correctivos y todo lo que ello conlleva.

Resultados y discusión

Se empleó un diagrama de Pareto para identificar porque se tenía un número alto de reportes de clientes que tuvieron algún tipo de percance al momento de realizar las compras en una maquina vending.

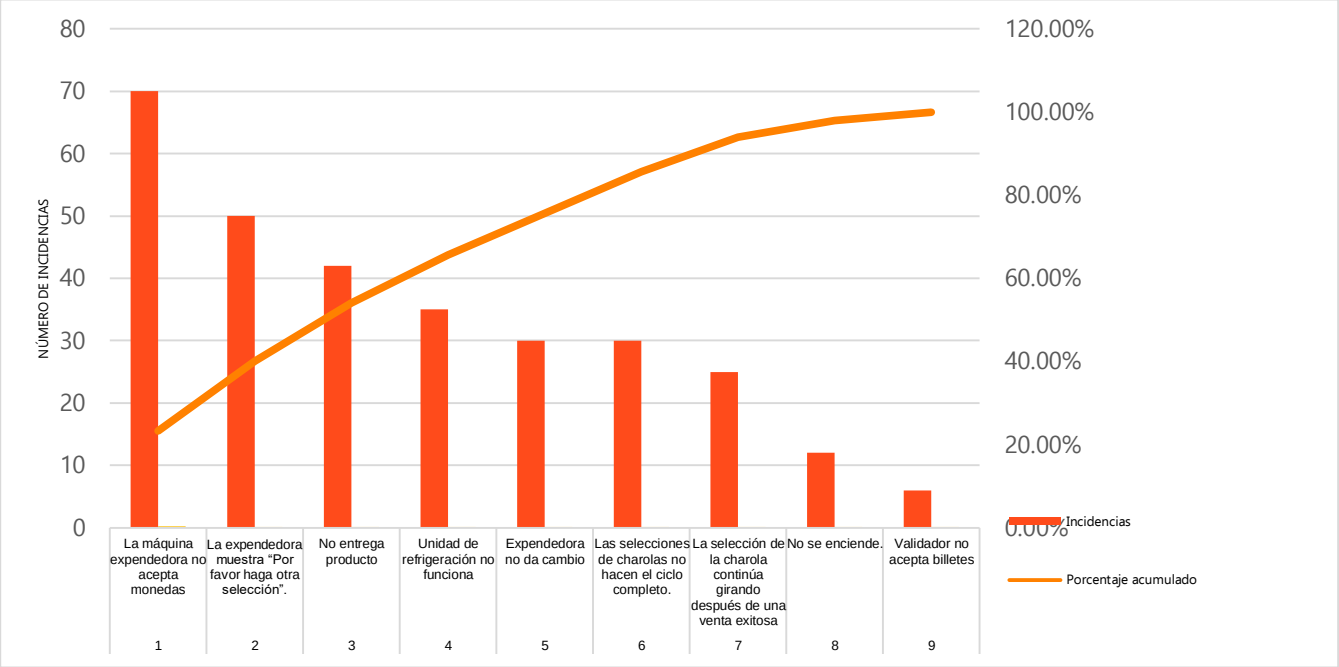


Ilustración 1. Diagrama de Pareto de fallas de máquinas vending

A través de la lluvia de ideas se determinaron las distintas causas posibles de la falla mecánica de la probadora de fugas, y se realizó un diagrama de Ishikawa con esta información. En la ilustración 2 se presenta el diagrama de Ishikawa que se generó.

 ISSN: 2007 8102

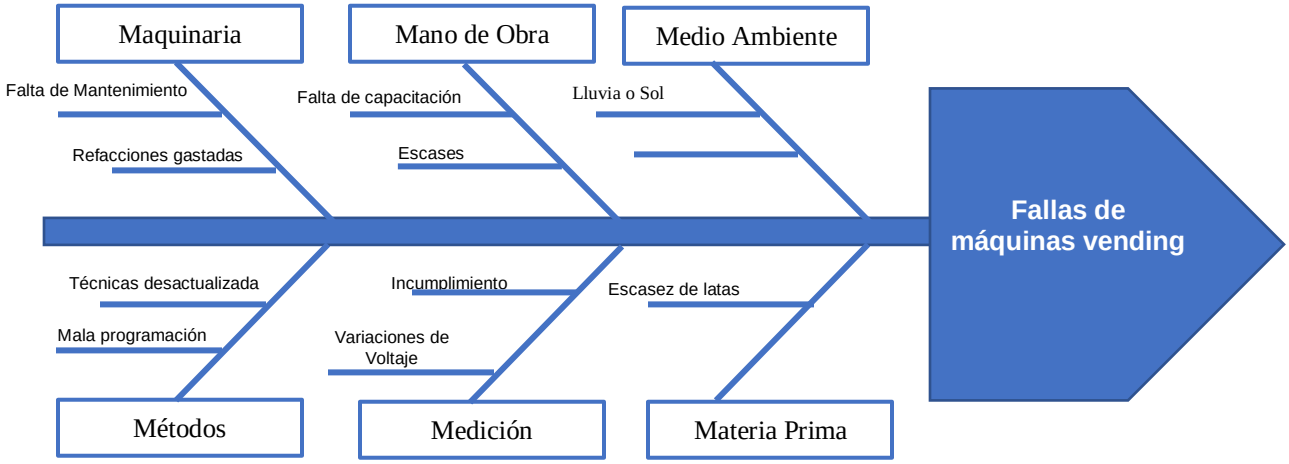


Ilustración 2. Diagrama de Ishikawa de la falla de maquina vending.

En la figura anterior se puede observar las variables que el grupo de ventas, mantenimiento y planeación, consideró que afectan a la problemática de las máquinas de tipo vending.

Tabla 1. Descripciones de las causas

Medio Ambiente	**Temperatura**	**Condiciones Climáticas**
	La temperatura influye ya que se ha encontrado que en ocasiones desconectan los equipos. En época de invierno.	Las máquinas expendedoras que se encuentran en exteriores pueden presentar diversos problemas. Ya que en ocasiones se humedecen en época de lluvias, Éste puede atascarse debido a la humedad, lo que impide que los productos sean entregados correctamente.
Mano de Obra	**Falta de Capacitación**	**Escases de Personal**
	El personal no conoce los manuales de las máquinas expendedoras, falta entrenamiento para ejercer su labor de rutina y que se aproveche el desempeño de la máquina ya que no se sigue como se planteó la operación de la maquinaria.	Muy poco personal para cubrir y atender más de 300 equipos
Maquinaria	**Mantenimiento**	**Refacciones**
	No existe un programa de mantenimiento.	Capacidad de la máquina comprometida con refacciones gastadas o inadecuadas
Métodos	**Técnicas Desactualizadas**	**Mala Programación**
	Arnés desconectado del conector J-1, J-5 y/o J-6 de la tarjeta de control.	La temperatura programada en la tarjeta de control no es la adecuada
Medición	**Incumplimiento**	**Voltajes**
	Problemas de refrigeración,	Variaciones de voltajes que pueden afectar, tarjeta de control no está energizada. (No hay bip al encender o cuando el botón de servicio se presiona.

Se aplicó la herramienta de los 5 porqués partiendo de la causa raíz identificada. Falta de mantenimiento óptimo de las máquinas expendedoras.

Los criterios fueron planteados en forma de pregunta de la siguiente manera

1. ¿La causa identificada es un factor que lleva al problema? Esta pregunta busca responder si la causa que se identificó es un factor que lleva al problema y debe ser respondida de acuerdo con el criterio del equipo

de trabajo en base a lo observado en el proceso. Como lo indica el nombre de esta metodología, debemos continuar planteando preguntas hasta conseguir el número final de cinco interrogantes.

2. ¿La causa identificada ocasiona directamente el problema? Esta pregunta busca identificar si la causa identificada ocasiona el problema planteado y debe ser respondida en base al criterio del equipo multidisciplinario.
3. ¿Si la causa identificada fuera eliminada se corregiría el problema? En esta pregunta el equipo multidisciplinario analizo si la causa que se identificó y si se atendiera eliminaba el problema, es importante que en esta pregunta se analice detalladamente si es viable la respuesta.
4. ¿Es posible plantear una solución factible para dicha causa? En este punto el equipo de trabajo analiza si existe una solución factible para eliminar la causa identificada.
5. ¿Sería posible medir si la solución fue efectiva? En esta pregunta se plantea saber si es posible medir la solución planteada en la pregunta anterior

   Una vez que se plantearon las preguntas se estableció una ponderación para los criterios a evaluar quedando de la siguiente manera: 1 cuando la respuesta fuera afirmativa y 0 cuando la respuesta sea negativa.

¿Por qué la baja credibilidad y confiabilidad de los clientes hacia las maquinas vending?	¿Por qué nuestros precios son elevados?	¿Por qué no tenemos programa de mantenimiento predictivo?	¿Por qué no tenemos un software especializado en mantenimiento?	¿Por qué no usamos nueva tecnología?	Soluciones
No hemos definido las causas.	Tenemos costos de mantenimiento correctivo muy altos.	No tenemos un área de mantenimiento.	Costo.	Falta de pericia.	Contratar a un profesional.
No contamos con los recursos.	Pagamos muchos impuestos.	No tenemos especialistas.	Tiempo.	Ausencia de un programa de mantenimiento predictivo	Telemetría
No tenemos información de los equipos	No tenemos la información en tiempo	No conocemos esas herramientas.	Capacitación.		Un programa de mantenimiento predictivo

Segundos resultados

Por medio de la implementación del sistema de telemetría fue posible conocer datos más específicos de la máquina, en lo planeado se contempló la colocación de un modem del tipo 3G y mediante una App se realizaron las asignaciones pertinentes en sistema, en total se colocaron 300 módems, uno para cada equipo. El proceso de asignación e instalación de los módems contempla la colocación física en la máquina, así como la instalación electrónica e informática para la recolección de datos, para ello se utilizaron los puertos dex de cada tarjeta electrónica y con ayuda de un cable del mismo tipo se realizaron lecturas a la máquina.

 ISSN: 2007 8102

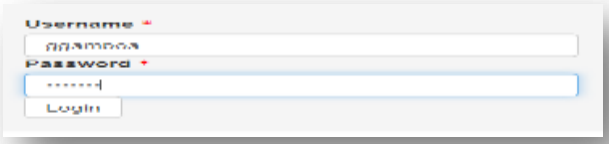


Ilustración 3. Acceso al sistema vendwatch

Una vez que ingresamos a la página principal podemos acudir a la visualización de los reportes ejecutivos para el control de los equipos.



Ilustración 4. Resumen general de incidencias

Posteriormente estas lecturas son enviadas a un servidor en línea al que solamente el personal autorizado tiene acceso, ahí se pueden realizar consultas para el análisis de los mantenimientos, así como para el área de ventas. La implementación de este sistema fue muy amigable con el usuario ya que presenta diversas herramientas de gran utilidad. A continuación, se presentan unas gráficas para una mejor interpretación.

Terceros resultados

Por último, se logró que en cada uno de los 300 equipos se pudieran asignar datos relevantes para el control interno de la compañía, datos que previo a este proyecto se debían ir a buscar hasta la ubicación de la máquina, al día de hoy y es posible tenerlos a la mano tan solo ingresando el número de cliente, algunos datos relevantes que se pueden consultar son:

- ✓ Número de serie del monedero
- ✓ Número de serie del billetero
- ✓ Número de serie del modem
- ✓ Número de serie de la tarjeta electrónica
- ✓ Ubicación real del equipo
- ✓ Ultima apertura de puerta

 ISSN: 2007 8102

✓ Ultimo corte de corriente



Ilustración 5. Rotación de SKU y datos generales del cliente

Trabajo a futuro

Revisar la transmisión correcta de datos ya que se logró que fuera una herramienta indispensable en el control de los equipos, al ser un parque de 300 máquinas se deben estar monitoreando en intervalos de tiempo no mayores a 12 horas.

Conclusiones

Se logró la disminución de costos significativamente puesto que realizando los mantenimientos de acuerdo a un plan de trabajo se evitaba acudir dos veces a un equipo en un intervalo de tiempo demasiado corto, asimismo también se logró que el personal técnico lograra la correcta interpretación del análisis en el sistema VendWatch. Lo que antes implicaba un gasto de refacciones derivados de malas instalaciones eléctricas, después de atender la raíz ya no se tiene más ese problema, lo que se ve directamente reflejado en los gastos del área.
Otro punto a resaltar fue la reducción de incidencias generadas por el centro de atención a clientes, que es un indicador directo de cómo se comportan los equipos en operación estando en mercado, con ello se recuperó la confianza en consumidores y usuarios del servicio vending.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo y las facilidades otorgadas por el Instituto Tecnológico de Cuautla en especial al área de ingeniería Mecatrónica y a empresa “Embotelladora Las Margaritas S.A.P.I. de C.V.

Referencias

[1] Juan Miguel Arencibia Fernández, «Conceptos fundamentales sobre el mantenimiento,» Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 1, núm. 1, abril, 2007, pp. 1-8.

[2] Azkoyen Vending Systems «¿Cómo es el mantenimiento de máquinas expendedoras,» 17 de marzo de 2022 [En línea]. Available: https://azkoyenvending.es/noticias/com-es-mantenimiento-maquinas-expendedoras/

[3] García Martínez, E. M. (2023). **«**Aplicación del diagrama de Pareto para la priorización de problemas en la industria agroalimentaria**»**.

[4] Atlassian. The Workstream, «Atlassian. The Workstream,» 2022. [En línea]. Available: https://www.atlassian.com/es/work-management/project-collaboration/brainstorming.

[5] Jaime Rodriguez «5 Porqués ¿Cómo aplicar correctamente esta metodología? **»** 08 nov 2019 [En línea]. Available: https://spcgroup.com.mx/5-porque-como-aplicar-correctamente-esta-metodologia/

[6] Gesvending, «¿Qué significa el termino vending» 12 de octubre de 2022. [En línea]. Available: https://www.gesvending.com/que-significa-el-termino-vending

[7] Sensorgo MKT « ¿Qué Es La Telemetría Y Cuáles Son Sus Aplicaciones? 16 de junio de 2016 [En línea]. Available: https://sensorgo.mx/telemetria/

[8] CASLAB Make it Simple «"Telemetría Vending, » 01 marzo 2023 [En línea]. Available: https://www.caslab.tech/telemetria-vending/

ISSN: 2007 8102

Capacitación presencial en el sector público bajo la metodología ADDIE

F.L. Rangel Vieyra [1], M.G. Beltrán Lizárraga [2]

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Los Cabos, Boulevard Tecnológico de Los Cabos, Guaymitas, 23407 San José del Cabo, B.C.S. 18382776@loscabos.tecnm.mx; mariag.bl@loscabos.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

Ante la incorporación de nuevo personal al Fideicomiso Fondo para la Protección de los Recursos Marinos (FONMAR) en Los Cabos, este se ve en la necesidad de implementar una capacitación para los colaboradores. El objetivo de esta investigación fue implementar un curso de capacitación de acuerdo con las necesidades del colaborador bajo el modelo de diseño instruccional ADDIE. La metodología de esta investigación fue de naturaleza mixta, descriptiva para estudio de caso. Se aplico un cuestionario diagnostico a los 10 colaboradores (Servidores públicos) adscritos al Programa de Ordenamiento, Inspección y Vigilancia del Municipio de Los Cabos, así como un cuestionario final para evaluar el curso. Los principales resultados de esta investigación muestran que la implementación del modelo permitió el desarrollo satisfactorio de la capacitación, obteniendo con ello resultados positivos en cuanto a la valoración del curso. El proceso de capacitación es esencial para los colaboradores del fideicomiso.

***Palabras clave**: ADDIE, Capacitación, Diseño Instruccional, Servidor Público.*

Abstract

With the incorporation of new personnel to the Fideicomiso Fondo para la Protección de los Recursos Marinos (FONMAR) in Los Cabos, there is a need to implement a training course for the collaborators. The research was to implement a training course according to the collaborators' needs under the ADDIE instructional design model. The methodology was of a mixed nature, descriptive for a case study. To ten collaborators (public workers) as part of the Ordinance, Inspection and Surveillance Program from the Municipality of Los Cabos, a diagnostic and a final questionnaire to evaluate the course. The main results of this research show that the implementation of the model allowed the satisfactory development of the training, thus obtaining positive results in the final evaluation of the course. The training process is essential for the trust's employees.

***Key words:** ADDIE, Training, Instructional Design, Public Worker.*

Introducción

Ante el constante cambio de administración en el sector público, este se ve en la necesidad de contar con procesos de capacitación que faciliten las funciones del nuevo personal y que de esta forma se realicen las tareas de manera correcta en cada área para brindar a la ciudadanía una atención adecuada y profesional. El Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED) menciona que las insuficiencias que debilitan la profesionalización de un servidor público son a causa de una elevada rotación de personal, los bajos niveles educativos, así como la escasa o nula experiencia previa en las funciones propias que desempeñan. En ese sentido “la profesionalización significa la preparación antes y durante el desempeño del servidor público para que cuente con las herramientas necesarias que le permitan actuar con el mayor nivel eficiencia, eficacia y efectividad” [1, párr. 1-2].

 ISSN: 2007 8102

Entonces, la capacitación es una herramienta fundamental para el funcionamiento de las organizaciones. Es por ello la importancia de su constante implementación con el fin de lograr el desarrollo profesional de los colaboradores de una organización y de esta forma generar productividad en la empresa.

La presente investigación se realizó en un fideicomiso que coadyuba con distintas instancias como lo es la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Capitanía del Puerto y otros, da al público a conocer quién es a través de su página electrónica donde se comenta [2, párr. 1]:

> Fideicomiso del gobierno del estado de Baja California Sur creado en fecha 29 de noviembre del año 2004 a fin de administrar los ingresos obtenidos por el cobro de derechos a la pesca deportiva, que es una plataforma de coordinación y colaboración entre autoridades de los tres niveles de gobierno y la sociedad civil interesada en temas relacionados con los recursos marinos. FONMAR también cuenta con cuatro comisiones técnicas con el fin de realizar investigaciones, proyectos y eventos que fomenten la protección de los recursos marinos en todo el estado de Baja California Sur.

Al ser un fideicomiso gubernamental que se encuentra en constante cambio de administración, genera una rotación de personal por lo que se da la necesidad de realizar acciones para proveer de las competencias necesarias para el desempeño de las funciones dentro del fideicomiso.

Capacitación en el sector público

La Secretaría de Educación Pública (SEP) define la capacitación como un “proceso por el cual las y los Servidores Públicos son inducidos, preparados y actualizados para el eficiente desempeño de las funciones de un puesto y su desarrollo profesional y, cuando corresponda, para contribuir a la certificación de capacidades profesionales” [3, p.9], desde su perspectiva INAFED entiende a la “capacitación como una tarea fundamental que proporciona a los servidores públicos los conocimientos, técnicas, métodos y destrezas y los hace más aptos para el mejor desempeño de sus funciones, dentro un proceso que articule las etapas de formación básica, actualización, especialización y certificación, lo que implica construir las bases de la profesionalización” [1, párr. 7].

Chiavenato [4, p. 322] menciona que “la capacitación es el proceso educativo de corto plazo, aplicado de manera sistemática y organizada, por medio del cual las personas adquieren conocimientos, desarrollan habilidades y competencias en función de objetivos definidos”.

En complemento Rodríguez citado en [5, p. 400] dice que al especificar que “la capacitación representa uno de los puntos más esenciales dentro de la organización ya que es un proceso permanente que trata de aumentar la productividad a través de la eficiencia, es decir que toda planificación de capacitaciones en una organización implica tomar decisiones idóneas en áreas significativas”.

De acuerdo con lo anterior algunos investigadores reconocen la importancia de los procesos de capacitación en los funcionarios públicos, de acuerdo con [6] estiman que existe una relación entre el contenido de la capacitación y las necesidades de los servidores público, así como sus características, con ello la calidad de los servicios que brindan.

La capacitación en el sector público es fundamental y obligatoria para todas las instituciones gubernamentales, ya que es importante contar con personal que cuente con los conocimientos y habilidades necesarias para el desempeño en sus funciones y de esta forma garantizar un servicio eficaz a la población.

Diseño Instruccional y el modelo ADDIE

La capacitación se estructura a través de un proceso sistemático de creación del curso, para ello existen diversos modelos de diseño instruccional. El diseño instruccional (DI) es una metodología fundamental que permite desarrollar elementos teóricos-prácticos de un proceso formativo, ya que con ello definimos el proceso y enfoque que se pretende desarrollar de acuerdo con el tipo de capacitación, esto con el fin de diseñar un programa efectivo.

El diseño instruccional “es la ciencia de creación de especificaciones detalladas para el desarrollo, implementación, evaluación, y mantenimiento de situaciones que facilitan el aprendizaje de pequeñas y grandes unidades de contenidos, en diferentes niveles de complejidad” [7, p.29].

 ISSN: 2007 8102

Belloch [8, p. 10] menciona que el modelo ADDIE es un proceso de diseño Instruccional dinámico, en donde los resultados de la evaluación formativa de cada fase pueden conducir al diseñador instruccional de regreso a cualquiera de las fases previas. El producto final de una fase es el producto de inicio de la siguiente fase. Es el modelo básico de DI, pues contiene las fases esenciales del mismo.

Como ha sugerido [9, p. 17], "ADDIE es un acrónimo de los pasos clave que conforman este modelo de diseño instruccional, a saber: Analisys (análisis), Design (diseño), Development (desarrollo), Implementation (Implementación) y Evaluation (evaluación)". Estos pasos pueden seguirse de forma secuencial o bien pueden ser empleados de manera ascendente y simultánea a la ver, Tabla 1.

Tabla 1. Especificidad del modelo ADDIE. Adaptado de [10].

Etapa	Especificación
Análisis	En esta etapa se identifican las necesidades y determinan las necesidades y objetivos educativos, se delimita en contexto de aprendizaje, así como los conocimientos y habilidades del instructor.
Diseño	Se específica la secuencia de aprendizaje, contenido, ejercicios e instrumentos de evaluación contemplados, la elección de herramientas de aprendizaje. Esta etapa es sistemática, obedece a la planeación del curso.
Desarrollo	Durante esta etapa se crea y desarrolla o produce el material de aprendizaje, incluyendo la integración de recursos tecnológicos.
Implementación	Es aquí donde se aplica lo identificado, planeado y desarrollado en las fases anteriores dentro del entorno de aprendizaje específico. En caso de requerirse pudiera darse una modificación del programa a seguir con el fin de garantizar resultados positivos.
Evaluación	En esta etapa se evalúa lo relacionado a la actividad educativa, se puede dar durante y al final del curso para evaluar avance y conocimientos y sobre la valoración general del curso.

ADDIE es un proceso que en cada una de sus etapas nos permite desarrollar cada paso de toda la capacitación, permitiendo planear, organizar y desarrollar cada elemento esencial para llevar a cabo el proceso de enseñanza-aprendizaje planeado.

Metodología

El diseño de investigación obedeció a la metodología mixta, fue de alcance descriptivo con enfoque de estudio de caso. Como instrumentos de recolección de diseñaron e implementaron investigación documental, observación participativa, y dos cuestionarios (inicial para conocer los requerimientos de la audiencia y final para evaluar el curso). Se adopto la metodología ADDIE para dar continuidad a la metodología y seguimiento al proceso de implementación del curso.

Desarrollo

Acorde a la fase de análisis, el muestreo aplicado para este estudio fue de tipo intencional [11] identificando a 10 colaboradores (Servidores públicos) que contaron con características específicas: nuevo ingreso, puestos de atención a turistas y ajenos al tema de la pesca.

Se realizó investigación documental relacionada con la temática a abordar: manual de organización y procedimientos, se consultó la normatividad pesquera aplicable y la página web de FONMAR B.C.S., así como bases de datos científicas Scielo, Dialnet y Google Académico.

Se llevó a cabo la observación participativa en campo dirigida a los 10 colaboradores en las áreas de marina Puerto Los Cabos y Cabo San Lucas. Durante esas observaciones se identificaron aspectos de orientación correcta al turista/pescador, sobre tramitología con temas relacionados a la dirección (permisos, con que dependencia acudir u otros), las observaciones se registraron mediante bitácora y se analizó a través de nube de palabras.

 ISSN: 2007 8102

Como parte del análisis se diseñó un cuestionario considerando 10 ítems referentes a conocimientos sobre del fideicomiso, las preguntas fueron de tipo dicotómicas. Fue aplicado vía Google formularios y procesado en Microsoft Excel (ver tabla 2).

Tabla 2. ITEMS considerados en cuestionario.

ITEM	No. ITEMS
Perfil participante	1
Identidad fideicomiso FONMAR	3
Áreas de actuación FONMAR	4
Normas, regulaciones y documentos	3

Con este cuestionario diagnostico se consiguió analizar sus conocimientos respecto al Fideicomiso, clasificando el perfil del participante, 3 preguntas sobre la identidad del fideicomiso, 4 preguntas en las áreas de actuación y 3 preguntas relacionadas a normas, regulaciones y documentos, siendo contestadas por los 10 colaboradores del área de estudio.

Una vez superada la etapa de análisis se procedió a diseñar el plan de capacitación incluyendo también el contenido del curso y su duración. Como parte del diseño se identificó el material requerido durante el curso. Se consideró tomar evidencia de asistencia y se planeó lanzar convocatoria para la inscripción. Se estimó la inclusión de la tecnología con la finalidad de incentivar la interacción con los futuros participantes del curso, también de específico la duración, horario, metodología y estrategias didácticas como análisis de casos.

Para el desarrollo del curso se tomó como referente bibliográfico la información pública, normatividad pesquera, leyes aplicables y manuales del fideicomiso, para la creación de los materiales necesarios.

Una vez concluida la implementación del curso, se evaluó con base a cuestionario basado en la cédula para evaluación de transferencia del conocimiento de la Entidad de Certificación y Competencias Laborales C124-13 ITES Los Cabos [12], cual incluyo 11 preguntas y un espacio para observaciones y recomendaciones: opinión general del curso (3), contenido del curso (3) e instructora (5) , de acuerdo a la escala de excelente (excedió mis expectativas), bueno (cumplió con mis expectativas), regular (no cumplió con mis expectativas) y malo (inferior a mis expectativas). Se compartió a través de código QR, se procesó con Microsoft Excel.

Resultados y discusión

Primeros resultados

Los resultados de la aplicación del diagnóstico alusivos a la fase de análisis permitieron conocer que tanto los colaboradores conocen acerca de su área de trabajo y de la función que se debe de realizar en tal caso se obtuvo lo siguiente (ver figura 1):

 ISSN: 2007 8102

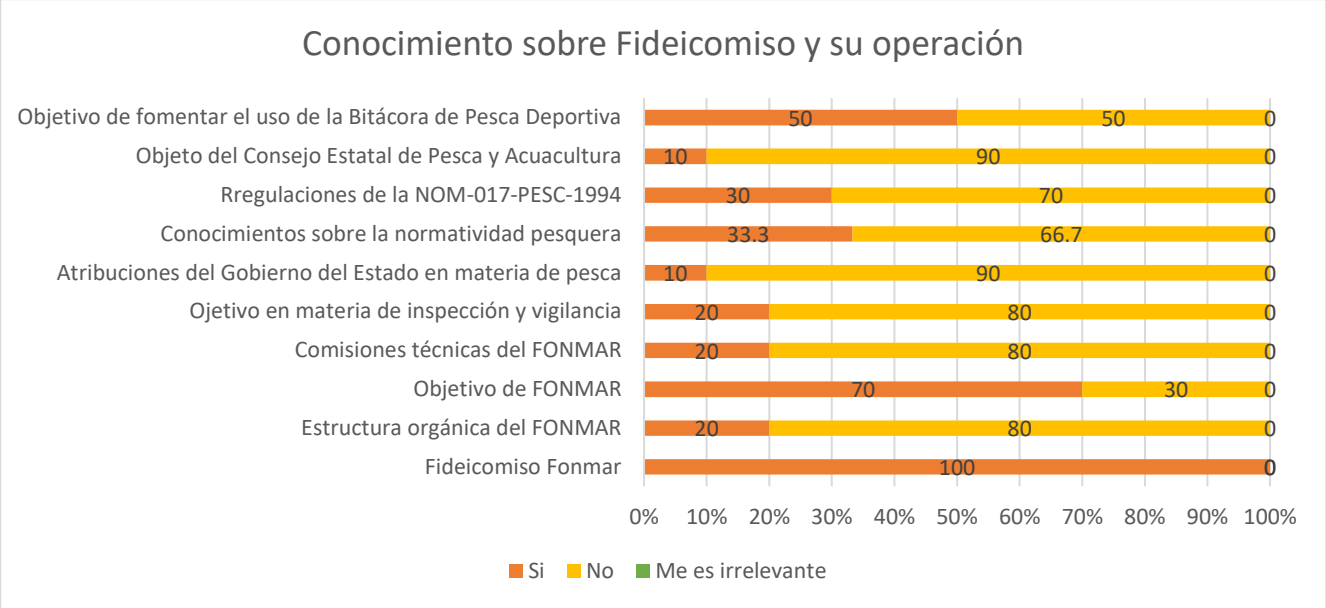


Figura 1. Resultado cuestionario diagnóstico.

A partir de la pregunta de perfil se identificó la identidad del participante, con ello ubicar el área de trabajo que representa. En cuanto a la categoría identidad Fideicomiso FONMAR, la cual incluye las preguntas: ¿Conoces el Fideicomiso FONMAR?, ¿Conoces la estructura orgánica del FONMAR?, ¿Conoces el objetivo de FONMAR? Se observó que, si conocen al 100% el fideicomiso FOMAR, sin embargo, el 80% desconoce su estructura orgánica y el objetivo del fideicomiso. La estructura es fundamental para entender cómo funciona el fideicomiso. El 70% de los colaboradores identifica el objetivo principal del fideicomiso, solo un 30% no.

Sobre las áreas de actuación del FONMAR, con base a las preguntas: ¿Conoces las comisiones técnicas?, ¿Conoces las atribuciones del Gobierno del Estado en materia de pesca?, ¿Conoces el objeto del Consejo Estatal de Pesca y Acuacultura?, ¿Conoces el objetivo en materia de inspección y vigilancia? Se identificó que el 80% no conoce las comisiones técnicas, así como el objetivo de la inspección y vigilancia, por otro lado, el 90% de los encuestados desconocen las atribuciones del gobierno en materia de pesca, por último, el 90% desconocía el objeto del Consejo Estatal de Pesca y Acuacultura.

La categoría normas, regulaciones y documentos, con respecto a las preguntas ¿Tienes conocimiento sobre la normatividad pesquera?, ¿Conoces las regulaciones de la NOM-017-PESC-1994? Y ¿Conoces el objetivo de fomentar el uso de la bitácora Pesquera Deportiva? arrojo que el 66.7% desconoce la normatividad pesquera, el 70% desconocía las regulaciones de la NOM y el 50% no identifica el objetivo de fomentar la bitácora de pesca deportiva.

A través de este cuestionario se obtuvo un panorama actual sobre el conocimiento de los participantes y ver en qué temas nos adentraríamos más a detalle en la realización del contenido. Los colaboradores conocen el fideicomiso y su objetivo de acuerdo con el área en donde están adscriptos, pero este cuenta con una estructura orgánica compleja y otras funciones importantes que se realizan en todo el estado de B.C.S. y que es fundamental conocer.

Sobre las áreas de actuación de FONMAR se identificó que más del 80% no contaba con el conocimiento necesario sobre las facultades del fideicomiso.

Referente a la normativa pesquera, los colaboradores contaban con un conocimiento básico, pero no el suficiente para desempeñar sus funciones diarias. Por lo que fue necesario desarrollar un temario que fuera preciso y objetivo, ya que en temas de normas, regulaciones y leyes en materia de pesca se necesita ser muy específico en cada modalidad.

 ISSN: 2007 8102

Mediante la observación participativa se lograron realizar registros que posteriormente fueron analizados de manera textual a través de una nube de palabras (figura 2).



Figura 2. Resultado de observación participativa.

De acuerdo con lo observado, los colaboradores desconocen aspectos de relacionados con la operación de FONMAR, relacionado a las funciones, tramitología, normativa pesquera, aspectos legales, las facultades, así como los pasos a seguir en el caso de brindar orientación a la ciudadanía.

La fase de análisis [13] permite conocer los aspectos más relevantes requeridos en el curso de acuerdo a lo que las herramientas de diagnóstico proveen, esto tomando en cuenta a la audiencia y los recursos disponibles. Con base a lo analizado se inició la planificación del curso, para el cual se pensó en dividir en cinco temas, requiriendo quince horas de dedicación durante tres días, se desarrolló el contenido del curso de acuerdo con sus necesidades y dudas, abordando temas precisos para el desempeño de sus funciones.

Segundos resultados

Estos resultados se enfocan a mencionar de manera breve los aspectos del modelo ADDIE una vez que se ha realizado la fase de análisis. En cuanto a la fase de diseño se desarrolló la ficha técnica y carta descriptiva del curso, así como la especificación de los recursos necesarios (ver tabla 3).

Tabla 3. Resultados de la fase de diseño carta descriptiva y ficha técnica.

Aspectos de diseño	Especificaciones
Objetivo de la capacitación	
Contenido	https://drive.google.com/file/d/14eQhWXHCNE4jZKB40PmKxbIlR9RfNGO-/view?usp=sharing
Recursos necesarios	Espacio para 10 individuos, Laptop, proyector, acceso a Internet, mobiliario y Coffe Break.

Los productos desarrollados en esta fase coinciden con lo que comenta Sanz [9] quien refiere que se debe describir cómo alcanzar los objetivos de instrucción determinados durante la fase de analizar y expandir la base de instrucción.

Sobre la fase de desarrollo el material a utilizar se creó en Genially con la finalidad de fomentar la interactividad del curso atendiendo los temas que se muestran en la tabla 4.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 4. Resultados de la fase de diseño carta descriptiva y ficha técnica.

Temas	Material desarrollado
Inducción	https://view.genial.ly/63643713e9e876001af0584e/presentation-curso-de-induccion-fonmar-los-cabos
Normativa	https://view.genial.ly/636e858b17814b00187b5d67/presentation-normatividad-pesquera

Una vez desarrollado el material y gestionado lo necesario, se procedió a implementar el curso. La fase de implementación que consistió en la impartición del curso del curso de acuerdo con las actividades planeadas en la fase de diseño [14], (ver figura 3).



Figura 3. Evidencia de la implementación de la capacitación.

Los colaboradores desarrollaron las actividades de acuerdo con lo planeado generándose de manera extraordinaria una mesa de debates respecto al tema, algo que no se tenía contemplado, pero fue muy productivo ya que debido a las diferentes dudas e inquietudes que se tenían, fueron resueltas en ese momento.

Últimos resultados

Se describen los resultados obtenidos en la fase de evaluación del modelo ADDIE, al respecto Acevedo [15] narra que en esta fase se lleva a cabo la evaluación del curso, así como de los criterios del curso, comentarios y observaciones. Basados en el análisis de los resultados se obtuvo que con respecto al cuestionario diseñado para tal fin se obtuvo:

1. Presentación general del curso la cual incluyo los aspectos de presentación de los criterios de evaluación, cumplimiento del objetivo general del curso y cumplimiento de las expectativas, manifestaron estar satisfechos ya que la totalidad de los encuestaron valoraron como excelente los aspectos.

2. Con respecto a contenido del curso en cuanto a utilidad para el desempeño de mis funciones, suficiencia para obtener los productos esperados y congruencia con los datos tratados, según los registros analizados marcaron excelente, por lo que consideraron la instrucción útil, suficiente en cuanto a lo esperado y con temas relacionados entre sí de acuerdo a la función que desempeñan.

3. La totalidad de encuestados calificaron al consultor con excelente en los aspectos de puntualidad, presentación de resultados de aprendizaje, recuperación de la experiencia de los participantes, dominio de los contenidos y manejo de recursos didácticos, esto demuestra que la metodología ADDIE ayudo a contemplar y contar con todos los elementos necesarios para que la capacitación se llevara de manera exitosa.

Las valoraciones vertidas en el cuestionario final indican que en general el curso superó sus expectativas. Por último, algunas de las opiniones manifestadas por los participantes indicaron la excelente participación, dominio de los temas expuestos y conducción del curso, así como el comentario de que se debería de seguir con ese tipo

 ISSN: 2007 8102

de actividad para mejorar el desempeño de las funciones, estuvieron también de acuerdo con la presentación de mismo.

Tabla 5. Cambios en el Programa de Ordenamiento, Inspección y Vigilancia del municipio de Los cabos.

Antes	Después
• Desconocimiento del funcionamiento del Fideicomiso	• Entendimiento y noción del funcionamiento del Fideicomiso, reconocimiento la estructura del organigrama, estructura orgánica, comisiones técnicas y descripción de puestos.
• Desconocimiento de la Ley General de Pesca y Acuacultura en las áreas competentes. • Desconocimiento de la Norma NOM-017-PESC-1994. • Desconocimiento de documentos oficiales en materia de pesca.	• Conocimiento fundamental y necesario en materia de pesca para desempeñar sus funciones y la información que se brinde al público sea la correcta. • Conocimiento del contenido de la Norma y su aplicación en la actividad de Pesca Deportiva-Recreativa. • Reconocimiento de las estructuras de los diferentes documentos oficiales en materia de pesca, por ejemplo, identifican cuáles son los documentos requeridos para verificar la legal procedencia de un producto pesquero.

Los comentarios arrojados por los participantes fueron positivos, mostraron gusto por la actividad, reconociendo que les permite mejorar su productividad, por otro laso se obtuvo una retroalimentación para mejorar las presentaciones en futuras capacitaciones y temas que se pudieran impartir en futuro.

Trabajos futuros

Esta investigación abre diversas líneas de investigación referente a la capacitación presencial en el sector público relacionadas con formación continua de los servidores públicos (conocimiento de las instituciones y sus facultades, inducción, el servicio adecuado para la ciudadanía incluso de desarrollo personal en el ámbito de especialización) o la medición de los desempeños e incluso identificar problemática que permita tomar mejores decisiones, ya que es frecuente la rotación del personal, derivado normalmente de los cambios gubernamentales, es necesario contar con personal capacitado para cada puesto. Estandarizar este tipo de capacitaciones en el sector público facilitaría integrar de manera satisfactoria a un nuevo personal.

Conclusiones

Se concluye de manera satisfactoria el uso del diseño instruccional ADDIE para la implementación de un curso de capacitación presencial para los servidores públicos.

Es importante para todo gobierno contar con capacitaciones que ayuden a sus servidores públicos a desarrollar los requerimientos de cada puesto laboral, ya sea administrativo u operativo. Toda administración pública debe ser resiliente ante los cambios futuros, por lo tanto, contar con herramientas que profesionalicen sus funciones garantiza un efectivo desempeño.

La capacitación es un proceso que ayuda a la mejora continua de las instituciones y al desarrollo productivo del servidor público, por lo tanto, como todo proceso necesita tener herramientas estratégicas para su implementación de manera satisfactoria, por lo que el uso del diseño instruccional ADDIE ayudo a desarrollar

 ISSN: 2007 8102

cada paso de esta capacitación, siendo una metodología factible en el diseño de capacitaciones de manera presencial.

La implementación del modelo de diseño instruccional ADDIE permitió la correcta implementación de la capacitación, se realizó un diagnóstico que arrojó información para conocer el contexto en el que se encontraban los colaboradores, diseñar los temas de acuerdo con las necesidades, llevar a cabo el desarrollo con todos los recursos necesarios, implementar el curso para lograr el objetivo y evaluar los resultados.

De acuerdo con los resultados de evaluación de la implementación de la capacitación, se recomienda seguir impartiendo capacitaciones enfocadas en diferentes temas que sean competentes a las acciones que se realizan en el fideicomiso y que estas se implementen de manera teórica y práctica.

Es deseable que se siga usando el diseño instruccional ADDIE para futuras capacitaciones, ya que de esta forma se puede desarrollar de manera ordenada, siendo muy específicos en cada etapa del desarrollo de la capacitación, así mismo establecer mesas de trabajo mensuales que ayuden a generar una lluvia de ideas para realizar capacitaciones de acuerdo con las propuestas de los colaboradores.

Se recomienda que independientemente de los cambios de administración, el fideicomiso de FONMAR establezca acciones de estandarización para las capacitaciones para el ingreso de futuros servidores públicos, dado que existen diversos temas a abordar dentro del fideicomiso, el grupo de colaboradores se mostró entusiasta y colaborativo. En cuanto a quien encabeza la coordinación del programa mostró total disposición para seguir llevando a cabo este tipo de actividades para el desarrollo del personal dentro del fideicomiso.

Agradecimientos

Al Fideicomiso de FONMAR BCS, por brindar la información necesaria para la realización de esta investigación.

Referencias

[1] Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. “La importancia de la profesionalización en el servicio público municial”. Gobierno de México. Accedido el 1 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible: https://www.gob.mx/inafed/articulos/la-importancia-de-la-profesionalizacion-en-el-servicio-publico-municipal

[2] Fondo para la protección de los Recursos Marinos. “¿Quiénes Somos? – FONMAR”. FONMAR – Fondo para la Protección de los Recursos Marinos. Accedido el 1 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible: https://fonmar.gob.mx/quienes-somos/

[3] Secretaría de Educación Pública, «Lineamientos para la Capacitación de los Servidores Publicos de la Secretaria de Educación Pública. Accedido el 2 de Agosto de 2023. [En línea]. Disponible: http://normatecainterna.sep.gob.mx/work/models/normateca/Resource/323/1/images/Lineamientos%20Capacitaci%C3%B3n.pdf

[4] I. Chiavenato, Gestión del Talento Humano, Quinta Edición ed., Mexico: Mc Graw Hill, 2011.

[5] N. G. Honores Jaramillo, C. J. Vargas Aguilar, C. D. R. Espinoza Carrión y N. J. Tapia Espinoza, «Importancia y capacitación personal: aprendizaje colaborativo y desempeño laboral en las empresas mineras,» Digital Publisher, vol. 5, nº 6-1, pp. 398-409, 2020.

[6] Y. Perdigon Rodriguez, M. d. C. Rodriguez Dominguez y R. V. Pla López, «La calidad de los servicios desde los cursos de capacitación a la población,» EduSol, vol. 22, nº 80, pp. 150-164, 2022.

[7] D. Gutiérrez Rico y A. Gándara Puentes, Diseño Instruccional, un punto de partida estratégico, Durango: Red Durango Investigadores Educativos, 2020.

[8] C. Belloch, «Diseño Instruccional,» *Unidad de Tecnología Educativa,* pp. 1-15, 2017.

[9] A. E. Sanz del Vecchio, «Implementación de diseño instruccional ADDIE para el desarrollo de un ambiente virtual de enseñanza,» 2019. [En línea]. Disponible: https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/3225.

[10] A. G. Spatioti, I. Kazanidis, and J. Pange, “A Comparative Study of the ADDIE Instructional Design Model in Distance Education,” *Information*, vol. 13, no. 9, p. 402, Aug. 2022, doi: 10.3390/info13090402.

ISSN: 2007 8102

[11] A. A. Vara Horna, 7 Pasos para una tesis exitosa. Desde la idea inicial hasta la sustentación, Lima: Facultad de Ciencias Administrativas y Recursos Humanos., 2012.

[12] Entidad de Certificación y Competencias Laborales C124-13 ITES Los CAbos, “Cédula para la evaluación de transferencia del conocimiento”, Cédula evaluación, San José del Cabo, México.

[13] J. Zhang, «The Construction of College English Online Learning Community under ADDIE Model,» *English Language Teaching,* vol. 13, nº 7, pp. 46-51, 2020.

[14] R. Imane, «Involving Students in the Instructional Design Process to Improve Their Satisfaction with Their Learning in the COVID-19 Era,» *International Journal of Information and Education Technology,* vol. 11, nº 9, pp. 410-415, 2021.

[15] F. E. Acevedo Gamboa, J. C. Díaz Álvarez, R. A. Cajavilca Cepeda, y J. C. Cobo Gómez, «Modelo de diseño Instruccional aplicado a una guía virtual en simulación clínica», *Univ. Med.*, vol. 60, n.º 3, pp. 1–14, jun. 2019.

 ISSN: 2007 8102

Habilidades que demandan los empleadores de los egresados universitarios para la empleabilidad; Estado de México.

J.L. Marín Villanueva[1], A. Alonso Reyes[1]*
1Departamento de Licenciatura en Administración y Gestión Empresarial, Universidad Politécnica de Atlautla, Carretera Atlautla-Ozumba No. 12, Barrio San Jacinto, Municipio Atlautla, Estado de México, C.P.56970.
**lic.luismarin1@gmail.com*

Área de participación: *Ingeniería Administrativa*

Resumen
La presente investigación se realizó bajo la apreciación de una escasa empleabilidad de los egresados universitarios por las empresas ubicadas en el Estado de México. El objetivo fue conocer las habilidades que demandan los empleadores de los egresados mediante un análisis situacional para desarrollar competencias laborales en un entorno global del Estado de México, año 2023. El tipo de investigación es mixta, diseño no experimental transversal, exploratoria con alcance descriptivo, la muestra estuvo constituida por diez empresas con giro de servicio y comerciales, consideradas medianas y grandes que fueron seleccionadas aleatoriamente, la técnica utilizada fue la encuesta y el instrumento un cuestionario tipo Likert de 49 ítems. Los resultados mostraron que las cinco habilidades demandas por los empleadores que deben tener los egresados; Pensamiento analítico e innovación (93.60%), Resolución de problemas complejos (92.00%), Liderazgo e influencia social (92.00%), Orientación al servicio (91.60%) y Aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje (91.20%).

Palabras clave*: Habilidades, empleadores, egresados, empleabilidad.*

Abstract
This current investigation was made when a very poor employability by different types of enterprises in State of Mexico was detected. The objective was to learm which specific skills and qualities an employer requires or demands from graduates based upon a situational analysis to develop working competencies in a global environment throughout the State of Mexico, during the year 2023. A mixed investigation was used for aiming this transversal non-experimental type and explanatory with a descriptive reach. The sample was formed by ten enterprises with a service and commercial line of business considered medium and large which were randomly selected, the research instrument was a 49 items Linkert type survey. The results showed that the following are the top five required abilities and skills to be demanded by the employers to the graduates: analitical ans innovate thinking (93.60%), resolution of complex problems (92.00%), orientation to the service (91.60%) and active learning and also learning strategies (91.20%).

Key words: *Skills, employers, graduates, employability*

Introducción
La educación permite potenciar las habilidades de las personas (estudiantes), y es también motor del desarrollo productivo, a través del cual se generan fuentes de empleo que permiten obtener ingresos económicos para cubrir ciertas necesidades individuales o familiares y acceder a bienes y servicios que elevan la calidad de vida de las personas, además de ayudarlas a cumplir sus aspiraciones. De aquí la importancia del porqué la Educación Superior debe preparar estudiantes con habilidades y competencias idóneas para la empleabilidad (trabajo), bajo la premisa de pertinencia al medio en el que interactúan estudiantes y empresas. Sin embargo, los sistemas de educación y formación profesional no han demostrado ese dinamismo para adaptarse rápidamente y proporcionar las habilidades demandadas por el sector productivo, es decir, el desempeño en el mercado laboral depende no solo del nivel de educación alcanzado, sino también de las habilidades técnicas, cognitivas y socioemocionales específicas de los egresados universitarios.

Ante este contexto, la misión de la Universidad Politécnica de Atlautla (UPAtlautla) es formar profesionales competentes e innovadores, a nivel nacional e internacional, con la capacidad de aportar cualidades técnicas que cubran las necesidades sociales, económicas y culturales de la región, a través de la aplicación del modelo basado en competencias, mismo que tiene como finalidad el desarrollo tecnológico, económico y sustentable. Asimismo, en el año 2018 la universidad tuvo una actualización en los planes de estudio de las cinco carreras que actualmente oferta: Ingeniería en Tecnologías de la Información, Ingeniería en Tecnologías de Manufactura, Licenciatura en Administración y Gestión Empresarial, Ingeniería Civil e Ingeniería en Logística y

Transporte. El propósito de esta actualización fue el de redireccionar las estrategias encaminadas a favorecer en materia de condiciones el crecimiento educativo, económico y productivo del Estado de México. Por lo tanto, la UPAtlautla debe continuar preparando alumnos calificados, competentes y bien remunerados para mejorar no solo sus condiciones de vida y las de sus dependientes, sino también las de sus centros de trabajo. Para ello, es indispensable que se realice la siguiente investigación a fin de conocer las habilidades que demandan los empleadores de los egresados universitarios, a través de un análisis situacional que nos llevará a desarrollar competencias laborales en un entorno global del Estado de México, en el año 2023. De acuerdo con [1], para conseguir que un profesional egresado de la universidad consiga desempeñarse en un puesto que exija los conocimientos y habilidades conforme a su preparación universitaria, es necesario que exista cierto grado de correspondencia suficiente entre el conocimiento adquirido por el profesional y las exigencias del puesto que se desea desempeñar, y que exista, además, un equilibrio entre el número de egresados de nivel licenciatura, así como la cantidad solicitada de profesionales en el sector productivo. Adicionalmente, varios estudios concuerdan en la necesidad de que los egresados universitarios cuenten con experiencia laboral al momento de la búsqueda de mejores oportunidades laborales, situación que además contribuye a la profesionalización de la Educación Superior y a la empleabilidad, según lo dice [2]. Esto puede entenderse como un mecanismo que permite vincular la formación académica de los estudiantes con los requerimientos laborales, es decir, como una forma de conectar los procesos formativos con las exigencias del mercado laboral.

Es por ello por lo que [1] indica dos escenarios acerca de la empleabilidad de profesionales de la Educación Superior. En primer lugar, surge cuando no existe la suficiente correspondencia entre la preparación de los estudiantes y el conocimiento solicitado para un puesto requerido que es anhelado por el profesional, a esto se le llama desempleo friccional. En segundo lugar, tenemos la no relación entre la cantidad de profesionales que demanda el mercado laboral y la cantidad de profesionales que está ofreciendo el Sistema Educativo, lo cual se denomina desempleo funcional. Por su parte, como menciona [3], es de vital importancia sensibilizar a los principales actores: alumnos, egresados, empleadores e instituciones educativas sobre el grado de importancia en el desarrollo de las habilidades de los alumnos con fin de comprender mejor las expectativas de los empresarios, desarrollo que debe iniciar desde el ámbito académico, para que cuando el egresado se afronte al campo laboral cuente con la capacidad de abarcar las necesidades de la empresa. Así que es necesario implementar programas de aprendizaje basados en el trabajo como una forma de proporcionar a los estudiantes una experiencia laboral inicial y así mejorar sus perspectivas laborales.

Para lograr este ideal, la UPAtlautla ofrece a sus estudiantes la modalidad de Educación Dual, la cual tiene como propósito aprovechar los recursos de la unidad económica, de la institución educativa y la aportación del estudiante, con el fin de favorecer un impacto social positivo respecto a la especialización de los egresados universitarios y un decrecimiento de la tasa de desempleo, en una tarea coordinada que sea compatible con los planes de estudio y los contenidos específicos que oferta la institución educativa; es decir, mediante una colaboración de beneficio mutuo, se conjugan las competencias alcanzadas en las aulas con la práctica laboral, permitiendo fortalecer las aptitudes del estudiante dual, propiciando las mejores condiciones para su inserción laboral. No obstante, los estudiantes que egresan e intentan incursionar en el sector productivo por primera vez no reflexionan sobre las barreras de entrada y lo que conlleva insertarse en la población económicamente activa.

Ahora bien, la inserción laboral de los egresados de las instituciones universitarias, en tanto una cuestión de empleabilidad, es el conjunto de actitudes y aptitudes que permiten a una persona conseguir y conservar un empleo, de acuerdo con la [4]. En este sentido, un empleado tiene como propósito brindar satisfacción, conocimientos, habilidades, competencias, garantizar una ética profesional, responsabilidad y destrezas suficientes para cumplir con las metas propuestas de la empresa; por lo tanto, se debe tener un buen manejo en la selección, capacitación y contratación de los trabajadores, en donde se identifiquen habilidades adicionales al conocimiento y experiencia; aporta valor agregado a la organización y crea la necesidad de que las empresas contraten trabajadores calificados; es decir, personas sólidas que apuestan tanto por el conocimiento como por la formación personal, [5].

En cuanto a la implementación de estas habilidades, pues no solo se requiere preparar jóvenes profesionalmente competentes, sino personas con capacidad de pensamiento crítico y posición independiente que puedan cumplir con los requisitos que una organización demanda. Según [6] los indicadores de empleabilidad se basan en tres ejes: factores individuales, características personales y factores externos. De acuerdo a los autores citados anteriormente, relacionan los factores individuales con indicadores que refieren a variables conductuales (dispersión de ánimo) y actitudinales (capacidades competenciales), que se relacionan con las competencias laborables. Todos ellos se describen a continuación:

a) *Factores personales:* características sociodemográficas, características personales, habilidades y cualificaciones, educación, información básica sobre la vida laboral, búsqueda de empleo, salud, movilidad geográfica y flexibilidad laboral.
b) *Factores externos:* factores del mercado de trabajo, factores macroeconómicos, características de la oferta, factores de contratación, políticas de empleo y otros factores de políticas de empleo.
c) *Circunstancias sociofamiliares:* responsabilidad y cuidados familiares, cultura de trabajo y acceso a los recursos.

En efecto, la categoría de condiciones sociofamiliares incluye aquellas que afectan la capacidad del profesional para insertarse en la vida laboral, en las que se consideran factores externos todos los indicadores del mercado laboral que afectan la empleabilidad de una forma u otra, así como los factores personales que afectan las oportunidades laborales, encuentran [6]. Por su parte, [7] señalan que la competencia y las habilidades son las más valoradas en los procesos de selección de personal de las empresas; estos incluyen relaciones interpersonales, trabajo en equipo, orientación al cliente, liderazgo, compromiso, orientación a resultados y compromiso, proactividad, mejora continua y adaptación al cambio, capacidad de análisis y visión de conjunto, habilidades de comunicación, dominio del inglés y Excel. Por lo tanto, los empleadores afirman que los egresados universitarios carecen de las habilidades que necesitan, tanto en términos de conocimientos específicos de la materia como de habilidades transversales, [8]. Una encuesta del Centro de Estudios del Desarrollo (CIDAC) [9] encontró que carecían de habilidades relacionadas con la comunicación escrita en español y la comunicación oral entre español e inglés. Además de limitadas habilidades de síntesis de información y pensamiento lógico, no muestran responsabilidad ni proactividad, CIDAC [9]. Por lo tanto, se puede decir que, para aprovechar los beneficios y oportunidades de las habilidades profesionales, es necesario que, así como el empleado sepa desarrollarlas, las organizaciones sean capaces de identificar y reconocer las habilidades, promoverlas, y por lo tanto las habilidades importantes de cada socio.

Las organizaciones se han dado cuenta de que además de los recursos humanos, los colaboradores deben ser reconocidos como talentos humanos, porque las personas no son un recurso que se usa y se desecha en el trabajo en beneficio de la organización, hay personas que son capaces de pensar, razonar, desarrollarse, evolucionar, crecer y adaptarse a diversos cambios; así, el éxito de la empresa se logra cuando las habilidades del personal pueden ser utilizadas de la mejor manera posible y la empresa se enfoca en el fortalecimiento de las habilidades que son las que le permiten a las personas y a las organizaciones adaptarse a los cambios. En este sentido, las competencias se refieren a la intersección de diversas habilidades, destrezas, conocimientos y actitudes necesarias para un óptimo desempeño en una determinada ocupación o actividad productiva. Así, se considera empleabilidad a la capacidad de actuar de forma independiente en el mercado laboral para desarrollar el potencial de empleo sostenible. De hecho, la empleabilidad de una persona depende de sus conocimientos, habilidades y actitudes, cómo maneja y presenta esos activos a los empleadores y el contexto (por ejemplo, las circunstancias personales y el entorno laboral) en el que se mire para el trabajo.

Adicional a esto, la [8] señaló que los empleadores destacaban la falta de conexión entre el conocimiento adquirido y las competencias desarrollas en los programas de Educación Superior con respecto a sus necesidades laborales, y así mismo solicitan tener una mayor participación en el diseño del currículo y la impartición de los programas de estudio. Así también, [10] nos dice que las habilidades se adquieren por diversas vías y a lo largo de la vida profesional; es lógico que el nivel de habilidades que los egresados universitarios adquieren en la universidad sea inferior al requerido en el empleo. Por consiguiente, ciertas habilidades pueden desarrollarse con posterioridad o anterioridad a la formación universitaria; otras pueden adquirirse mejor en otros lugares o entornos, etc. Por ello, la preocupación por la inserción laboral de los egresados universitarios es uno de los principales objetivos de la universidad; es decir, es imprescindible contar con recursos humanos, técnicos y económicos suficientes, y apostar por una educación basada en competencias, con nuevos métodos de enseñanza y aprendizaje que permitan a los egresados obtener las herramientas necesarias para su desarrollo profesional en el contexto socioeconómico actual.

Por ello, el último informe de 2020 del Foro Económico Mundial (WEF), “The Future of Jobs Report 2020”, menciona las habilidades emergentes en el mercado laboral, que es fruto de cambio en los últimos años. Según el estudio, la capacidad de las empresas globales para aprovechar el potencial de crecimiento que surge de la adopción de nuevas tecnologías se ve obstaculizada por una escasez de habilidades que requiere años de capacitación para todos los empleados a medida que aumenta la demanda. Este estudio del Futuro del Empleo ha identificado las habilidades y destrezas clave que los empleadores considerarán cada vez más importantes

 ISSN: 2007 8102

para 2025, gracias al análisis de datos provenientes de plataformas como LinkedIn y Coursera. A continuación, se describen las habilidades del estudio; 1) pensamiento analítico e innovación, 2) aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje, 3) resolución de problemas complejos, 4) pensamiento crítico y análisis, 5) liderazgo e influencia social, 6) Uso, seguimiento y control de la tecnología, 7) resiliencia, tolerancia al estrés y flexibilidad, 8) inteligencia emocional, 9) orientación al servicio y 10) persuasión y negociación.

Sin embargo, para este estudio se exploran algunas de las capacidades mencionadas en el informe del Foro Económico Mundial (FEM) 2020; también se les añaden nuevas habilidades desarrolladas en los últimos años, con el propósito de conocer cuáles son las habilidades que demandan los empleadores de los egresados universitarios del Estado de México. Para ello, en la tabla 1 se describen las habilidades dentro del estudio.

N.P.	*Habilidades*	*Descripción*
1	Pensamiento analítico e innovación.	Capacidad para hacer frente a problemas complejos mediante la evaluación de la información recopilada y organizada. La innovación, por otro lado, es la capacidad de crear cosas, ideas y regulaciones nuevas para generar cambios significativos en el campo al que pertenecen.
2	Aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje.	Se refiere a estrategias de enseñanza en las que el personal participa activamente en su propio aprendizaje. Cualquiera que sea la actividad, debe estar guiada por estrategias o técnicas específicas que contribuyan al logro de la meta planteada por el empleado o socio.
3	Resolución de problemas complejos.	La capacidad humana para resolver todos los problemas posibles, ya sean previstos o inesperados, y en escenarios y condiciones reales, precisamente porque está en constante cambio, es cada vez más difícil de entender, y donde la complejidad nunca aparece, no es fija.
4	Pensamiento crítico y análisis.	El proceso intelectual por el cual la información recibida o producida puede ser conceptualizada, aplicada, analizada y evaluada. Este conocimiento se puede obtener a través de la observación, la experiencia, la reflexión, etc.
5	Liderazgo e influencia social.	Cada tarea, por pequeña que sea, requiere la voluntad de liderar, asumir la responsabilidad y brindar retroalimentación y orientación cuando se complete.
6	Uso, seguimiento y control de la tecnología.	Se trata de la selección, operación, control y seguimiento de equipos y sistemas. Esto requiere el compromiso de mantenerse al tanto de las últimas herramientas tecnológicas y utilizarlas para mejorar sus procesos de trabajo diarios.
7	Resiliencia, tolerancia al estrés y flexibilidad.	Se considera como el proceso y efecto de adaptarse con éxito a las experiencias diarias difíciles o desafiantes, especialmente a través de la resiliencia emocional y conductual.
8	Inteligencia emocional.	Se refiere a la capacidad de reconocer, distinguir y comprender las emociones de los demás y las propias. También es la capacidad de gestionar adecuadamente las emociones.
9	Orientación al servicio.	Proceso que viene como consecuencia de colocar al cliente en el centro de la organización, e implica un cambio en la forma de abordar el servicio al cliente, de reactivo a proactivo.
10	Persuasión y negociación.	La negociación es un complemento de la persuasión. De hecho, es la creación de una relación entre dos o más personas, llegando a un acuerdo basado en el intercambio de posiciones, bienes, servicios o dinero; para beneficio mutuo.

Tabla No. 1. Habilidades consideradas en el estudio. **Fuente:** Elaboración propia.

Cabe resaltar que, en la actualidad, cada vez más se le exige a la Educación Superior responder a las demandas del sector empresarial con el propósito de una más rápida y eficiente inserción laboral de los universitarios egresados, para lo cual es necesario conocer y anticipar esas habilidades demandadas por las diferentes empresas. Sin embargo, la educación superior no puede organizarse sólo sobre la base de estos fines, pues es importante que los egresados también tengan una formación sólida en las ciencias que sustentan su profesión, para que puedan ser creadores o iniciadores de nuevos conocimientos, tecnologías o técnicas que se basan en una sociedad particular y valores culturales. El vínculo entre educación, conocimiento, desarrollo social, formación de recursos humanos altamente competentes y progreso científico técnico se ha vuelto más estrecho,

 ISSN: 2007 8102

según [11]. Por lo tanto, es muy importante preparar a los estudiantes para ingresar y mantenerse en el lugar de trabajo brindándoles los conocimientos, habilidades y actitudes necesarias; la empleabilidad es un factor clave. Sin embargo, los egresados universitarios a veces tienen serias dificultades para encontrar y mantener un trabajo debido a su inexperiencia en el mercado laboral. Lo cierto es que, si los empresarios contribuyeran de algún modo a la formación de estos estudiantes, su preparación sería mucho mayor, más apegada a la realidad y la posibilidad exitosa de acceder y mantener un empleo sería mayor, porque la enseñanza superior estaría más cerca de lo que está sucediendo en las empresas, y por su parte las empresas estarían accediendo a información actualizada desde el punto de vista teórico y científico.

Por su parte, [12] alude que la Educación Superior no puede deslindarse de la generación del conocimiento, por lo que se deben elaborar políticas efectivas de incorporación de los estudiantes a los espacios de creación de conocimiento, desarrollo e innovación tanto en la universidad como en otros ámbitos de la sociedad y del sector productivo, con los cuales, cada vez con más frecuencia, se establecen acuerdos de mutuo beneficio. Es por ello que la UPAtlautla le está apostando a la modalidad de Educación Dual con el propósito de que el proceso de aprendizaje en la unidad económica se alterne y complemente con la formación teórica en la institución educativa, para con ello mejorar las condiciones de inserción laboral o profesional del egresado universitario.

Metodología

Diseño metodológico

El presente estudio se realizó en el Estado de México. El diseño de la investigación es no experimental, transversal, exploratoria, con alcance descriptivo y de método mixto (cualitativo y cuantitativo).

Diseño no experimental

Según [13], considerando las variables del presente trabajo de investigación, le corresponde el enfoque cuantitativo, cuyo diseño es de tipo no experimental debido a que no hay manipulación de la variable independiente; del mismo modo es transversal y descriptiva correlacional.

Diseño no experimental-transversal

Se señala que se recogen datos en un solo tiempo, en un momento único. Su intención es describir variables y analizar el suceso e interrelación en un momento dado, [14].

Por tanto, este tipo de diseño se ajusta a la presente investigación, dado que la elaboración de la investigación tiene un tiempo limitado y toda la información fue recolectada en un solo momento y/o instante.

Tipo de investigación exploratoria y descriptiva

Exploratoria

Fue de carácter exploratorio debido a que se persigue una aproximación a la situación o problema, derivado de que no se tienen conocimientos relevantes del problema que se estudia, permitiendo de esta manera conocer los elementos que influyen en el manejo de las habilidades blandas por parte de los trabajadores de las unidades económicas.

Descriptiva

Se plantea de tipo descriptivo ya que se describirá a cada una de las habilidades de estudio en las que se centra la investigación. Además de ello, este tipo de investigación descriptiva busca determinar el grado de relación existente entre los elementos de estudio.

Muestra

De acuerdo con [15], es una proporción de la población o una parte extraída de un conjunto que se considera una proporción representativa. En este sentido, la muestra estuvo conformada por diez empresas con giro de servicio y comerciales, consideradas medianas y grandes, ubicadas en el Estado de México, las cuales fueron elegidas aleatoriamente; dando respuesta al cuestionario.

Pregunta de investigación

La pregunta de investigación se formuló de la siguiente manera: ¿Cuáles son las habilidades que demandan los empleadores de los egresados universitarios para la empleabilidad en el Estado de México, año 2023?

Hipótesis

Las hipótesis formuladas en este estudio fueron:

H_1: Las habilidades solicitadas por los empleadores son clave para que los egresados universitarios sean contratados en el Estado de México, año 2023.

H_0: Las habilidades solicitadas por los empleadores no son clave para que los egresados universitarios sean contratados en el Estado de México, año 2023.

Operacionalización de variables (estructura del instrumento)

[14] muestran el proceso por el que pasa una variable (o concepto en general) para encontrar relaciones empíricas que permitan evaluar su comportamiento en la práctica. Por lo anterior, se definió la estructura del instrumento (cuestionario) para la recopilación de información en la presente investigación, con el propósito de definir los ítems que conformarán cada una de las habilidades de estudio en las que se centra la presente investigación. En la tabla 2, se muestra la estructura del instrumento con base en las habilidades descritas en el estudio y sus respectivos ítems.

Habilidades	*Ítems*	*Instrumento*
Pensamiento analítico e innovación.	1,2,3,4 y 5	Cuestionario
Aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje.	6, 7, 8, 9 y 10	
Resolución de problemas complejos.	11, 12, 13, 14 y 15	
Pensamiento crítico y análisis.	16, 17, 18, 19 y 20	
Liderazgo e influencia social.	21, 22, 23, 24 y 25	
Uso, seguimiento y control de la tecnología.	26, 27, 28, 29 y 30	
Resiliencia, tolerancia al estrés y flexibilidad.	31, 32, 33, 34 y 35	
Inteligencia emocional.	36, 37, 38, 39 y 40	
Orientación al servicio.	41, 42, 43, 44 y 45	
Persuasión y negociación.	46, 47, 48 y 49	

Tabla No. 2. Estructura del instrumento con base en las habilidades del estudio. **Fuente:** Elaboración propia.

Técnica e instrumentos de recolección de datos

Técnicas:

Según [16], es una técnica basada en preguntas, a un número considerable de personas, utilizando cuestionarios que, mediante preguntas efectuadas en forma personal, telefónica, o correo, permiten indagar las características, costumbres, hábitos, gustos, conocimientos, modos y cualidades de vida. Por tal razón, en la presente investigación se aplicó una encuesta que estuvo dirigida a los trabajadores (altos mandos) con respecto a la muestra de estudio; de los cuales cuatro directivos cuentan con grado de maestría y seis con Licenciatura, asimismo se encuentran en un promedio de 40 años y con respecto al género sexo femenino fueron tres y sexo masculino siete, respectivamente. La elaboración fue personal, siguiendo el objetivo de la presente indagación y bajo la escala de Likert (5 categorías). Además de ello, se empleó otra técnica de relación de datos es la observación, mediante la cual se logró identificar toda la información necesaria para el desarrollo de la investigación.

Instrumento:

[17], manifiesta que los instrumentos son una táctica utilizada por el investigador de la que se vale para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. Por lo tanto, en esta investigación se empleó el cuestionario de tipo escala Likert, de 1 a 5, donde 1 es mínimo y 5 máximo, el cual estuvo integrado por 49 ítems.

Cuestionario:

Sobre el cuestionario, [18] afirma que es un conjunto escrito de preguntas que se les da a las personas con el fin de recopilar hechos u opiniones sobre algo. Al respecto, en la presente investigación para la recopilación de datos se diseñó un cuestionario de 49 ítems, distribuidos con base en las habilidades de estudio en la que se centra la presente investigación, como se puede observar en la tabla 2. El cuestionario fue de tipo escala Likert, de 1 a 5, donde 1 es mínimo y 5 máximo. Asimismo, la aplicación del instrumento se realizó durante el mes de junio de 2023, fecha en la que se compartió el enlace del cuestionario a los empresarios de las diferentes empresas que conforman la muestra, quienes dieron respuesta vía remota a través la aplicación de Forms (Microsoft 365), con el fin de recabar información relevante para la presente investigación.

Validez y confiabilidad del instrumento.

Validez

Haciendo referencia a Carrasco, según [19], la validez se define como el grado en que una medida refleja con precisión la característica, característica o dimensión que pretende medir. La validez existe en varios grados y el tipo de validez debe caracterizarse sobre la prueba. En este sentido, fue necesario validar el instrumento para que tenga un grado óptimo de aplicabilidad. Este instrumento (cuestionario) fue validado según la opinión del juicio de los expertos.

Opinión de expertos

 ISSN: 2007 8102

El instrumento fue puesto a consideración por un grupo de expertos, el cual estuvo integrado por tres docentes investigadores y catedráticos de la Universidad Politécnica de Atlautla, cuyos perfiles pertenecen al área de administración. Dos de ellos cuentan con grado de doctorado y uno con maestría, por lo que sus opiniones fueron importantes. Determinaron que el instrumento presenta una validez significativa, dado que responde al objetivo de la investigación; así como también precisan su validez interna, lo cual se puede apreciar en la tabla 3.

Experto	*Aplicabilidad*
Metodólogo	Aplicable
Temático	Aplicable
Redacción	Aplicable

Tabla No. 3. Jurados expertos **Fuente:** Elaboración propia.

Confiabilidad

Para [14], la confiabilidad de un instrumento de medición se refiere a la medida en que el instrumento proporciona resultados consistentes y coherentes. Por ello, para determinar la confiabilidad del cuestionario, se aplicó la prueba estadística de fiabilidad Alfa Cronbach, en la que se obtuvo α=0.925, demostrando así que el instrumento es confiable y que resulta viable para su aplicación, misma que se muestra en tabla 4.

Alfa de Cronbach	*No. de elementos*
.925	49

Tabla No. 4. Estadística de fiabilidad **Fuente:** Elaboración propia.

Una vez que se determinó la validez y confiablidad del instrumento, se procedió a su aplicación a la muestra de 10 empresas, las cuales se encuentran ubicadas en el Estado de México.

Análisis de los datos

El tratamiento estadístico de los datos se realizó por medio de la estadística descriptiva, pues era necesario ordenar los datos mediante tablas y gráficos que ayudaran a interpretar los cuestionarios contestados. Además de ello, se utilizó Microsoft Excel y el programa SPSS® 25.0 para Windows®, donde se concentró la información recopilada en una base de datos y consecutivamente se empleó el programa SPSS® 25.0 para diferentes tipos de análisis, siendo el primero de Alfa de Cronbach y el análisis de medias para conocer en nivel de percepción.

Resultados y discusión

En el análisis de estadísticos descriptivos por media entre ítems se muestran las habilidades más altas y que son demandadas por los empleadores de las organizaciones encuestadas. En la tabla 5, así como en el gráfico 1, se resumen por grado de importancia de mayor a menor, en donde se resalta el valor promedio según las respuestas obtenidas en el instrumento de tipo escala Likert. Entre las cinco habilidades más relevantes se encuentran: Pensamiento analítico e innovación (23.40), Resolución de problemas complejos (23.00), Liderazgo e influencia social (23.00), Orientación al servicio (22.90) y Aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje (22.80), respectivamente.

	N	Media entre ítems
Pensamiento analítico e innovación.	10	23.40
Resolución de problemas complejos.	10	23.00
Liderazgo e influencia social.	10	23.00
Orientación al servicio.	10	22.90
Aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje.	10	22.80
Resiliencia, tolerancia al estrés y flexibilidad.	10	22.70
Uso, seguimiento y control de la tecnología.	10	22.50
Inteligencia emocional.	10	22.10
Pensamiento crítico y análisis.	10	20.60
Persuasión y negociación.	10	17.20
N válido (por lista)	10	

Tabla No. 5. Estadística descriptivos por media entre ítems.

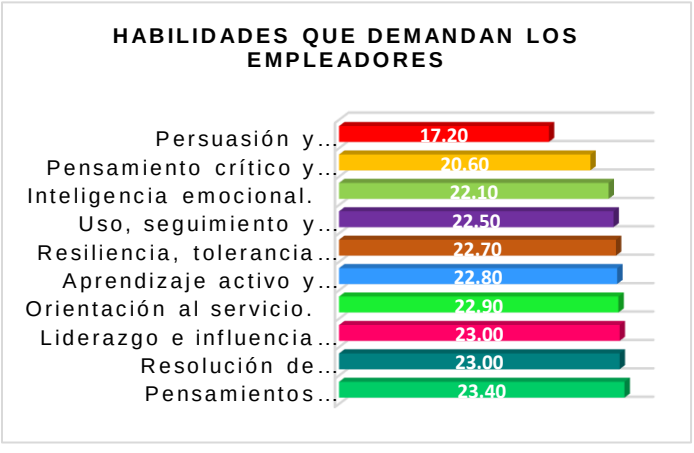


Gráfico No. 1. Estadísticos descriptivos por media entre ítems.

 ISSN: 2007 8102

Con base en la tabla 6, así como en el gráfico 2, se muestra el porcentaje total que se obtuvo en cada una de las habilidades más demandadas por los empleadores encuestados, determinando que estas son las cinco habilidades más solicitadas por ellos; es decir, las que deberían poseer los egresados universitarios al momento de pretender incursionarse en el campo laboral. La primera a considerar fue la de Pensamiento analítico e innovación (93.60 %); la segunda, Resolución de problemas complejos (92.00 %); la tercera, Liderazgo e influencia social (92.00 %); la cuarta, Orientación al servicio (91.60 %), y quinta y última, habilidad de Aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje (91.20 %).

	N	Porcentaje total con base a cada habilidad
Pensamiento analítico e innovación.	10	93.60
Resolución de problemas complejos.	10	92.00
Liderazgo e influencia social.	10	92.00
Orientación al servicio.	10	91.60
Aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje.	10	91.20
Resiliencia, tolerancia al estrés y flexibilidad.	10	90.80
Uso, seguimiento y control de la tecnología.	10	90.00
Inteligencia emocional.	10	88.40
Pensamiento crítico y análisis.	10	82.40
Persuasión y negociación.	10	68.80
N válido (por lista)	10	

Tabla No. 6. Estadística descriptivos en porcentajes.



Gráfico No. 2. Estadísticos descriptivos en porcentajes.

En la tabla 7 y a la vez en el gráfico 3, se compara la importancia que tienen las habilidades en el sector empresarial al momento en que los egresados universitarios desean incorporarse a laborar; por lo tanto, la universidad debería invertir más en estas habilidades para que los estudiantes puedan adquirirlas durante su formación académica en el aula. En otras palabras, la institución educativa debe adecuar sus planes de estudio a las nuevas demandas de los empleadores de tal manera que se cree un vínculo sólido entre el sector educativo y el sector productivo, que permita la identificación de necesidades. Esta tabla y este gráfico muestran claramente que no existen diferencias significativas entre las habilidades de estudio; en general, en su opinión, los empleadores otorgan una importancia alta a las competencias más valoradas en el sector productivo y una importancia baja a las menos relevantes. Según los empleadores, las habilidades más importantes que deben tener los graduados universitarios para el sector empresarial son: pensamiento analítico e innovación, resolución de problemas complejos, liderazgo e influencia social, orientación al servicio y aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje. En el otro extremo, las competencias menos importantes para ambos se relacionan con el aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje, resiliencia, tolerancia al estrés y flexibilidad, uso, seguimiento y control de la tecnología, Inteligencia emocional, pensamiento crítico y análisis, y persuasión y negociación.

	N	Media entre ítems	Porcentaje total con base a cada habilidad
Pensamientos analítico e innovación.	10	23.40	93.60
Resolución de problemas complejos.	10	23.00	92.00
Liderazgo e influencia social.	10	23.00	92.00
Orientación al servicio.	10	22.90	91.60
Aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje.	10	22.80	91.20
Resiliencia, tolerancia al estrés y flexibilidad.	10	22.70	90.80
Uso, seguimiento y control de la tecnología.	10	22.50	90.00
Inteligencia emocional.	10	22.10	88.40
Pensamiento crítico y análisis.	10	20.60	82.40
Persuasión y negociación.	10	17.20	68.80
N válido (por lista)	10		

Tabla No. 7. Comparativo de estadísticos descriptivos.

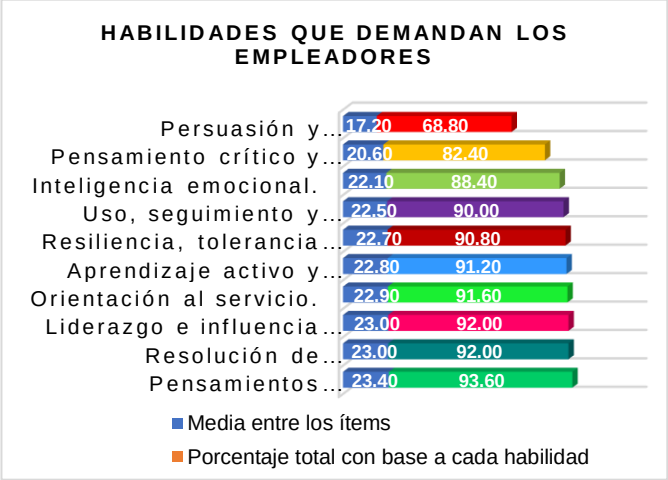


Gráfico No. 3. Comparativo de estadísticos descriptivos.

Además, a los empleadores entrevistados se les hicieron dos preguntas de forma abierta: *¿Qué importancia tiene tener otro idioma en el perfil académico del candidato?* y *¿Qué habilidades tecnológicas debe tener el candidato?*, para saber qué tan importante es para un egresado universitario adquirir un idioma diferente al español y, por otro lado, el manejo de un sistema informático. En cuanto al idioma, los encuestados de las empresas que respondieron la encuesta determinaron qué idioma le gustaría dominar al candidato al ingresar a su empresa. El inglés ocupa el primer lugar con un 90% y el francés el segundo con un 10%. De igual forma, en cuanto al Sistema Informático, manifestaron que por lo menos deben manejar ASPEL, Paquetería de Office, Lenguaje de programación, SAP y Automatización de datos.

En este sentido, se hace necesario impulsar en los profesionales de la universidad nuevos estudios que permitan detectar las debilidades de los planes de estudios que impliquen buenas prácticas profesionales, las cuales ayuden al alumnado en su futura empleabilidad y les permitan afrontar, con mayores garantías de éxito, los nuevos retos que plantea el sector productivo. Para finalizar este apartado, se puede observar que el análisis realizado de las habilidades que determinan la empleabilidad de los egresados universitarios en el Estado de México, es de gran importancia ya que permite tomar decisiones con el fin de que nuestros alumnos emprendan caminos correctos que les permitan encontrar una oportunidad de empleabilidad de manera rápida y con una remuneración sólida. Además, el enfoque tendrá que mirar hacia el área industrial y con énfasis en las grandes empresas ya que son el sector más representativo para la universidad.

Trabajo a futuro

Entre los trabajos a desarrollar en el futuro, conviene incluir otras variables de estudio como las metodologías de enseñanza, el trabajo en equipo, los métodos de aprendizaje, etc., a través de los cuales se podrá obtener información que permita una mayor adaptación de los planes de estudio universitarios, según los requerimientos del sector productivo. Además, sería conveniente complementar este estudio con otros estudios cualitativos y cuantitativos que puedan servir para profundizar en los factores que determinan la empleabilidad de los egresados universitarios. También sería importante realizar estudios comparativos de las instituciones de educación superior en el estado de México para enfrentar los nuevos desafíos del sector empresarial.

Conclusiones

Se concluye que las cinco habilidades más demandas por los empleadores del Estado de México que deben tener los egresados universitarios al momento de pretender incursionarse al campo laboral son: Pensamiento analítico e innovación (93.60 %), Resolución de problemas complejos (92.00 %), Liderazgo e influencia social (92.00 %), Orientación al servicio (91.60 %) y Aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje (91.20 %). Con los resultados obtenidos en la presente investigación se da respuesta al objetivo general, así como a la pregunta de investigación, respectivamente. En cuanto a la hipótesis de investigación, se pudo demostrar con base en los resultados que las habilidades solicitadas por los empleadores son claves para que los egresados universitarios puedan ser contratados, ya que estas son necesarias en todo tipo de puestos, y sirven como base para el desarrollo de las competencias específicas afines a cada área de conocimiento que se desea ocupar dentro de una organización, las cuales son demandas por los empleadores. Además de ello, del total de los empleadores encuestados un 90 % manifestó que los egresados universitarios deben dominar como primer idioma el inglés, mientras que 10 % restante dijo que el francés. A su vez, consideran que los candidatos a determinados puestos deben manejar como sistema informático, por lo menos: ASPEL, Paquetería Office, SAP, Lenguaje de Programación y Automatización de datos.

Con esto concluye el estudio y se dará seguimiento toda observación de los empresarios para mantener la sinergia con el sector productivo del Estado de México, incrementar y fortalecer la estrecha comunicación y vinculación entre ambas partes, así como dar valor en sí mismo y la integración de la disciplina, que permite la formación integral de los estudiantes.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Politécnica de Atlautla por todo su apoyo durante la realización de este proyecto.

ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] Muñoz. C, Dterminantes de la empleabilidad de los jóvenes universitarios y alternativas para promoverlo., México, 2007.

[2] S. e. al, Factores que determinan la empleabilidad de los recién egresados de la carrera de licenciados en administración de empresas., México, 2019.

[3] Succi C. &. C. M., Soft skills to enhance graduate employability: comparing students and employers' perceptions. ESCP Europe Business School., 2019.

[4] R. A. Española, «Empleabilidad,» 2019. [En línea]. Available: https://dle.rae.es/empleabilidad.. [Último acceso: 8 mayo 2023].

[5] H. O. E. y. G. M. Gómez, «El estudio de egresados para la mejora continua de las Universidades: el caso de la Ingeniería en Computación.,» 2017. [En línea]. Available: http://www.ride.org.mx/index.php/RIDE/article/view/279. [Último acceso: 20 Mayo 2023].

[6] L. e. al., « La medida de la empleabilidad en las empresas de inserción en el País Vasco: de la exclusión a la inserción sociolaboral.,» 2012. [En línea]. Available: http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4068207.pdf. [Último acceso: 30 mayo 2023].

[7] B. y. Serna, Las competencias que demanda el mercado laboral de los profesionales del campo económico-empresarial en la actualidad., Lima: Universidad del Pacífico, Centro de Investigación. , 2010.

[8] OECD,«Skills Strategy Diagnostic Paris.,» 2017. [En línea]. Available: https://www.oecd.org/mexico/OECD-Skills-Strategy-Diagnostic-Report-Mexico.pdf. [Último acceso: 3 junio 2023].

[9] CIDAC, «Centro de Investigación para el Desarrollo (CIDAC),» 2014. [En línea]. Available: http://www.cidac.org/esp/uploads/1/encuesta_competencias_profesionales_270214.pdf. [Último acceso: 10 junio 2023].

[10] Francisco, La empleabilidad de los universitarios., Colombia: Pearson, 2020.

[11] E. Iñigo Bajos, La formación de profesionales: una perspectiva desde el mundo del trabajo., Universidad de La Habana, 2020.

[12] M. García, «El desafío de la empleabilidad de los graduados universitarios,» 2021. [En línea]. Available: file:///C:/Users/LUIS%20MARIN/Downloads/revista-conjeturas-sociologicas-no-26-septiembre-diciembre-2021-4.pdf. [Último acceso: 20 junio 2023].

[13] S. y. Hernández, Metodología de la Investigación (5ta. Ed.), México: Mc Graw Hill., 2010.

[14] Hernández e. a., Metodología de la Investigación., México: Mc Graw Hill. , 2010.

[15] Bernal, Metodología de la investigación para Administración y Economía., Colombia: Pearson , 2005.

[16] E. Ander, Introducción a las técnicas de investigación social., Buenos Aires: Mc Graw Hill, 2001.

[17] C. Bernardo, Metodología de la Investigación, Colombia: Pearson , 2010.

[18] D. E. Acosta, Diferencia entre encuesta, entrevista y cuestionario., Espeña : Consideraciones , 2016.

[19] C. Passano, «Percepción de la Seguridad Ciudadana en el Distrito de Comas, 2017. Tesis en opción al grado de Maestría,» 2017. [En línea]. Available: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/17684/Passano_SCE.pdf?sequence=1&isAllowes=y. [Último acceso: 25 junio 2023].

 ISSN: 2007 8102

Consumo alimentario de hogares en Zonas de Atención Prioritaria durante la pandemia, Tijuana, Baja California

Olga Alejandra Sierra López y Belem Dolores Avendaño Ruiz

Facultad de Economía y Relaciones Internacionales de la Universidad Autónoma de Baja California, Calzada Universidad 14418, Parque Industrial Internacional, C.P. 22424, **Tijuana**, *Baja California*

olgasierra@uabc.edu.mx y b_avendano@uabc.edu.mx

Área de participación: *Ingeniería Administrativa*

Resumen

En 2020 la Organización Mundial de la Salud declaró pandemia mundial la diseminación del virus SARS-CoV2 (COVID-19), esto trajo la paralización del comercio mundial, retrasos en las cadenas de producción y distribución, además del cambio en las prioridades de consumo de la población. Durante este tiempo las sociedades enfrentaron retos para preservar la salud, garantizar el ingreso familiar y asegurar el acceso a los alimentos. Aquí se explora algunos resultados, que en esta materia, realizaron los hogares de tres colonias consideradas como Zonas de Atención Prioritaria en Tijuana, Baja California. Mediante el método de encuesta se recolectó información de 261 hogares durante mayo-junio de 2023, se realizó la descripción de la estructura del gasto en alimentos asociado al nivel de ingreso y algunas medidas implementadas para afrontar la pandemia. Se concluye con recomendaciones alternativas para fortalecer las capacidades de las familias y las líneas de investigación futuras.

Palabras clave*: consumo alimentario, seguridad alimentaria, ingresos familiares, capacidades*

Abstract

In 2020, the World Health Organization declared the spread of the SARS-CoV2 virus (COVID-19) a global pandemic. This brought the stoppage of world trade, delays in the production and distribution chains, as well as a change in food consumption priorities of the families. During this time, societies faced challenges to preserve health, guarantee family income, and ensure access to food. Here some results are explored, which in this matter were carried out by the households of three neighborhoods considered as Priority Attention Zones in Tijuana, Baja California. Through the survey method, information was collected from 261 households during May-June 2023, the description of the structure of food spending associated with the income level and some measures implemented to deal with the pandemic were made. It concludes with alternative recommendations to strengthen the capacities of families and future lines of research.

Key words*: food consumption, food security, family income, capacities*

Introducción

Durante el primer trimestre del año 2020 la economía mundial se paralizó por motivo de la pandemia que provocó la diseminación del virus SARS-CoV2 originado en China a finales de 2019. Esta situación afectó de gran manera a la salud de las personas en el mundo y llevó a que los gobiernos implementaran medidas de diferente naturaleza, incluido en algunos casos, el confinamiento de la población, se limitó la interacción cara a cara entre personas y en consecuencia, se detuvieron las actividades económicas y sociales.

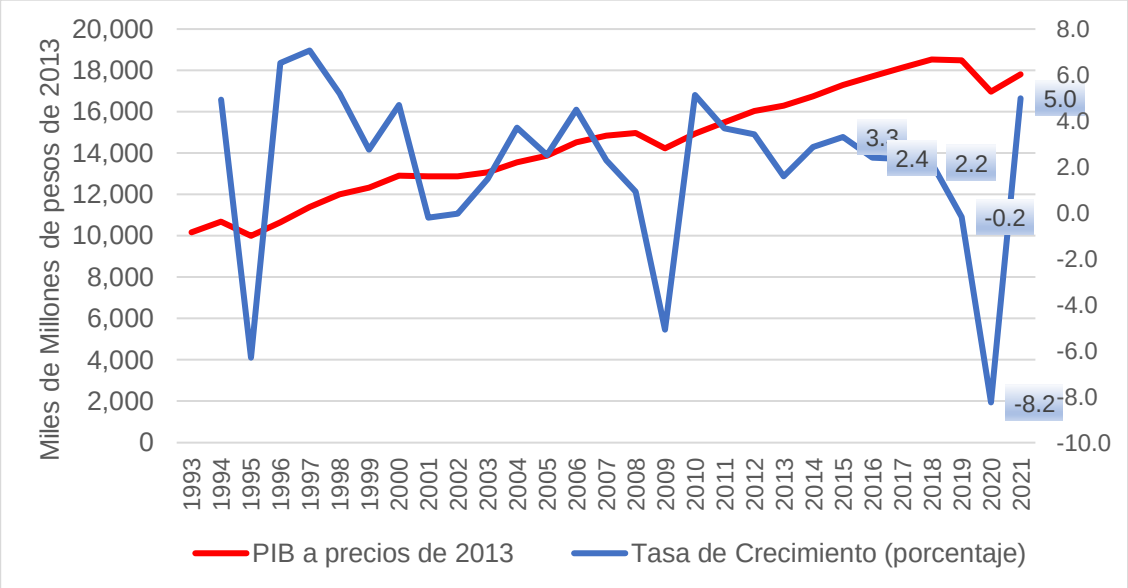
En el caso de México, las medidas comenzaron con la suspensión de las actividades escolares a partir del 16 de marzo del año 2020. A través del Diario Oficial de la Federación del 31 de marzo de 2020 [1], la Secretaría de Salud emitió el Acuerdo de Emergencia Sanitaria y tres meses después, otras Secretarías como la de Educación, Economía, Trabajo y Previsión Social, el Instituto Mexicano del Seguro Social y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, determinaron la suspensión inmediata de las actividades consideradas como no esenciales y

 ISSN: 2007 8102

acotaron el ámbito de aquellas que seguirían operando. En el caso de México, el 1 de junio de 2020 se iniciaría la reapertura socioeconómica mediante un sistema de semáforo epidemiológico, que daría inicio a "una nueva normalidad", en la que se clasificaron como actividades esenciales, todas aquellas relacionadas con los servicios médicos, medicamentos y suministros para la atención de la emergencia sanitaria, así como la seguridad pública; los servicios financieros y comerciales; y la operación de unidades de producción del sector primario, comunicaciones y transportes, entre otras [1].

Mientras tanto, en la esfera económica mundial pre-pandemia, se alertaba de una contracción económica en marcha y una posible recesión era esperada. En el caso de México como se muestra en la figura 1, el crecimiento del PIB pasó de 3.3% en 2017 a 2.2% en 2019, por lo que, debido a la paralización de las actividades económicas durante la pandemia en 2020, la caída de la producción fue del orden de -8.2%, y como suele ocurrir en el ciclo económico, durante 2021, el efecto rebote de la reactivación económica fue del 5%, sin embargo, en términos netos, no fue suficiente para recuperar la caída de los cinco años previos. Si a nivel macroeconómico, los efectos fueron mayúsculos, cabría esperar serías afectaciones negativas a nivel microeconómico, tanto de las unidades familiares y como en el ámbito de los negocios particulares.

Figura 1. Producto Interno Bruto de México, 1993-2022. Elaboración propia con [2]



Junto a la caída de la actividad económica y de su eventual recuperación en 2021, el retornó a la llamada "nueva normalidad" fue gradual, lo cual fue posible al desarrollo y aplicación de vacunas a la población; al mayor acceso de material sanitario para la población en general, que facilitó la interacción segura entre las personas; y también, a que el virus mutó hacia versiones menos letales.

En lo que respecta al consumo alimentario durante ese tiempo, cobraron relevancia y se consolidaron algunas tendencias que venían de los tiempos pre-pandemia, apareció el fenómeno inflacionario en los productos de ese sector, con lo que dificultó la recuperación plena del mercado, los ingresos y el empleo, y la capacidad de las familias para mantener y remontar la pérdida de sus niveles de vida en los años previos. Por ejemplo, la pandemia y la paralización del comercio mundial, ocurrieron en un escenario de guerra entre dos potencias en el mercado de los granos (Ucrania vs Rusia)

En un estudio realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) [3], se afirma que en México, como en el resto de países en desarrollo, está ocurriendo una transformación alimentaria, la cual ha favorecido el crecimiento de la demanda de carnes, lácteos, y productos procesados, por encima del gasto destinado a la ingesta de cereales, leguminosas y verduras. En el estudio señalan que en algunos sectores de la población de bajo ingreso ha aumentado la ingesta de productos procesados, de alto contenido de grasas saturadas y azúcares, que afectan negativamente el estado nutricional de la población. A este respecto, otros señalan que hay una segmentación diferenciada en el consumo alimentario, por lo que conviven patrones de consumo alimentario tradicional, nuevos estilos de vida y otras consideraciones [4], además de que, es indudable que la pandemia incentivó a algunos consumidores a elegir productos asociados a la preservación de la salud y para fortalecer el sistema inmunológico.

Del mismo modo, en otro estudio de la FAO y la Comunidad de Estados Americanos y Caribeños (CELAC) [5], se identifica que los impactos de la pandemia en el comercio mundial de alimentos, ocurrió a través de canales

 ISSN: 2007 8102

tanto de oferta como de demanda. Específicamente, por el lado de la demanda se mencionan los cambios en la proporción del ingreso que los hogares destinan al gasto en alimentos y hubo cambios en sus elasticidades precio e ingreso, que son el resultado de caídas del poder adquisitivo de los hogares, lo cual impacta en la cantidad y calidad de la dieta, es decir, su seguridad alimentaria.

Para contextualizar el trabajo que aquí se presenta, cabe recordar que las Encuestas Nacionales de Ingreso y Gasto de los Hogares (ENIGH), recolectadas por el INEGI tienen como finalidad mostrar el comportamiento bianual de los ingresos y gastos de las familias, su monto, procedencia y estructura [6]. En lo relativo a los ingresos, en la tabla 1 se presenta el ingreso promedio trimestral per cápita y su variación porcentual bianual, ordenando por nivel de ingreso del hogar, desde lo más bajo al más alto en 2016, 2018, 2020 y 2022.

Tabla 1. Ingreso corriente total promedio trimestral per cápita en pesos en zonas urbanas, según deciles de ingreso. Elaboración propia con [4]

Deciles de personas	2016	2018	2020	2022	Variación 2016-18	Variación 2018-2020	Variación 2020-22
Nacional	**19,487**	**18,923**	**17,654**	**20,363**	**-2.9**	**-6.7**	**15.3**
I	3,860	4,024	3,722	4,738	4.2	-7.5	27.3
II	6,426	6,663	6,257	7,600	3.7	-6.1	21.5
III	8,307	8,620	8,112	9,741	3.8	-5.9	20.1
IV	10,224	10,481	9,917	11,861	2.5	-5.4	19.6
V	12,271	12,568	11,926	14,156	2.4	-5.1	18.7
VI	14,667	14,937	14,220	16,781	1.8	-4.8	18.0
VII	17,712	18,014	17,131	20,004	1.7	-4.9	16.8
VIII	22,136	22,228	21,228	24,466	0.4	-4.5	15.3
IX	29,512	29,598	27,940	31,953	0.3	-5.6	14.4
X	69,759	62,096	56,082	62,330	-11.0	-9.7	11.1

Aquí se aprecia que durante 2020, respecto a 2018, hay una caída generalizada del ingreso promedio per cápita en zonas urbanas, la pérdida en la distribución del ingreso es correspondiente con la caída experimentada a nivel de la economía en su conjunto. El Índice de Gini, reportado por [6] de 0.437 entre 2018 y 2020 muestra una mejoría, porque todos los grupos reportaron pérdidas y la distancia entre ellos se redujo, se diría que ocurrió un empobrecimiento generalizado o equidad por empobreciento como señalaron Rubalcava y Cortés en los ochenta [7]. La tabla también muestra que en el año 2020 hubo una recuperación porcentual del ingreso, mayor en los grupos de ingreso bajo.

Según [6] entre 2020 y 2022, la fuente de ingreso más importante son los ingresos por trabajo con 63.7% y 66%, respectivamente, seguida de las transferencias con 17.3% y 16.6% y la renta de la propiedad, con 5.4% y 5.1. De acuerdo con la Encuesta telefónica sobre COVID-19 y Mercado Laboral del INEGI [8], se reporta que de abril a julio de 2020, el 61.2% de los informantes por teléfono en viviendas ocupadas, indicó que su ingreso se había reducido por motivos del COVID-19, mientras que un 38.8% no reportó cambios. De entre quienes vieron reducido su ingreso, alrededor del 46% tuvo que vender patrimonio para sobrellevar dicha disminución.

Así como hubo una contracción de los ingresos, también se reflejó en la reducción del valor del gasto. De acuerdo con datos elaborados a partir de [6], en tabla 2 se presenta la estructura del gasto corriente trimestral promedio del hogar, así como la variación porcentual del gasto monetario promedio en cada grupo de de gasto. En general, el gasto total mostró una reducción del 13% en 2020 y se advierte el aumento del porcentaje destinado a los alimentos, bebidas y tabaco entre los años 2018 a 2020 de 35% a 38% y así se mantiene hasta 2022. En la tabla también se presenta que algunos rubros de gasto variaron más que otros en 2020 respecto a 2018, en este caso se encuentran los Alimentos, bebidas y tabaco (8%), la Vivienda y sus servicios (15.2%), Limpieza y cuidados de la casa (11.6%), Salud (61%) y las Transferencias de gasto recidas de terceros (5.7%).

Tabla 2. Estructura y variación porcentual del gasto corriente trimestral promedio del hogar por grupo de gasto, 2016 a 2022. Elaboración propia con [9]

	Estructura porcentual				Variación porcentual		
	2016	2018	2020	2022	16-18	18-20	20-22
Gasto corriente monetario					1.9	-12.9	17.2

 ISSN: 2007 8102

Alimentos, bebidas y tabaco	35	35	38	38	0.2	8.0	-1.0
Transporte y comunicaciones	19	20	19	19	3.2	-7.0	4.0
Educación y esparcimiento	12	12	8	10	-2.6	-36.6	27.8
Vivienda y servicios	10	10	11	9	0.1	15.2	-13.6
Cuidados personales	7	7	8	8	0.1	8.2	-3.9
Limpieza y cuidados de la casa	6	6	7	6	-0.6	11.6	-7.0
Vestido y calzado	5	4	3	4	-3.1	-33.4	27.7
Salud	3	3	4	3	-2.7	61.1	-20.5
Transferencias de gasto**	3	3	3	3	-4.6	5.7	-6.9
Total	**100**	**100**	**100**	**100**			

Finalmente, con información de [9], entre los grupos que conformaron el rubro de Alimentos y bebidas consumidas dentro del hogar en 2020, los cinco grupos de productos con mayor relevancia porcentual en la estructura de dicho gasto fueron: carnes (23%), cereales (17.3%), Otros alimentos diversos (13.6%), Verduras, legumbres, leguminosas y semillas (11.2%) y leche y sus derivados (9%).
A partir de los elementos presentados en esta sección, el objetivo de este trabajo es explorar los efectos del periodo de pandemia por COVID-19, en el consumo alimentario de las familias de tres colonias del municipio de Tijuana, consideradas dentro de las Zonas de Atención Prioritaria (ZAP), según el Consejo para la Evaluación de la Política Pública (CONEVAL). Partimos de que la información agregada es un punto de referencia, sin embargo, la adaptación específica a las necesidades económicas de las familias varían entre poblaciones y condiciones socioeconómicas en la frontera norte de México, los canales que exploraremos están relacionados con el ingreso, el gasto alimentario y las adaptaciones a partir del periodo de emergencia sanitaria. Dado que se presentan resultados preliminares, en futuros trabajos se abundará posteriormente en el análisis conjunto de la problemática del acceso alimentario y respuesta contigente a dicho periodo de emergencia sanitaria. En la siguientes secciones se presentan la metodología para la recolección de la información, la presentación de los primeros resultados, las consideraciones finales y el futuro de la línea de investigación.

Metodología

El estado de Baja California se encuentra en la región noroeste de México, cuenta con una superficie de 71,450 km^2. A partir de los datos del Censo de Población y Vivienda, 2020, recabados por el INEGI [10], se determinió que Baja California tiene una población de 3.8 millones de habitantes, en la actualidad la entidad se conforma por 7 municipios: Ensenada, Mexicali, Tijuana, Tecate, Playas de Rosarito, San Quintín y San Felipe. El municipio de Tijuana cuenta con una superficie de 1,240 km^2 y registra una población de 1.9 millones de habitantes, es decir, alrededor del 51% de la población de todo el estado.

El criterio territorial para seleccionar las colonias a estudiar surge de la metodología del CONEVAL, la cual permite identificar aquellas que se encuentran ubicadas en lo que determinó como Zonas de Atención Prioritaria (ZAP), es decir, donde su población presenta carencias asociadas a la condición de pobreza multidimensional y marginación social y territorial, por lo que ponen en riesgo su desarrollo social y de capacidades [11].

La información que permite la construcción del Índice de Rezago Social con el que se determinan las ZAP, esta basada en datos que provienen de varias fuentes, tales como el censo de población y vivienda, como de encuestas a hogares y de empleo. Los indicadores sociales que se toman en cuenta muestran que de acuerdo con la medición de la pobreza multidimensional del CONEVAL [12], en Baja California había en 2020 un 1.5% de población en pobreza extrema (alimentaria) y un 22.5% en pobreza. Para ese mismo año, las carencias que aumentaron su incidencia en la población, respecto a la situación de 2018, fueron el rezago educativo (16.1%); acceso a servicios de salud (24%), acceso a la seguridad social (38.9%), mientras que las que reportan una incidencia inferior a la reportada en 2018 fueron: calidad y espacios de la vivienda (6.8%), acceso a servicios básicos en la vivienda (5%) y acceso a la alimentación nutritiva y de calidad (13.4%).

En el análisis que se presenta en este trabajo, nos concentramos en tres colonias que se encuentran al Este del municipio, que es la región hacia donde se da el crecimiento reciente de la marcha urbana y donde la incidencia

 ISSN: 2007 8102

del rezago social es mayor, las colonias seleccionadas son Altiplano, Mariano Matamoros y Nido de las águilas. De acuerdo con CONEVAL [11], el Índice de Rezago Social muestra que la colonia Altiplano registra un índice medio y bajo, Mariano Matamoros, bajo y muy bajo, y Nido de las águilas, medio. En la figura 1 se presentan la ubicación geográfica de las tres colonias en el municipio.

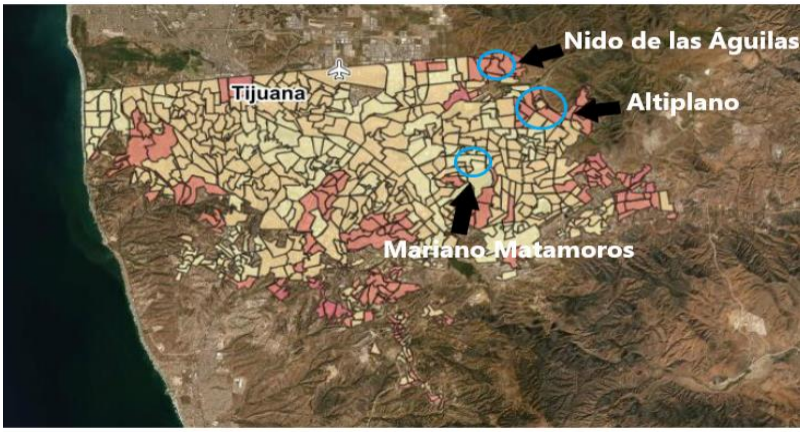


Figura 1. Ubicación territorial de las colonias Altiplano, Mariano Matamoros y Nido de las águilas en el mapa municipal de Tijuana, Baja California. Tomado de [12]

Estimación de la muestra

De acuerdo con [10], la población de estas colonias se distribuyó como como se muestra en la tabla 4:

Tabla 3. Distribución de la población y viviendas habitadas en las colonias Altiplano, Mariano Matamoros y el Nido de las águilas, 2020. Elaboración propia con [8]

Colonia	Viviendas habitadas	Población	Número de viviendas muestreadas por colonia
Altiplano	2,697	8,975	124
Mariano matamoros	2,920	9,986	121
Nido de las águilas	918	3,665	16
Total	6,535	22,626	261

La muestra se estimó a partir de tomar el 100% de las viviendas habitadas y se utilizó la fórmula para el cálculo de muestras finitas, tomando un nivel de significancia de 90% (Z), un margen de error de 5% (ε), y una probabilidad de ocurrencia del 50% (p):

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

Después de aplicar la fórmula, resulta una muestra de 261 viviendas, el objetivo es identificar un hogar en cada una de ellas.

Desarrollo

Basados en la recolección de información de 261 casos de hogares de tres colonias de la zona este del municipio de Tijuana, Baja California y con la finalidad de explorar el impacto de la pandemia por COVID-19 en su el gasto alimentario y otras variables de interés. En los resultados que se presentan a continuación se describirán algunas

 ISSN: 2007 8102

características relativas a la composición del hogar por edades de su miembros. En adelante, cuando se hace referencia al hogar, se trata de una agrupación de personas que comparten el gasto en alimentos, según [6].

El tamaño promedio de integrantes por hogar es de 3.9 miembros, con una desviación estándar de 1.7 miembros, el 6% son hogares unipersonales, mientras que el tamaño máximo del hogar es de 10 miembros. Basado en lo anterior, se puede decir que en promedio el tamaño del hogar es ligeramente superior al promedio nacional que es de 3.6 personas [9]. De acuerdo con la información de la tabla 4, el 62% de los hogares está conformado por 2 a 4 miembros, en el 52.1% no hay menores de 14 años, lo cual es un dato relevante porque es más probable que favorezca la participación en el empleo y el acceso a un ingreso (excepto que se trate de dos adultos mayores); en el 14.2% hay un adulto-mayor, y en el 76.2%, la mayoría de sus integrantes se encuentra en edad laboral, es decir entre 14 a 65 años.

Tabla 4. Tamaño de hogar y edades de sus integrantes en los hogares de las colonias Altiplano, Mariano Matamoros y el Nido de Águilas de Tijuana, B.C. (en porcentajes), 2023. Elaboración propia.

Número de integrantes	Tamaño	Integrantes menores de 14 años	Integrantes de más de 14 a 65 años	Integrantes mayores de 65 años
1	6.1	52.1	2.3	85.8
2	13.8	24.5	9.2	11.1
3	18.4	18.4	29.1	2.3
4	29.5	1.9	26.4	0.4
5	17.2	3.1	20.7	0.4
Más de 5	14.9		12.2	
Total	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**

Respecto a la relación con el mercado laboral de los miembros del hogar, los datos de las colonias mostraron que la media, la mediana y la moda es de 2 miembros con trabajo remunerado, este es un dato también superior a la media nacional que es de 1.7 en 2020 y 2022 [9]. En la tabla 5 se ilustra que tomando como 100% a los miembros que trabajan tiempo completo, alrededor del 67% de los hogares tienen entre 1 y 2 miembros en esa condición, del mismo modo, los hogares cuentan con un 10% de personas que trabajan medio tiempo y un 17%, tiene un integrante que trabaja por horas.

Tabla 5. Número total de miembros con trabajo remunerado y tiempo de dedicación, en los hogares de las colonias Altiplano, Mariano Matamoros y el Nido de Águilas de Tijuana, B.C. (en porcentajes), 2023. Elaboración propia

Número de integrantes	Miembros con trabajo remunerado	Tiempo completo	Medio tiempo	Por horas
0	2	15	86	80
1	31	34	10	17
2	38	33	3	3
3	18	13	0	1
4	12	5	1	0
Total	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**

Con el objetivo de visualizar la posición en el trabajo de los miembros del hogar, en la tabla 6, de nueva cuenta, tomando como 100% a las personas que tienen una posición en el trabajodo, se ilustra que la mayoría de los perceptores de ingreso son empleados en diferentes giros industriales y comerciales, mientras que una proporción menor son empleadores y por cuenta propia.

Tabla 6. Número total de miembros según posición en el empleo, en los hogares de las colonias Altiplano, Mariano Matamoros y el Nido de Águilas de Tijuana, B.C. (en porcentajes), 2023. Elaboración propia.

Número de integrantes	empleados	empleadores	por cuenta propia
0	24	75	81
1	28	18	15

 ISSN: 2007 8102

2	30	5	3
3	11	1	
4	7	1	
Total	**100%**	**100%**	**100%**

Para finalizar esta sección, se presentará la información relativa a los ingresos del hogar y su condición laboral previo y durante la pandemia. En la última columna de la tabla 7 se muestran los porcentajes de hogares por su nivel de ingreso semanal en la actualidad. Para tener un referente, el CONEVAL [14], determinó para el mes de junio de 2020 que el valor de la línea de pobreza per cápita por ingresos para adquirir una canasta alimentaria en zonas urbanas tuvo un valor de $1,688.6 pesos mensuales, lo que equivale a $422.2 pesos semanales, debido a que el CONEVAL actualiza las líneas según el incremento de la inflación, para junio de 2022, la línea de pobreza per cápita alimentaria mensual en zonas urbanas fue de 2,179.4 pesos mensuales, lo que equivale a 545 pesos semanales. A partir de esta información, en la segunda línea se presenta el requerimiento mínimo de ingreso semanal per cápita para acceder a un mínimo alimentario. En este sentido, la tabla mostraría que hay un 3% de hogares de dos miembros que apenas cubren sus requerimientos alimentarios, un 19% de hogares de entre 3 a 5 miembros que están en esta condición y un 61% de los hogares que tienen más de 5 miembros. En resumen, se podría afirmar que la alimentación mínima se alcanza, sin embargo, hay otros satisfactores, tales como el cuidado de la salud, los servicios de la vivienda, y otras necesidades que es probable, queden insatisfechas, dado el ingreso que se obtiene por parte de los miembros del hogar.

Tabla 7. Niveles de ingreso semanal actual, en los hogares de las colonias Altiplano, Mariano Matamoros y el Nido de Águilas de Tijuana, B.C. (en porcentajes), 2023. Elaboración propia.

	Tamaño del hogar				**Total**
Porcentaje de hogares por su tamaño	**1 miembro 6%**	**2 miembros 14%**	**3 a 5 miembros 65%**	**Más de 5 miembros 15%**	**100%**
Línea de pobreza alimentaria	$545	$1,090	$1,635-$2,725	Min: $3,270	
Menos de $1,230 pesos	31%	**3%***			2%
De $1,231A $3,285 pesos	31%	33%	**19%***	**21%***	22%
De $3,286 A $5,411 pesos	19%	44%	34%	**39%***	35%
De $5,412 A $8,628 pesos	19%	14%	41%	39%	35%
Más de $8,628 pesos			6%	7%	3%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

Resultados y discusión

Después de haber mostrado algunas características del los miembros en cuanto a su relación con el mercado laboral, en esta sección nos enfocaremos en el gasto en alimentos de las familias. Los datos recolectados indican que los hogares destinan en promedio el 47% de su ingreso al gasto en alimentos (la mediana y la moda son de 50%), contra un 38% a nivel nacional según [9].

Cuando se analiza el peso del gasto en alimentos en relación al total, para los hogares de las tres colonias de estudio, hay un 7% de hogares que destina hasta el 20% de su ingreso; un 64% que gasta entre un 20% y 50%; y un 28% destina más del 50% (alguno puede gastar hasta 80%). En lo relativo a la asignación por tipo de producto según su importancia porcentual en el gasto son los siguientes: huevo (14%), pan y tortillas (14%), carnes blancas y rojas (13%), leche y sus derivados (11%), Hortalizas (10%), Legumbres (9%), frutas (9%), pescados y mariscos (7%, incluye atún), azúcar y café (6%), refrescos, jugos y bebidas alcohólicas (6%).

Como parte de las preguntas que se hicieron a los informantes del hogar, en relación a algunas medidas que les permitieron aminorar los efectos del periodo de pandemia, en la tabla 8 se han estandarizado las múltiples respuetas para reducir su número y faciliar el análisis. De las respuestas obtenidas resalta el sentido de tomar mejores decisiones de gasto, definir mejor las preferencias y el uso óptimo de los recursos, tal como indican las respuetas con asterísco de la lista presentada. Queda como un pendiente para esta investigación la acción que dice Ninguna, ya que alcanza al 46.4% de los hogares, por lo que no es muy claro, si ya era una forma de vida utilizar algunas medidas de las medidas que fueron mencionadas por otros hogares y que las implementaron por

ISSN: 2007 8102

motivos de la pandemia. En general, se podría decir que la mitad de los hogares encuestados han implementado medidas paliativas para sobrellevar las variaciones de los ingresos y gastos al interior del hogar.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 8. Acciones emprendidas por los hogares para proteger su ingreso y gasto durante el periodo de pandemia de las colonias Altiplano, Mariano Matamoros y el Nido de Águilas de Tijuana, B.C. (en porcentajes), 2023. Elaboración propia.

Acción implementada	Porcentaje
Ahorrar en luz y agua	1.9
Ahorrar en todo sentido y administrar el dinero*	14.6
Ajustar la dieta	0.4
Ayuda familiar	1.1
Buscar despensas del gobierno	0.4
Compartieron casa con otros familiares para reducir en el pago de la renta	0.4
Cuidar la salud	1.1
Emprendió un negocio	0.4
Gastaron los ahorros	1.5
Gastar en lo esencial, buscar precios más bajos o productos sustitudos en alimentos y otros productos en general*	12.3
Limitar salidas recreativas	1.5
Ninguna	46.4
Reciclar y reutilizar	1.1
Solicitó prestamos	0.8
Tomar horas extra, aumentar el número de quienes trabajan, trabajar desde casa	5.4
Vender (comida, ropa, en general, en internet)*	10.7
	100

Trabajo a futuro

Debido a que en esta instancia, se ha iniciado con la descripción exploratoria de las dinámicas familiares en su condición de ingresos y conducta respecto al gasto, lo siguiente será establecer las relaciones del ingreso con la composición y tamaño del hogar, así como sector económico del cual provienen sus ingresos. En seguida sistematizar la información sobre sus preferencias por tipo de productos en los grupos de carnes, leguminosas, y frutas y verduras, lo cual nos permitirá inferir algo sobre la calidad y cantidad de su dieta, ya que contamos con la información sobre la composición del hogar por edades.

Conclusiones

En el año 2020 en el marco de un escenario internacional de desaceleración económica, se desató una pandemia global, que frenó el comercio mundial y la interacción social entre las personas, sus efectos fueron de gran magnitud en todos los ordenes de la vida de la población. En el caso de México este contexto mundial se tradujo en una caída de más del 8% de su producto interno bruto y provocó efectos adversos en la mayoría de los sectores económicos, los mercados laborales y la economía de las familias.

A partir de la información relativa al ingreso y gasto de las familias de tres colonias del munipio de Tijuana, que son: Altiplano, Mariano Matamoros y Nido de las Águilas, localizadas en Zonas de Atención Prioritaria, se ha presentado una análisis exploratorio de la situación que enfrentaron en ese ámbito.

Los resultados que hemos mostrado se refieren a la composición del hogar, su tamaño, nivel de ingreso y relación con el gasto alimentario. Estos servirán, en un segundo momento, como la base para formular un diagnóstico, que identifique a aquellos hogares a quienes se les puede favorecer con acciones para mitigar los impactos de escenarios tan adversos como los que se vivieron en los años recientes, mediante estrategias de racionalización del gasto y talleres que favorezcan el desarrollo de las capacidades de sus miembros.

Referencias

[1] Diario Oficial de la Federación. 29 de Mayo de 2020. Acuerdo por el que se establecen los Lineamientos Técnicos Específicos para la Reapertura de las Actividades Económicas. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5594138&fecha=29/05/2020#gsc.tab=0

[2] INEGI. Economía y Sectores Productivos. [En línea]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/temas/pib/#Tabulados

[3] FAO. El sistema alimentario en México. Oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible. 2019. [En línea]. Disponible en: http://www.fao.org/3/CA2910ES/ca2910es.pdf

[4] Deloitte. (2019). The future of fresh. Strategies to realize value in the fresh food category. https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/retail-distribution/future-of-fresh-food-sales-consumer-demand-strategies.html

[5] FAO y CELAC. Seguridad Alimentaria bajo la Pandemia de COVID-19. Santiago de Chile. 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/docs/covid19/Boletin-FAO-CELAC.pdf

[6] INEGI. Encuestas Nacionales de Ingreso y Gasto de los Hogares, varios años. 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2020/

[7] Rubalcava, R., & Cortés Cáceres, F. Autoexplotación forzada y equidad por empobrecimiento: la distribución del ingreso familiar en México, (1977-1984): El Colegio de México, 1991.

[8] INEGI. Encuesta telefónica sobre COVID-19 y Mercado Laboral (ECOVID-ML). [En línea]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/investigacion/ecovidml/2020/

[9] INEGI. Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto 2022. Presentación de resultados. [En línea]. https://www.inegi.org.mx/app/saladeprensa/noticia.html?id=8320

[10] INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020. Número de habitantes. Baja California. [En línea]. Disponible en: [En línea]. Disponible en: https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bc/poblacion/.

[11] CONEVAL. Medición de la pobreza. Criterios Generales para la Determinación de las Zonas de Atención Prioritaria, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Criterios-ZAP.aspx#:~:text=De%20acuerdo%20con%20el%20artículo,de%20marcadas%20insuficiencias%20y%20rezagos

[12] CONEVAL. Estadísticas de pobreza en Baja California. [En línea]. Disponible en: https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/BajaCalifornia/Paginas/principal.aspx

[13] CONEVAL**.** Rezago Social por municipio, 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Rezago_social_AGEB_2020.aspx.

[14] CONEVAL. Líneas de pobreza en México. [En línea]. Disponible en: https://www.coneval.org.mx/Medicion/Documents/Lineas_bienestar/Lineas_de_pobreza_COVID_19_junio_2020.pdf

ISSN: 2007 8102

Estrategias para desarrollar la resiliencia de las microempresas del sector abarrotero

Rojas Santiago Cynthia Noemi[1], Rodríguez Lázaro José[2], Barradas Martínez María del Rosario[3]
[1]Universidad Tecnológica de la Mixteca, cynthia31@outlook.es, [2]Universidad Tecnológica de la Mixteca, siac08@yahoo.com.mx, [3]Universidad Tecnológica de la Mixteca, rosario_barma@yahoo.com.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

El sector de abarrotes forma parte importante de la economía de un país en vías de desarrollo, por su contribución en la generación de empleos e ingresos, sin embargo, éste se ha visto afectado por las diferentes crisis que se han presentado a lo largo de los años además del incremento desmedido de la competencia por parte de las tiendas de conveniencia y de autoservicio. El objetivo de esta investigación cualitativa fue diseñar estrategias de comercialización para impulsar la permanencia en el mercado de las microempresas de abarrotes de la ciudad de Huajuapan de León, Oaxaca. Con base en los resultados obtenidos se concluye que las estrategias enfocadas en el producto, precio, plaza y promoción, deben centrarse principalmente en el aumento de la variedad de productos y servicios adicionales, además de considerar lineamientos específicos en la exhibición de productos, y transmitir a los clientes los beneficios otorgados por los proveedores.

***Palabras clave**: estrategias, resiliencia, microempresa de abarrotes, crisis.*

Abstract

The grocery sector is an important part of the economy of a developing country, due to its contribution to the generation of jobs and income, however, it has been affected by the different crises that have occurred over the years in addition to the excessive increase in competition from convenience and self-service stores. The objective of this qualitative research was to design marketing strategies to promote permanence in the market of grocery microenterprises in the city of Huajuapan de León, Oaxaca. Based on the results obtained, it is concluded that the strategies focused on the product, price, place and promotion, should focus mainly on increasing the variety of additional products and services, in addition to considering specific guidelines in the display of products, and transmitting to customers the benefits granted by suppliers.

***Key words**: strategy, resilience, grocery microenterprise, crisis.*

Introducción

En México, el 95.0% de las empresas son de tamaño micro (de 0 a 10 personas ocupadas), el 4.0% de las empresas son pequeñas (11 a 50 empleados), el 0.8% son medianas (51 a 250 empleados) y el resto pertenecen a grandes empresas. Las micro, pequeñas y medianas empresas representan el 99.8% del total nacional de los establecimientos en el país, estas emplean el 68.4% del personal ocupado total en México y generan el 52.2% de los ingresos [1]. En el estado de Oaxaca, y específicamente en Huajuapan de León, el comercio es una de las principales actividades económicas, del total de unidades económicas contabilizadas en la ciudad, el 42.8% corresponden a esta actividad [2].

Las microempresas de abarrotes son parte importante de la economía de la ciudad de Huajuapan de León, por su contribución en la generación de ingresos y creación de empleos. En esta ciudad predominan las actividades del sector terciario, teniendo como ocupación principal el comercio al por menor. Según cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía en mayo de 2015 se tenían registradas 615 microempresas abarroteras y hasta julio de 2022 había 543, lo que significa el cierre de 72 empresas del sector de abarrotes, presentando una disminución del 11.71% [3].

 ISSN: 2007 8102

Las causas de cierre de estas empresas son multifactoriales, según Hernández [4] las más frecuentes son: la falta de clientes, una deficiente administración y la competencia desleal en el mercado; aunado al crecimiento desmedido de las tiendas de conveniencia. A este respecto, Cuauhtémoc Rivera, presidente de la Asociación Nacional de Pequeños Comerciantes (ANPEC) refirió que "cuando abre una tienda de conveniencia cierran hasta cinco establecimientos comerciales de barrio" [5]. En el caso particular de Huajuapan de León, además de las tiendas de conveniencia como Super Plus y Wilcon24 también ha influido la presencia de tiendas de autoservicio pertenecientes a grandes cadenas, por ejemplo, Bodega Aurrera y Mercado Soriana.

De las empresas que cerraron durante ese período, se desconocen las causas que influyeron en esta decisión, no obstante, como se mencionó anteriormente existe evidencia de que en los últimos años las microempresas abarroteras se han visto afectadas por la entrada de las tiendas de conveniencia y de autoservicios, aunado a las medidas sanitarias derivadas por la pandemia de COVID-19 [6], [7], [8].

Bajo este escenario, el objetivo de esta investigación consiste en diseñar estrategias de comercialización para desarrollar la resiliencia de las microempresas del sector abarrotero en la ciudad de Huajuapan de León, Oaxaca.

Estrategias de comercialización

La estrategia se concibe como un conjunto de acciones encaminadas al logro de los objetivos [9], las cuales son adoptadas por los gerentes de la organización e implementadas en los diferentes niveles, no importando si la organización cuenta con planes previamente establecidos, dado que estas pueden implementarse en situaciones imprevistas [10], ya sea por factores internos o externos que la afecten directamente; sin embargo, para llevarlas a cabo es necesario que se destinen recursos, influyendo de manera directa en las finanzas en el largo plazo, produciendo un impacto en toda la organización [11], además de crear un mayor valor para los clientes Bayón [12].

Respecto a las estrategias de comercialización, denominadas también como estrategias de marketing o de mercadotecnia, son aquellas actividades previamente planeadas y estructuradas que se realizan para el logro de objetivos y metas relacionadas con el marketing, por ejemplo; dar a conocer un producto de nueva creación, el aumento de ventas o una mayor participación dentro del mercado [13].

Este tipo de estrategias están integradas por el producto, precio, plaza y promoción. La estrategia de producto es la “combinación de bienes y servicios que la empresa ofrece al mercado meta. Incluye: variedad, calidad, diseño, características, marca, empaque y servicios”. La estrategia de precio “es la cantidad de dinero que los clientes deben pagar para obtener el producto. Incluye: precio de lista, descuentos, bonificaciones, periodo de pago y condiciones de crédito”. La estrategia de plaza contempla las actividades enfocadas en que “el producto esté disponible para los clientes meta, tales como canales, cobertura, ubicación, inventario, transporte y logística”. La estrategia de promoción **“**se refiere las actividades que comunican los méritos del producto y persuaden a los clientes meta a comprarlo, como la publicidad, las ventas personales, la promoción de ventas y las relaciones públicas” [14].

Las estrategias de comercialización ofrecen múltiples beneficios a todas las empresas, en el caso particular de las microempresas, su aplicación tiene un impacto directo en el incremento de sus ventas, en la introducción de nuevos productos, además de que posibilita su ingreso a un nuevo segmento de mercado.

Resiliencia en el contexto empresarial

La resiliencia se define como la “capacidad de adaptación de un ser vivo frente a un agente perturbador o un estado o situación adversos” [15]. Aplicado en un contexto empresarial, “expresa la capacidad de una organización o de sus partes para responder rápidamente a la incertidumbre” [16], a través de acciones o estrategias para permanecer funcionando a pesar de obstáculos que se presenten en su entorno, ya sea interno o externo, por ello, es necesario que se exploten sus fortalezas, se disminuyan sus debilidades, se identifiquen las oportunidades y se afronten sus amenazas.

Esta capacidad de adaptación se ha observado en las empresas de todo el mundo, y específicamente en las microempresas de abarrotes de la ciudad de Huajuapan de León, ya que las acciones implementadas les han permitido resistir a las diferentes circunstancias que se han presentado, ya sea al incremento de la competencia en el mercado por la introducción de tiendas de conveniencia y autoservicios o las diferentes circunstancias que afectan de manera directa su operación.

 ISSN: 2007 8102

Microempresas de abarrotes ante situaciones de crisis

El término microempresa hace referencia a una unidad productora que cuenta con menos de 10 colaboradores, incluyendo al propietario, su familia y personal eventual o fijo. Se caracteriza por su uso limitado de maquinaria, bajos o nulos niveles de capacitación y productividad, además de que su nivel de ingresos es bajo, por lo regular no tienen excedentes en los ingresos y es inestable económicamente [17].

Las tiendas de abarrotes en México tienen su origen en la época de la conquista [18] el concepto “abarrotes” comenzó a utilizarse en las colonias españolas de América, donde los establecimientos de venta quedaban “abarrotados” de víveres y otros productos. En este contexto, las microempresas de abarrotes se definen como aquellas empresas que cuentan con menos de 10 trabajadores, y que en su oferta ofrecen productos de canasta básica, bebidas, botanas, lácteos, embutidos, dulces, harinas y pan, así como productos para la higiene personal y limpieza del hogar.

Considerando que la actividad principal de la ciudad de Huajuapan de León es el comercio [19], la importancia de las microempresas de abarrotes es fundamental para la generación de empleos y la obtención de ingresos de las familias huajuapeñas, de ahí la importancia de proponer estrategias de comercialización para su permanencia en el mercado.

En lo que refiere a la crisis, esta se define como aquella situación mala o difícil [20], que se presenta en un ámbito social, cultural, económico, político, ambiental, salud pública, entre otros, afectando a un país, una persona o una empresa. En el contexto de los negocios, una crisis es un acontecimiento que tiene efectos desfavorables, sin embargo, algunas empresas pueden usarla como una oportunidad de crecimiento [21].

De acuerdo con Instituto Nacional de Estadística y Geografía [22] durante la crisis sanitaria de 2020, la mayoría de las empresas registraron afectaciones económicas (93.2%), principalmente en la disminución de sus ingresos (91.3%), sobre todo en las PyMES (87.8%) y las micro (92%).

El Estudio sobre la Demografía de los Negocios 2020 [23] menciona que de los 4.9 millones de establecimientos micro, pequeños y medianos, se estima que sobrevivieron el 79.19%, es decir 3.9 millones, mientras que el 20.81% de los establecimientos (1 millón 10 mil 857) cerraron sus puertas definitivamente.

Existen diferentes tipos de crisis que han afectado a las empresas, en Huajuapan de León, la pandemia tuvo un impacto muy fuerte en cuanto a las ventas de las microempresas de abarrotes, debido a esto, se implementaron distintas acciones para contrarrestar esta adversidad.

Metodología

La investigación tuvo un enfoque cualitativo, con alcance exploratorio, de tipo descriptivo y transversal. Para conocer las estrategias y acciones que han implementado los microempresarios abarroteros para permanecer en el mercado se realizó un cuestionario con dos secciones, la primera relacionada a los datos del microempresario y de las tiendas de abarrotes, y la segunda relacionada a la mezcla de la mercadotecnia, en la cual se incluyeron preguntas relacionadas al aumento de la oferta de productos, los servicios adicionales que ofrecen, la determinación de los precios, los factores que ayudan en la preferencia del consumidor (limpieza, orden), así como la exhibición de los productos, del mismo modo se incluyó las ofertas y promociones, y acciones implementadas durante la pandemia.

Determinación de la muestra

La población estuvo conformada por 52 microempresas, registradas en el DENUE [24], pertenecientes al sector de comercio al por menor en tiendas de abarrotes, ultramarinos y misceláneas ubicadas en la zona centro de la ciudad de Huajuapan de León, Oaxaca. Para ello, se utilizó la fórmula de Crespo [25] para poblaciones finitas, donde: el tamaño de la población de 52 microempresas, el margen de error de un 5%, el nivel porcentaje de confianza de un 95%, la probabilidad a favor de 50%, la probabilidad en contra del 50%. Al considerar estos datos, la muestra para esta investigación fue de 46 empresas.

La técnica de muestreo que se utilizó en esta investigación fue no probabilística por conveniencia, de acuerdo con Otzen y Manterola, [26] mencionan que esta técnica “permite seleccionar aquellos casos accesibles que acepten ser incluidos. Esto, fundamentado en la conveniente accesibilidad y proximidad de los sujetos para el

 ISSN: 2007 8102

investigador". Debido a que no se tenía la certeza de que los microempresarios abarroteros estuvieran interesados en colaborar en la investigación.

Preparación

Para recopilar la información se diseñó un cuestionario estructurado en dos apartados: el primero, incluyó preguntas sobre aspectos generales del empresario (edad, escolaridad, género y años de experiencia) y del negocio (nombre de la tienda, año de inicio de operaciones, número de personas y miembros de la familia que colaboran en el negocio); y el segundo, se integró con 22 preguntas relacionadas con la mezcla de la mercadotecnia, producto, precio, plaza y promoción.

Desarrollo

El cuestionario se aplicó de manera presencial a 33 microempresarios abarroteros de la zona centro de la ciudad de Huajuapan de León, durante el periodo del 6 al 12 de octubre de 2022.

Resultados y discusión

Datos generales de los microempresarios y microempresas de abarrotes

Respecto a los datos generales, se identificó que el 36.4% de los microempresarios abarroteros participantes en el estudio son personas que se encuentran en un rango de edad entre 23 y 33 años, seguido de un 30.3% entre 45 y 55 años; en cuanto al nivel de escolaridad, se observó que el 57.6% tiene estudios de nivel medio superior. Además, se concluyó que el 66.7% son del género femenino y el 69.8% tiene entre 1-10 años de experiencia en el negocio.

Tabla 1. Resultados del instrumento respecto a los datos generales del microempresario

Edad	%	Escolaridad	%	Género	%	Años de experiencia	%
23-33	36.4	Primaria	12.1	Femenino	66.7	1-10	69.8
34-44	18.2	Secundaria	27.3	Masculino	33.3	11-20	15.1
45-55	30.3	Medio Superior	57.6			21-30	9.1
56-66	9.1	Nivel Superior	3.0			31-40	3.0
67-77	3.0					41-50	0.0
78-88	3.0					51-60	3.0
Total	100.0	Total	100.0	Total	100.0	Total	100.0

Respecto a la antigüedad en el giro, se detectó que el 70.0% de las microempresas abarroteras participantes en el estudio iniciaron operaciones entre 2010-2019, mientras que el 12.0% entre 2000-2009. En lo que se refiere al número de colaboradores, se encontró que el 45.5% únicamente tiene un trabajador, el cual es el mismo dueño, no obstante, el 45.5% cuenta con dos trabajadores -incluyendo al dueño-. Un aspecto a destacar es que, en el 69.7% de los establecimientos, los colaboradores no forman parte de su familia, únicamente el 30.3% tiene laborando dentro de la empresa, entre 1 y 2 miembros de la familia (véase tabla 2).

 ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Resultados del instrumento respecto a los datos generales de la microempresa de abarrotes

Año de inicio de operaciones	%	Número de personas que colaboran en el negocio	%	Miembros de la familia que colaboran en el negocio	%
1960-1969	3.0	1	45.5	0	69.7
1970-1979	0.0	2	45.5	1	3.0
1980-1989	6.0	3	9.0	2	27.3
1990-1999	9.0				
2000-2009	12.0				
2010-2019	70.0				
Total	100.0	Total	100.0	Total	100.0

Acciones que implementaron los microempresarios en la crisis sanitaria (pandemia)

El 55.9% de los microempresarios abarroteros señaló que durante la pandemia no implementó ninguna acción para incrementar sus ventas, debido principalmente:

- Falta de dinero (33.3%) debido a que durante la pandemia las personas se confinaron y no salían de su casa, situación que generó una disminución en sus ventas.
- Miedo a contagiarse de COVID-l9 (33.3%), ya que en el primer año (2020) no había vacuna o un tratamiento.
- Por la falta de personal en los establecimientos (19.1%) no se implementó el servicio a domicilio, aunque este era requerido por los clientes.
- La falta de tiempo (14.3%) dado que los microempresarios tenían otras actividades que realizar, por ejemplo: limpiar los estantes, el piso y la caja, desinfectar la tienda y colocar la protección para no estar en contacto directo con los clientes.

Mientras que, el 44.1% de los microempresarios abarroteros señaló que implementó las siguientes acciones:

- Servicio a domicilio. El 46.7% señaló que este servicio se adoptó porque las personas no querían salir de su casa por miedo a contagiarse, pero únicamente dentro de la zona centro de la ciudad de Huajuapan de León, debido a que no se requería ningún medio de transporte.
- Incremento en la variedad de productos. El 26.8% señaló que los productos que incorporó dentro de su oferta fueron: gel antibacterial y cubrebocas, productos que en ese momento eran muy demandados por los clientes.
- Cumplimiento de las medidas sanitarias. El 20.0% refirió que con la fin de hacer sentir más seguros a los clientes, además de atender las disposiciones en materia de salud, implementó el uso de cubrebocas y el gel en la entrada del establecimiento.
- Venta de alimentos. El 6.5% mencionó que con la finalidad de obtener ingresos para mantener el negocio optaron por la venta de alimentos preparados, ya que durante la pandemia disminuyó la venta de productos que normalmente se ofrecían.

Características que desde la perspectiva de los microempresarios abarroteros favorecen la preferencia del consumidor

En cuanto a las características que favorecen la preferencia del consumidor, se destacan las siguientes: la atención al cliente (43.9%) dado que es de suma importancia tener una buena actitud al momento de vender, esto genera confianza al consumidor para preguntar libremente acerca de la disposición de los productos que no están a la vista. Por otro lado, la ubicación del establecimiento (22.0%) también es importante, porque al estar en la zona centro existe un mayor flujo de personas; aunado a los precios accesibles de sus productos (17.1%) pues son menores en comparación con las tiendas conveniencia (véase figura 1).

 ISSN: 2007 8102

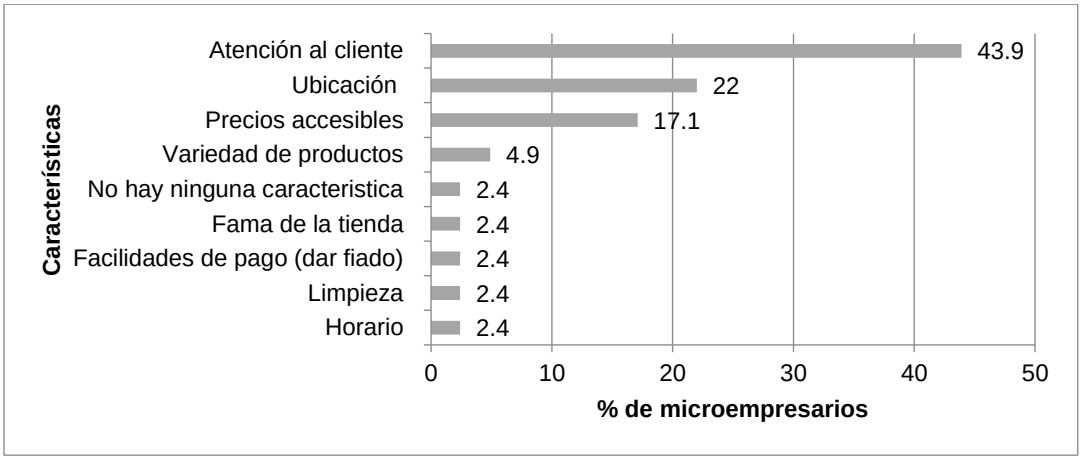


Figura 1. Características de la tienda que desde la perspectiva de los microempresarios abarroteros favorecen a la preferencia de los clientes

Acción o estrategia que ha contribuido en la supervivencia de las tiendas desde la perspectiva de los microempresarios

En la figura 2 se muestran las acciones y estrategias que han contribuido principalmente a la supervivencia de las tiendas en el mercado desde la perspectiva de los microempresarios:

- Atención al cliente. El 39.0% señaló que familiarizarse con el cliente y mantener lazos de amistad ha favorecido el incremento de sus ventas, ya que prefieren comprar en tiendas donde conocen al dueño o encargado.
- Precios bajos. El 16.9% refirió que prefieran comprar en una tienda donde los precios son más bajos, aunque tengan que caminar más.
- Ubicación. El 13.6% mencionó que la ubicación de la tienda juega un papel importante, debido a que el tránsito constante de personas, ayuda a captar más clientes e incrementar las ventas.
- Constancia. El 10.2% señaló que la constancia les permitió mantenerse y no cerrar sus negocios, aún durante la pandemia. Es importante recalcar que los microempresarios abarroteros hacen referencia al concepto de constancia, como aquella voluntad continua para seguir abriendo y operando a pesar de los riesgos para su salud.
- Variedad de productos. El 10.2% refirió que contar con una variedad de productos y diferentes marcas, ayudó a su permanencia, ya que los gustos y preferencias de los clientes son diferentes.

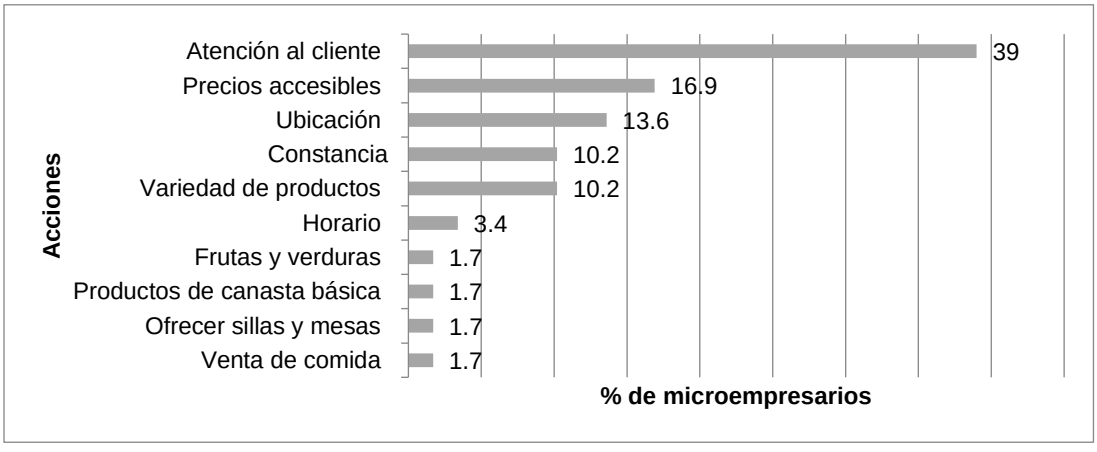


Figura 2. Características de la tienda que desde la perspectiva de los microempresarios abarroteros favorecen a la preferencia de los clientes

 ISSN: 2007 8102

Principales estrategias que han implementado los microempresarios

En la figura 3 se presentan las principales estrategias que han implementado los microempresarios son: el aumento en la variedad de productos, los servicios adicionales (recargas telefónicas, servicio a domicilio, pago de energía eléctrica y pago con tarjeta), los descuentos y las facilidades de pago.

Estrategias	Puntaje (%)	Máximo puntaje (%)
Aumento en la variedad de productos	63.6	100
Servicios adicionales	45.9	100
Descuentos	36.4	100
Promoción (temporal)	30.3	100
Facilidades de pago (fiado)	36.4	100
Pagos en abono	30.3	100

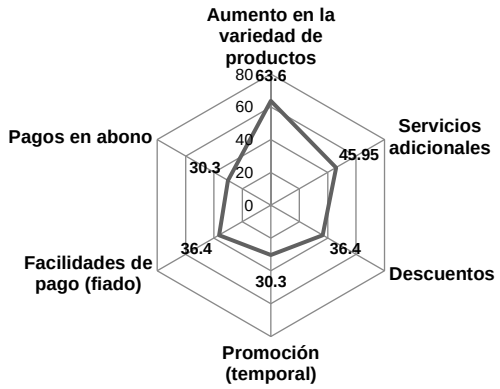


Figura 3. Estrategias más utilizadas por las microempresas abarroteras

Estas estrategias han sido implementadas debido a que los consumidores solicitan directamente al microempresario abarrotero nuevos productos o servicios adicionales, en lo que respecta a los descuentos y promociones se han aplicado principalmente porque los proveedores los ofrecen y en consecuencia los microempresarios también los otorgan, las facilidades de pago (fiado) y los pagos en abono únicamente aplican en el caso de que el cliente sea un conocido o un amigo.

Es importante mencionar que los microempresarios que han implementado estas estrategias se caracterizan principalmente por estar en un rango de edad de 23 a 33 años (52.38%), cuentan con una escolaridad media superior (57.14%), pertenecen al género femenino (71.42%) y tienen una experiencia promedio en el negocio de 9 años.

Propuesta de estrategias de comercialización

Con la finalidad de impulsar la permanencia en el mercado de las microempresas de abarrotes, se proponen diversas estrategias basadas en el producto, el precio, la promoción y el precio. Esta propuesta se integra a partir de la investigación de campo, la cual incluyó la aplicación del cuestionario y observación directa, además se complementó con estudios previos, que abordan la mezcla de mercadotecnia [27] aplicada al sector de abarrotes, así como la determinación de criterios para establecer el precios de los productos [28] y la publicidad aplicada en el lugar de ventas [29].

Producto, se propone que la microempresa de abarrotes aumente la variedad de productos, destinando el 60% para productos alimentarios y el 40% para productos no alimentarios, considerando que cada cliente tiene preferencias diferentes, ya sea por una marca o presentación. Además, de ofrecer servicios adicionales como recargas telefónicas, pago con tarjeta de débito o crédito o transferencia, cobro de servicios de energía eléctrica, servicio a domicilio o pick-up.

Precio, es importante que el microempresario fije el precio de sus productos, considerando los costos fijos y variables, el margen de utilidad y el porcentaje del pago de impuestos, esta fijación de precios aplica para los productos de impulso y no alimentarios. En cuanto a los productos gancho y de consumo popular se recomienda tomar en cuenta el precio sugerido por el proveedor debido a que esta mercancía sirve para atraer a los clientes.

 ISSN: 2007 8102

Plaza, es fundamental tener un establecimiento limpio y ordenado, contar con una fachada que permita identificar la tienda, asimismo, es necesario contar con lineamientos para la exhibición de productos en estantes, vitrinas o refrigeradores, es importante contar con un eficiente manejo de inventarios teniendo como finalidad evitar las mermas o desperdicios, por otro lado, se debe implementar un protocolo en la atención al cliente, con la finalidad de estandarizar el servicio.

Promoción, se recomienda trasmitir los beneficios que otorgan los proveedores a los microempresarios, teniendo como objetivo que se incrementen las ventas y se capte un mayor número de clientes, asimismo en las ofertas que se ofrezcan es necesario incluir el plazo de duración o el volumen de los bienes o servicios ofrecidos, con la finalidad de no hacerse acreedores a una sanción de la Ley federal de protección al consumidor.

Trabajo a futuro

Esta investigación da cabida a futuras investigaciones respecto a la identificación de los factores económicos, sociales y culturales que inciden en la preferencia de los clientes de las microempresas de abarrotes, sobre las tiendas de conveniencia o autoservicios.

Conclusiones

Las empresas deben estar preparadas para enfrentar situaciones de crisis, como parte de su proceso evolutivo y de crecimiento, con las estrategias adecuadas para afrontar los constantes cambios en el comportamiento del mercado y las nuevas demandas de los clientes; de ahí la importancia de desarrollar el concepto de resiliencia en estas. Las organizaciones deben considerar siempre, la posibilidad de que se presenten escenarios no favorables, dado que, al estar inmersas en un sistema, existen situaciones y factores nocivos que pueden afectarlas de manera directa por el entorno en el que se desarrollan y los factores externos puedes convertirse en amenazas para su supervivencia. Contar con estrategias de contingencia para afrontar esos retos es vital para su desarrollo y expansión.

Las microempresas forman parte importante de economía de la ciudad, por un impacto social y económico, de ahí la importancia de impulsar su sobrevivencia. En la ciudad de Huajuapan de León, Oaxaca, las microempresas de abarrotes han implementado diferentes acciones y estrategias con el fin de seguir manteniéndose, destacando: el aumento en la variedad de productos, los servicios adicionales (recargas telefónicas, servicio a domicilio, pago de energía eléctrica y pago con tarjeta), los descuentos y las facilidades de pago.

Considerando el producto, precio, plaza y promoción, se recomienda implementar acciones que ayuden a captar un mayor número de clientes, aumentar sus ventas e influir en la preferencia del consumidor sobre su competencia. Algunas de estas estrategias, son el aumento en la variedad de productos, los servicios adicionales, la determinación del precio considerando la cuota de costos fijos, los costos variables, el margen de utilidad y el porcentaje de pago de impuesto, seguir lineamientos en la exhibición de los productos, el protocolo de atención al cliente, así como la trasmisión de beneficios que ofrecen los proveedores, ya sea descuentos, promociones u ofertas.

Implementar estrategias de comercialización en las microempresas de abarrotes contribuirá a su permanencia en el mercado, así como hacer frente a la creciente competencia por parte de las tiendas de conveniencia y de autoservicio.

Referencias

[1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Estadísticas a propósito del día de las micro, pequeñas y medianas empresas (27 de junio) datos nacionales”, 2020. [Online]. Disponible: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2020/MYPIMES20.pdf [Acceso en Jul. 11, 2023].

[2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Unidades económicas de Oaxaca. [Online]. Disponible: https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx [Acceso en Jul. 11, 2023].

[3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas”. Descarga Masiva, Entidad Oaxaca. Comercio al por menor (2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022), 2022.

 ISSN: 2007 8102

[4] F. C. Hernández, “Factores que influyen en la preferencia de los consumidores entre una tienda de conveniencia Oxxo y una de abarrotes tradicional” 2017
[5] E. Herrera, “Cierran changarros por tiendas de conveniencia”, El Financiero, 2018/04/18 2018.
[6] A. Rodríguez, “Al menos 150 mil 'tenditas' cerraron en definitiva por pandemia de COVID-19”, *El Financiero*, 2020/07/28 2020.
[7] C. Téllez, “Cierran 1 millón de negocios por pandemia”, *El Financiero,* 2021/03/22 2021.
[8] O. Amador, “Ventas minoristas tienen caída récord en 2020”, *El economista*, 2021/02/25 2021.
[9] G. Angel, “Propuesta de estrategias de comercialización para microempresas de dulces cristalizados de Santa Cruz Acalpixca en la delegación Xochimilco”, [Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional], 2009
[10] C. Hill y G. Jones, “Administración estratégica un enfoque integral”, 2011
[11] F. David, “Conceptos de Administración Estratégica”, 2003.
[12] J. Bayon, Fundamentos de estrategia, 2019
[13] N. Jalca, “Estrategias de marketing para la comercialización del maní molido elaborado en el cantón Jipijapa”, [Tesis de licenciatura, Universidad Estatal del Sur de Manabí], 2017.
[14] P. Kotler y G. Armstrong, “Fundamentos de marketing”, 2013.
[15] Real Academia Española, “Definición resiliencia”, 2022.
[16] R. Almanza, P. Calderón y J. G. Vargas, “La resiliencia empresarial elemento clave en el cambio Organizacional” , 2016.
[17] G.Angel, “Propuesta de estrategias de comercialización para microempresas de dulces cristalizados de Santa Cruz Acalpixca en la delegación Xochimilco. [Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional]”, 2009.
[18] S. Campos,” Tienda de abarrotes”, Semiperiodismo, 2013.
[19] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Unidades económicas de Oaxaca, 2022. [Online]. Disponible: https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx [Acceso en Jul. 11, 2023].
[20] Real Academia Española, “Definición crisis”, 2022
[21] I. M. Olis, G.E Reyes, V. Martin y J.V. Villalobos, “Crisis empresarial, factores que influyen y alteran la gestión de las empresas en Colombia”, 2021. [Online]. Disponible: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8229880 [Acceso en Jul. 12, 2023].
[22] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Encuesta sobre el Impacto Económico Generado por COVID-19 en las Empresas”, 2020. [Online]. Disponible: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ecovidie/doc/presentacion_ECOVIDIE.pdf [Acceso en Jul. 11, 2023].
[23] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “El inegi presenta resultados de la segunda edición del ecovid-ie y del estudio sobre la demografía de los negocios 2020”, 2020. [Online]. Disponible: https://inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/OtrTemEcon/ECOVID-IE_DEMOGNEG.pdf [Acceso en Jul. 11, 2023].
[24] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Unidades económicas de Oaxaca, 2022.
[25] R. Crespo, “Formulas y apuntes de Estadística aplicada a las ciencias sociales”, 2013.
[26] T. Otzen, y C. Manterola, “Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio”, 2017.
[27] P. Kotler y G. Armstrong, “Fundamentos de marketing”, 2013.
[28] P. Morales, J. Smeke, y L. Huerta L, “Costos gerenciales”, 2018. [Online]. Disponible: https://www.academia.edu/41287260/Costos_Gerenciales
[29] R. Muñiz, “Marketing en el siglo XXI”, 2014.

 ISSN: 2007 8102

APLICACIÓN CONTABLE DE NORMAS INTERNACIONALES DE INFORMACIÓN FINANCIERA PARA PYMES COLOMBIANAS, EN MÉXICO.

ACCOUNTING APPLICATION OF INTERNATIONAL FINANCIAL REPORTING STANDARDS FOR COLOMBIAN SMES IN MEXICO.

Autores: Irbin Salomón Zavaleta Arellanes[1], Diana Gabriela Gaytán Noyola[2], Mario Andrés Peña Duarte[3], Gloria Almeida Parra[4],*
Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, México; irbin.zavaleta@test.edu.mx[1]
diananoyolag@gmail.com[2]
Universidad de Santander, Colombia; mario.pena@mail.udes.edu.co[3] galmeida@udes.edu.co[4]
***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

Esta investigación es considerada de tipo cualitativa, puesto que los datos recabados fueron analizados, lo que permitió la comparación de datos obtenidos de ambos países, tuvo como objetivo principal aplicar contablemente las Normas Internacionales de Información Financiera para Pymes, que actualmente se aplican en Colombia para lo cual fue necesario contar con información financiera proporcionada por una empresa considerada como Pyme en México, específicamente del municipio de Tianguistenco, con el fin de reconocer las áreas de oportunidad y retos a los que se enfrentara el país si decidiera hacer obligatoria la implementación de estas normas, así mismo se identificaron las posibles dificultades a las que se enfrentarían estas empresas si optara por aplicar las Normas Internacionales de Información Financiera para Pymes, por otra parte dentro de esta investigación también se hace referencia a las similitudes y diferencias que se presentan dentro del sistema contable mexicano y colombiano.

Palabras clave: *Aplicación contable, Normas Internacionales, Información financiera, Sistema contable*

Abstract

The main objective of this qualitative research, since the data collected will be analyzed, which will allow the comparison of data obtained from one country with another, was to apply the International Financial Reporting Standards for SMEs, which are currently applied in Colombia, for which it was necessary to have financial information provided by a Mexican SME, In order to recognize the areas of opportunity and challenges that Mexico would have if it decided to start applying these standards within the country, as well as to identify the possible difficulties that SMEs would face if Mexico opted for the application of the International Financial Reporting Standards for SMEs, this research also refers to the similarities and differences that occur within the Mexican and Colombian accounting systems.

***Keywords**: Accounting application, International Standards, Financial information, accounting system*

Introducción

Las Normas Internacionales de Información Financiera son un conjunto de principios que regulan la expedición y la emisión de Estados financieros en cualquier entidad económica, independientemente de su magnitud. La consolidación de mercados a nivel internacional ha obligado a los países a crear normas financieras sólidas que les permitan competir económicamente y generar dinámicas cambiarias de alcance mundial [1].

Desde el año 2009 Colombia empezó el proceso de convergencia y adopción de Normas Contables Internacionales con la ley 1314 y desde allí el legislador ha emitido decretos que reglamentan y obligan el uso de las Normas Internacionales de Información Financiera Plenas o Pymes, según las categorías designadas previamente a través de dichos decretos.

En México a partir del año 2011 inicio un proceso de simplificación de las Normas de Información Financiera (NIF), en la cual se han modificado diferentes requerimientos para la simplificación y revelación de Estados financieros, todo esto para poder ser usadas por las empresas del país. Los Estados financieros son documentos

ISSN: 2007 8102

de vital importancia para cualquier entidad económica puesto que muestra han vista panorámica de la situación económica, patrimonial, flujos de efectivo, activos, pasivos, utilidades, así como las variaciones en el capital que hubiese o haya sufrido [2].
Actualmente en México todas las sociedades mercantiles, ya sean grandes o pequeñas, están obligadas a presentar Estados financieros, de conformidad con las leyes emitidas en el país, ante la máxima autoridad fiscal, para lo cual se consideran cuatro principales, dichos Estados financieros son el Estado de Situación Financiera, Estado de Resultados Integral, el Estado de Cambios en el Patrimonio Neto y el Estado de Flujo de Efectivo [3].
La realización de este proyecto de investigación tiene como objetivo principal, aplicar las Normas Internacionales de Información Financiera para Pymes, normas que se aplican en Colombia a empresas pertenecientes al grupo 2, las cuales poseen de entre 11 y 200 trabajadores, y dentro de este proyecto se aplicaran a información financiera de una empresa de México, la cual será considerada dentro de la clasificación considerada en México como una pyme, con el fin de realizar Estados financieros agrupando las cuentas que se utilizan en esta empresa con la taxonomía acorde a las Normas Internacionales de Información Financiera para Pymes [4].

Todo lo anterior permitió con el fin de comprobar la existencia de similitudes y diferencias en el sistema contable mexicano y colombiano respecto a este tipo de empresas, lo que permite conocer si México al decidir implementar estas normas tendrá las mismas oportunidades y amenazas que Colombia tuvo cuando inicio su proceso de internacionalización y le será de ayuda al país ya que le será más fácil identificar las áreas en las que se debe prestar más atención en caso de decidir implementar estas normas, con la seguridad de que al implementar estas normas tanto las empresas como el país obtendrán grandes beneficios [5].
Como sabemos la contabilidad tanto en México como en Colombia se ha ido modificando debido a las necesidades que ha causado la apertura de fronteras, por los tratados que día a día se firman con el fin de ser un mundo más globalizado, y como sabemos la globalización lo cual genera la interacción entre países, y debido a la competitividad que esto genera es importante tener en cuenta que las necesidades de cada país se van adecuando a esta apertura de fronteras [6].

Sin embargo, aunque la globalización parezca mala por la competitividad que ingresa al país tiene que competir con la ya existente, esta ayudada al crecimiento del país y permite a las empresas ingresar y abrir se pasó a nuevos mercados generando un intermiso de culturas, costumbres, economía entre otras cosas.
La contabilidad no es la excepción ya que está deberá mantenerse vigente y adecuarse a las necesidades de empresas que deciden incursionar en mercados extranjeros, así como de las empresas que deciden llegar al país, con el fin de emitir y presentar información de calidad capaz de proporcionar información adecuada y confiable para la toma de decisiones, y esto es algo de lo que ninguna empresa debe de estar exenta ya que la globalización no solo afecta algunos sectores afecta tanto empresas grandes como pequeñas , en general a toda la comunidad [7].

Metodología

La aplicación de las Normas de Información Financiera en México, facilitó la realización y emisión de información financiera, no solo para los profesionales encargados de emitir esta, también resulto de gran utilidad ya que la correcta presentación de esta facilita la toma de decisiones dentro de la empresa. Por otra parte, debido a la complejidad y generalidad que poseen las NIF estas no se ajustan a las necesidades de empresas consideradas pequeñas o medianas, ya que para su implementación no solo se necesitan recursos económicos, también se necesitan recursos económicos mismos que en su mayoría estas empresas por su tamaño no poseen [8].

Al ser Colombia un país con el que México posee diferentes características en común o similares como lo son la cultura, la calidez de sus habitantes, así como la similitud económica que tienen, se considera que los resultados que Colombia obtuvo al implementar las NIIF para Pymes. La información emitida permitirá a la empresa ser más confiable, y se percibirá ante usuarios externos de la información como, bancos o inversionistas, como empresas confiables para invertir o conceder un financiamiento, ya sean nacionales o internacionales [9].

Las empresas podrán tener más oportunidades de incursionar en el mercado internacional, y ser más competitivas nacional e internacionalmente, además se les facilitará la comparación de información con empresas de su mismo giro. Permitirán contribuir al crecimiento y desarrollo de sus Estados, pero sobre todo del país apoyando su economía.
El enfoque de este caso es cualitativo, se buscó que existiera la calidad dentro de esta empresa con la información que se proporciona para que el caso fuera de tal manera descriptivo en el que se explique a detalle cada uno de

 ISSN: 2007 8102

los pasos realizados para obtener resultados dentro de un sistema contable con las respectivas características (físicas, socioeconómicas, normatividad entre otras) a lo largo de la investigación la empresa en la que se basa el caso práctico cumple tanto con los requerimientos de ambos países, ya que se encuentra involucrados en una mejora para que esta empresa sea considera una Pyme [10].
La simplificación de las Normas Internacionales de Información Financiera se realizó con el fin de cubrir las necesidades de las pequeñas y medianas empresas es por eso que surgen las NIIF para Pymes, por lo tanto el contenido de estas omite diferentes rubros de las normas internacionales, las cuales no cumplen con las necesidades de las pequeñas y medianas empresas, y al tomar las Normas de Información Financiera como referencia las Normas Internacionales de Información Financiera para su creación, se llega a la conclusión que las NIF al igual que las NIIF contienen partidas y rubros que no son útiles para la emisión de información financiera de las pymes [11].

Recordemos que la elaboración de las NIF está a cargo del CINIF, el cual después de diferentes estudios con el fin de lograr una armonía entre las NIIF y la normas locales del país se crearon diferentes normas, circulares los cuales componen la estructura de información contable y financiera en el país, dando como resultado las Normas de información financiera a través de 46 circulares divididas en 5 series las cuales conforman la estructura de estas normas, además de que presentan tanto conceptos básicos, como las necesidades con las que deben de cumplir los Estados financieros, la estructura y elaboración de los mismos, así como los conceptos de las partidas que se incluyen en cada uno de estos Estados tanto las visibles y aquellas que no se precian a simple vista, por otro lado también incluye información especializada para aquellas empresas que no persiguen fines lucrativos.

El Consejo Técnico de la Contaduría Pública (CTCP), en el Direccionamiento Estratégico, propuso que las Normas de Contabilidad e Información Financiera y de Aseguramiento de la Información deben aplicarse en Colombia de manera diferencial creando así 3 grupos de empresas que preparan y emiten Estados Financieros

Como es bien sabido en México existen diferentes criterios para la clasificación de las empresas que mueven la economía del país, criterios que van desde el giro de las empresas, hasta el tamaño de la empresa acorde al número de trabajadores, sin embargo, Colombia al aplicar estas normas, se ha visto beneficiado de diferentes maneras ya que no solo se le ha permitido al país abrirse paso a mercados internacionales

Debido a la consolidación de los mercados internacionales se crearon normas financieras con el fin de permitir a los países competir económicamente con el paso del tiempo, han tenido que ir adecuándose las nuevas normas. El CINIF es el órgano encargado de investigar dentro de México , desarrollar y emitir las normas contables que serán utilizadas en el país y es por ello que después de un arduo proceso de investigación nacen las Normas de Información financiera (NIF) con sus aclaraciones y guías de implementación, cabe mencionar que las NIF no son una réplica de las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF) emitidas por el IASB, ya que estas buscan logra en el mayor grado converger a las NIIF, y es por eso que al día de hoy las NIF han tenido diferentes mejoras, algunas de las cuales han permitido que las diferencias entre las NIIF y las NIF sean menores [12].

Dentro de la búsqueda puede generar algunas variables que estén involucradas y por esto se hace la comparación de los valores de cada una de las variables de cada avance.
Se describió a fondo las características del caso aplicado en una empresa que integre las NIF y NIIF de inicio fueron realizadas por las normas de México y estas tuvieron que ser modificadas bajo los estándares de las normas internacionales, específicamente bajo la taxonomía de NIIF para PYMES, es por ello que antes de la realización de los Estados financieros se extrajo un catálogo de cuentas para la empresa, y una vez obtenido se realizó la clasificación de las cuentas presentadas en la balanza de comprobación, de acuerdo con la taxonomía de NIIF de esta empresa [13].

Hubo un enfoque distinto porque se vio desde la perspectiva de un país al otro y confiar en el proceso y el control necesario por los investigadores que van más adelante, y combinarán de una descripción del estudio con una comparación. En el desarrollo, algunos Estados financieros elaborados de acuerdo a la estructura que se presenta dentro de las Normas de información financiera, esto con el fin de observar la diferencia que se observa entre la estructura propuesta por ambas normas, sin embargo este proyecto no se basa tanto en evaluar la estructura de la emisión financiera, sino en la efectividad que tienen la información presentada para la toma decisiones, ya que recordemos que la emisión de la información financiera debe de cumplir con características las cuales establecen que la información financiera deberá ser presentada en tiempo y forma [14].

 ISSN: 2007 8102

Se procura establecer causas o factores de riesgos de determinados problemas que podrían existir a futuro para tener el control de estas situaciones haciendo el análisis de algunas comparaciones de las normas que están llevando de la mano a esta empresa y sus beneficios que busca.

Resultados y discusión

A continuación, se presentan los cuatro Estados financieros básicos que en México deben elaborarse y presentarse, cabe destacar que la información financiera contenida en estos fue proporcionada mediante la balanza de comprobación de una empresa ubicada en Santiago Tianguistenco, misma que de acuerdo a las características establecidas en el Diario Oficial de la Federación es catalogada como una Pyme.

Debido a que la información financiera fue proporcionada bajo las normas utilizadas en México (NIF), esta tuvo que ser modificada bajo los estándares de las normas internacionales, específicamente bajo la taxonomía de NIIF para PYMES, es por ello que antes de la realización de los Estados financieros se extrajo el catálogo de cuentas de la balanza de comprobación proporcionada por la empresa, y una vez obtenido se realizó la clasificación de las cuentas presentadas en la balanza de comprobación, de acuerdo con la taxonomía de NIIF .

Tabla 1. El Catálogo de Cuentas que se presenta a continuación contiene el tipo, el nombre, la jerarquía, taxonomía estado y naturaleza de las cuentas.

Catálogo de cuentas

Cuenta	Nombre	Jerarquía	Taxonomía	Estado	Naturaleza
	inventarios corrientes				
1140	Almacén	ac 1	inventarios corrientes	Estado de situación financiera	Deudora
	cuentas comerciales por cobrar y otras cuentas por cobrar corrientes				
1130	Clientes	ac 2	cuentas comerciales por cobrar y otras cuentas por cobrar corrientes	Estado de situación financiera	Deudora
1160	Deudores Diversos	ac 2	cuentas comerciales por cobrar y otras cuentas por cobrar corrientes	Estado de situación financiera	Deudora
1161	Funcionarios y Empleados	ac 2	cuentas comerciales por cobrar y otras cuentas por cobrar corrientes	Estado de situación financiera	Deudora
1330	Pagos Anticipados	ac 2	cuentas comerciales por cobrar y otras cuentas por cobrar corrientes	Estado de situación financiera	Deudora
1340	Depósitos en Garantía	ac 2	cuentas comerciales por cobrar y otras cuentas por cobrar corrientes	Estado de situación financiera	Deudora
	activos por impuestos corrientes, corriente				
1170	Iva Acreditable	ac 3	activos por impuestos corrientes, corriente	Estado de situación financiera	Deudora
1171	Iva Acreditable Pagado	ac 3	activos por impuestos corrientes, corriente	Estado de situación financiera	Deudora
1190	Impuestos Anticipados	ac 3	activos por impuestos corrientes, corriente	Estado de situación financiera	Deudora
	efectivo y equivalentes al efectivo				
1110	Caja	ac 8	efectivo y equivalentes al efectivo	Estado de situación financiera	Deudora
1120	Bancos	ac 8	efectivo y equivalentes al efectivo	Estado de situación financiera	Deudora

 ISSN: 2007 8102

	Activos corrientes distintos al efectivo pignorados como garantía colateral para la cual el receptor de la transferencia tiene derecho por contrato o costumbre a vender o pignorar nuevamente la garantía colateral				
1180	ANTICIPOS	AC 9	Activos corrientes distintos al efectivo pignorados como garantía colateral para la cual el receptor de la transferencia tiene derecho por contrato o costumbre a vender o pignorar nuevamente la garantía colateral	Estado de situación financiera	Deudora
1185	ANTICIPOS A PROVEEDORES	AC 9	Activos corrientes distintos al efectivo pignorados como garantía colateral para la cual elReceptor de la transferencia tiene derecho por contrato o costumbre a vender o pignorarNuevamente la garantía colateral	Estado de situación financiera	Deudora
	Propiedades, planta y equipo				
1230	EQUIPO DE TRANSPORTE	ANC 1	Propiedades, planta y equipo	Estado de situación financiera	Deudora
1231	DEPRECIACION EQUIPO DE TRANSPORTE	ANC 1	Propiedades, planta y equipo	Estado de situación financiera	Deudora
1240	EQUIPO DE CÓMPUTO	ANC 1	Propiedades, planta y equipo	Estado de situación financiera	Deudora
1241	DEPRECIACION EQUIPO DE CÓMPUTO	ANC 1	Propiedades, planta y equipo	Estado de situación financiera	Deudora
1250	MOBILIARIO Y EQUIPO DE OFICINA Y VENTAS	ANC 1	Propiedades, planta y equipo	Estado de situación financiera	Deudora
1251	DEPRECIACIÓN MOBILIARIO Y EQUIPO DE OFICINA Y VTAS	ANC 1	Propiedades, planta y equipo	Estado de situación financiera	Deudora
1260	ADAPTACIONES Y MEJORAS A INMUEBLES	ANC 1	Propiedades, planta y equipo	Estado de situación financiera	Deudora
1261	DEPRECIACION ADAPTACIONES Y MEJORAS A INMUEBLES	ANC 1	Propiedades, planta y equipo	Estado de situación financiera	Deudora
1270	MAQUINARIA Y EQUIPO	ANC 1	Propiedades, planta y equipo	Estado de situación financiera	Deudora
1271	DEPRECIACIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO	ANC 1	Propiedades, planta y equipo	Estado de situación financiera	Deudora
	Capital emitido				
3100	CAPITAL SOCIAL FIJO	P 1	Capital emitido	Estado de situación financiera	Acreedora
3200	CAPITAL SOCIAL VARIABLE	P 2	Capital emitido	Estado de situación financiera	Acreedora
	Ganancias acumuladas				
3400	RESULTADO DE EJERCICIOS ANTERIORES	P 3	Ganancias acumuladas	Estado de situación financiera	Acreedora

Por otra parte, se muestran los Estados financieros elaborados de acuerdo a la estructura que se presenta dentro de las Normas de información financiera, esto con el fin de observar la diferencia que se observa entre la estructura propuesta por ambas normas, sin embargo, este proyecto no se basa tanto en evaluar la estructura de

 ISSN: 2007 8102

la emisión financiera, sino en la efectividad que tienen la información presentada para la toma decisiones, ya que recordemos que la emisión de la información financiera debe de cumplir con características las cuales sugiere que la información financiera deberá ser presentada en tiempo , forma y fondo (Figura 1, 2, 3 y 4).

Empresa comercializadora de productos, SA DE CV
Estado de resultados
Al 31 de diciembre de 19
(Expresados en miles pesos mexicanos)

	2019		2018	
Ingresos de actividades ordinarias		$ 205,010,622.28		$ 189,934,760.78
VENTAS	$ 213,922,706.49		$ 197,976,345.88	
DEVOLUCIONES SOBRE VENTA	-$ 8,912,084.21		-$ 8,041,585.10	
Costo de ventas		-$ 181,120,452.00		-$ 168,503,232.00
COSTO DE VENTAS	-$ 181,120,452.00		-$ 168,503,232.00	
Ganancia bruta		**$ 23,890,170.28**		**$ 21,431,528.78**
Costos de distribución/Gastos de administración		-$ 20,379,590.45		-$ 18,297,389.83
GASTOS DE INSTALACION	-$ 826,846.57		-$ 826,846.57	
AMORTIZACION DE GASTOS DE INSTALACION	$ 288,530.81		$ 285,085.62	
GASTOS DE ADMON Y VENTAS (GENERALES)	-$ 19,841,274.69		-$ 17,755,628.88	
Ingresos financieros		$ 109,648.47		$ 95,693.98
PRODUCTOS FINANCIEROS	$ 448.99		$ 402.26	
OTROS PRODUCTOS	$ 109,199.48		$ 95,291.72	
Costos financieros		-$ 1,946,131.11		-$ 1,804,028.99
GASTOS FINANCIEROS	-$ 1,946,131.11		-$ 1,804,028.99	
Ganancia (pérdida), antes de impuestos		**$ 1,674,097.19**		**$ 1,425,803.94**
Ingreso (gasto) por impuestos		-$ 1,225,559.00		$
ISR y PTU	-$ 1,225,559.00		$ -	
RESULTADO NETO		**$ 448,538.19**		**$ 1,425,803.94**

Figura 1. Estado de Resultados.

Empresa comercializadora de productos, SA DE CV
Estado de cambios en el patrimonio
Al 31 de diciembre de 19
(Expresados en miles pesos mexicanos)

			Reservas	Ganancias y pérdidas acumuladas			
	Capital Social	Prima en colocación	Reservas	Resultado del Ejercicio	Resultado Acumulado	Aplicación por primera vez	Total Patrimonio
Patrimonio al inicio 01.01.2019	**$ 10,150,000**			**$ 1,425,804**	**$ 11,493,611**		**$ 23,069,415**
Traslado de resultados				-	-		
Resultado del ejercicio				448,538			
Otro resultado integral (ORI)							
Constitución de reservas				-1,425,804			
Recuperación reserva readquisición de acciones					1,425,804		
Pago de dividendos decretados					-1,425,804		
Otras							
Patrimonio al final del periodo 31.12.2019	**$ 10,150,000**	**$ -**	**$ -**	**$ 448,538**	**$ 11,493,611**	**$ -**	**$ 22,092,149**

Figura 2. Estado de Cambios en el Capital.

 ISSN: 2007 8102

Empresa comercializadora de productos, SA DE CV
Estado de situación financiera
Al 31 de diciembre de 19 comparativo 31 de diciembre 2018
(Expresados en miles pesos mexicanos)

	2019	2018
Activos		
Activos no corrientes		
Propiedades, planta y equipo	$ 4,326,780.78	$ 4,488,407.80
Total de activos no corrientes	$ 4,326,780.78	$ 4,488,407.80
Activos corrientes		
Inventarios corrientes	$ 19,915,322.19	$ 14,157,343.28
Cuentas comerciales por cobrar y otras cuentas por cobrar corrientes	$ 40,984,801.73	$ 41,157,494.23
Activos por impuestos corrientes, corriente	$ 2,150,810.70	$ 3,167,378.90
Efectivo y equivalentes al efectivo	-$ 8,673,755.27	-$ 1,480,033.73
Activos corrientes distintos al efectivo pignorados como garantía colateral para la cual el receptor de la transferencia tiene derecho por contrato o costumbre a vender o pignorar nuevamente la garantía colateral	$ 391,440.74	$ 390,440.74
Total de activos corrientes	$ 54,768,620.09	$ 57,392,623.42
Total de activos	$ 59,095,400.87	$ 61,881,031.22

Empresa comercializadora de productos, SA DE CV
Estado de situación financiera
Al 31 de diciembre de 19 comparativo 31 de diciembre 2018
(Expresados en miles pesos mexicanos)

	2019	2018
Patrimonio		
Capital emitido	$ 10,150,000.00	$ 10,150,000.00
Ganancias acumuladas	$ 11,493,610.99	$ 11,493,610.99
Resultado neto	$ 448,538.19	$ 1,425,803.94
Patrimonio total	$ 22,092,149.18	$ 23,069,414.93
Pasivos		
Pasivos corrientes		
Cuentas comerciales por pagar y otras cuentas por pagar	$ 31,960,569.38	$ 33,015,586.35
Provisiones por beneficios a los empleados	$ 343,544.13	$ 408,630.06
Pasivos por impuestos corrientes	$ 4,092,798.18	$ 5,211,122.64
Pasivo por impuestos diferidos	$ 606,340.00	$ 176,277.24
Total pasivos	$ 37,003,251.69	$ 38,811,616.29
Total de patrimonio y pasivos	$ 59,095,400.87	$ 61,881,031.22

Figura 3. Estado de Situación Financiera.

Empresa comercializadora de productos, SA DE CV
Estado de flujos de efectivo (método indirecto)
Al 31 de diciembre de 2019 - comparativo
(Valores expresados en pesos mexicanos)

FLUJOS DE EFECTIVO POR ACTIVIDADES DE OPERACIÓN	**notas**	**2019**
Resultado Neto		$ 448,538.19
Depuración por ingresos y gastos que no implicaron movimiento de efectivo:		
+/- Recuperación de cartera		$ 172,692.50
+ Pérdida por Deterioro de cuentas comerciales por cobrar		$ -
+ Amortización de intangibles		$ -
+ Pérdida por Deterioro de valor de inversiones		
+ Gasto por Depreciaciones propiedad planta y equipo		$ 161,627.02
- valor razonable pdi		$ -
+/- Gasto / Ingreso por Impuesto diferido		$ 1,016,568.20
+/- Diferencia en cambio en cuentas comerciales por pagar		
+ Gasto por Impuesto corriente		$ -
+ Provisión beneficios empleados		$ -
+ Provisiones y contingencias		-$ 1,000.00
		$ 1,798,425.91
Variaciones en el capital de trabajo:		
Cuentas comerciales por cobrar y otras cuentas por cobrar		-$1,055,016.97
Inventarios		-$5,757,978.91
Otros activos no financieros		
Activo por impuesto		
Cuentas por pagar comerciales y otras cuentas por pagar		$ -
Otros pasivos no financieros		
Provisiones corrientes por beneficios a los empleados		-$ 65,085.93
Pasivos por impuestos		-$ 688,261.70

	notas	**2019**
Flujo de Efectivo Neto generado por Actividades de Operación:		**-$ 5,767,917.60**
FLUJOS DE EFECTIVO POR ACTIVIDADES DE INVERSIÓN		
Propiedades, planta y equipo		
Activos intangibles distintos de la plusvalía		
Activos financieros		
Flujo de Efectivo Neto en Actividades de Inversión:		**$ -**
FLUJOS DE EFECTIVO POR ACTIVIDADES DE FINANCIACIÓN		
Adición de obligaciones financieras		
Pago de obligaciones financieras		
Recuperación reserva readquisición de acciones		
Emisión de capital		
Prima de emisión		
Pago de dividendos		-$1,425,803.94
Flujo de Efectivo Neto por Actividades de Financiación:		**-$1,425,803.94**
Variación del Efectivo		**-$7,193,721.54**
Efectivo inicial		**-$1,480,033.73**
Efectivo actual		**-$8,673,755.27**

Figura 4. Estado de flujos de efectivo.

Aunque pareciera que Colombia tiene más experiencia en la internacionalización de su sistema contable no es así, puesto que mientras Colombia iniciaba su proceso de adopción en 2009, México lo habría hecho en 2002, y sería este último quien impulsaría y serviría de referente para que Colombia iniciara su proceso de convergencia. Sin embargo, una serie de eventos y decisiones impidió que México, continuara con un proceso de internacionalización como el que Colombia ocupa actualmente, por otro lado, esto no deja de lado que ambos países de América latina busquen la incursión en mercados globales, a través de la implementación de normas internacionales.

Después de grandes esfuerzos, ambos países crearon organismos que se encargaran de la armonización y/o convergencia de las Normas Internacionales, en el caso de México se creó el CINIF, organismo que está a cargo tanto de instituciones privadas y públicas el cual busca la armonía de las NIF respecto a las NIIF, mientras que en Colombia el órgano encargado es el CTCP el cual es un organismo descentralizado del sector público y se encuentra regido por el decreto 641 del 04 de marzo de 2010, y busca la convergencia de las NIIF en este país.
Aunque exista diferencia entre Colombia y México respecto a la clasificación de empresas estas no son tan grandes ya que de acuerdo con el número de trabajadores estas no varían mucho, es importante mencionar que las Pymes en ambos países son fuente de empleos, además su aportación al crecimiento y desarrollo del país es de gran importancia, ya que la existencia de estas empresas ayuda al desarrollo y crecimiento de cada país.
Por otra parte, estos países no solo comparten su interés por la internacionalización también tienen el sistema tributario de estos países son parecidos, por ejemplo, manejo de sus impuestos en el cual se muestra un cuadro comparativo del manejo de diferentes impuestos que se aplican en México y en Colombia, así como el parecido que tienen estos entre sí.

Si bien, la agrupación de cuentas que se utilizan en México con la aplicación de la taxonomía de NIIF para PYMES , representa una forma de cambiar la perspectiva de la agrupación que se da en la utilización de NIF , ya que gracias a las NIIF para Pymes se tiene una idea más clara de lo que en realidad la cuenta principal agrupa en sus subcuentas, ya que en ocasiones la agrupación de NIF a simple vista no da una idea clara de las subcuentas que deben agruparse en la cuenta principal, recordando que la forma de aplicar contabilidad y las cuentas que se utilizan en una empresa catalogada como grande no son las misma para una empresa considerada como Pyme. Para poder observar la agrupación de un catálogo de cuentas de una pyme del municipio de Tianguistenco, México, con la taxonomía emitida de las NIIF para PYMES, el cual muestra la agrupación de las cuentas de una empresa utilizando la taxonomía de NIIF para Pymes.
Es importante mencionar que de acuerdo con las características mencionadas a lo largo de la investigación la empresa en la que se basa el caso práctico cumple tanto con los requerimientos que en México y Colombia se estipulan, para que esta empresa sea considera una Pyme. Debemos tener en consideración que la aplicación contable de las NIIF para Pymes no solo se basa en la agrupación de cuentas, ya que el tratamiento que se les da estas, para valuar y reconocerlas contablemente varea un poco respecto al tratamiento que se les da al usar NIF, es por ello por lo que, al usar NIIF para Pymes en las Pymes mexicanas, no solo les permitirá a estas empresas emitir información confiable a terceros.

Para finalizar, es importante mencionar que las NIIF para Pymes en verdad simplifican la información que se presenta en las NIF, ya que estas únicamente contemplan información que es de utilidad para la realización, presentación y emisión de información financiera de las pymes mexicanas, lo cual no solo facilita el trabajo para los contadores encargados de emitir información financiera también es de utilidad para la toma de decisiones ya que al contar con normas adecuadas a las necesidades de las pymes al momento de emitir financiera, se ahorra tiempo al buscar y se evitan confusiones con información que no se adapte a las necesidades de la empresa, al momento de tomar decisiones para emitir la información financiera. Ya que recordemos las NIF son utilizadas en México tanto por grandes empresas como por empresas familiares

Trabajo a futuro

La comparación del sistema contable sobre aquellos impuestos involucrados tales el valor agregado, ISR, pagos provisionales entre estos dos países (México y Colombia) y su aplicación de las tasas, por lo cual se generó el catálogo de cuentas fue vital para poder generar los Estados de resultados, Estados de situación financiera, todo papel de trabajo que fuera el soporte de toda la investigación. Y este trabajo es la muestra clara de lo todo lo que se puede hacer con cada una de estas normas y como interceptarlas en una empresa para un mayor control, que los Estados financieros este de acuerdo con el catálogo que se tuvo que formar para la continuación de este. En estas empresas no cuentan con la capacidad de contratar personal especializado en la aplicación, interpretación y emisión de información financiera, por lo que en muchas ocasiones caen en la informalidad, pues estas prefieren atender necesidades que para ellos son básicas para la funcionalidad de la empresa.

ISSN: 2007 8102

En la mayoría de las agrupaciones en las que ambas normas agrupan las cuentas del catálogo estas poseen un nombre diferente, ya que mientras cunetas como terrenos , edificios maquinaria , entre otros son agrupadas en ambas normas dentro del rubro de propiedad planta y equipo, existen cuentas como las de proveedores , cuentas por pagar, acreedores, entre otras cuentas, que dentro de NIF son agrupadas en Proveedores, pasivos acumulados y otras cuentas por pagar y dentro de NIIF para PYMES se agrupan dentro de cuentas comerciales por pagar y otras cuentas por pagar no corrientes sin embargo también existen agrupaciones diferentes que van desde los activos hasta el patrimonio de la empresa, recordemos que esta agrupación se hizo con cuentas básicas con las que cada empresa debe de contar dentro de su catálogo de cuentas para la emisión y elaboración de información financiera.

Aunque a simple vista solo pareciera que solo se trata de Estados financieros, el fondo que se muestra trae consigo grandes cambios, es por ello que se realizan diferentes observaciones a la empresa que proporciono su información, empezando por la desactualización en el uso de NIF ya que no cuenta con un catálogo de cuentas que se adapte y permita la utilización de NIF, y al no estar actualizado acorde a la agrupación estipulada en estas eso permitió que la aplicación y adaptación a NIIF pymes de alguna forma fuese más fácil.
Es por ello por lo que se le recomienda a la empresa tomar en cuenta el uso de normas contables que le permita obtener información financiera más confiable, para su toma de decisiones ya que de acuerdo con las cifras proporcionadas se puede observar que la empresa tiene varios problemas, el más notorio es su flujo de efectivo. Lo que provoca que al ser una empresa pequeña esta forme parte de aquellas empresas que desaparecen por falta de capacitación de personal, así como de inversiones, por otro lado, recordarle a la empresa que tanto la parte fiscal como la contable son importantes para que una empresa pueda subsistir y crecer.

Conclusiones

Por último, cabe resaltar que la implementación de las NIIF para Pymes en México no solo beneficia la emisión de información financiera haciendo de esta más confiable lo que da pie a interrogante como ¿La emisión de información financiera confiable, permitirá que las Pymes extiendan el promedio de vida de estas?
Si bien es cierto que en algunos países que han decidido optar estas normas, se han beneficiado ya que este tipo de empresas son de gran relevancia para el crecimiento, desarrollo de sus respectivos países, y México no es la excepción ya que a pese a los retos que las Pymes enfrentan para emitir su información financiera basándose en las Normas de Información financiera, el país ha tenido grandes aportaciones de este tipo de empresas que benefician tanto su crecimiento, como los empleos en México ya que estas empresas son fuente de empleos.

Es por eso que debido al aporte de este tipo de empresas, se considera que al emitir estas información de calidad y confiable, se verán beneficiadas tanto estas como el país ya que estas tendrán la posibilidad de tener entre si una competencia más sana, lo que traerá consigo grandes beneficios al sector al que pertenezcan pues existe una gran posibilidad de que en conjunto se habrán paso a mercados internacionales, así como a créditos, inversiones que las fortalezcan y den pie a su crecimiento.
Por otra parte, aunque el camino a la adopción de las NIIF para Pymes en México , aún se encuentra en discusión es importante resaltar que día con día la globalización se hace presente cada vez más en la vida diaria, es por ello, que tanto las condiciones de vida de cada individuo como las condiciones de cada empresa se ven afectadas, por eso es importante que se actualice no solo en lo que ofrece el mercado, también en lo que le ofrece al mercado tanto en productos, calidad y en información financiera, esto deriva la posibilidad de implementar las NIIF para Pymes en México y no puede estar lejos ya que las necesidades del entorno harán que esto sea posible a pesar de que el CINIF continúe argumentando que estas no son necesarias en algún momento su implantación será inevitable.

De acuerdo con los resultados obtenidos se resume que Colombia tuvo que enfrentarse a diferentes retos para lograr su internacionalización que hoy en día sigue en pie, por lo que es importante que en México se empiece a dar más importancia a las normas internacionales de contabilidad, promoviendo la preparación de profesionales de la contabilidad que ejercen y que están en proceso de ejercer la profesión contable, ya que uno de los problemas en los que más coinciden los países que han decidido implementar las NIIF para Pymes es la falta de capital humano capacitado para implementar estas normas, lo que no solo retrasa el proceso de adopción, también dificulta la emisión de la información financiera, por lo que no solo se verá afectada la información contable también la fiscal, sin contar que los costos a los que se verán sometidas estas empresas serán elevados debido a la poca oferta de profesionales capaces de aplicar dichas normas, lo que afectara gravemente la economía de estas empresas pues al ser considera una empresa pequeña sus ingresos también lo son y los

 ISSN: 2007 8102

costos la implementación genere les afectara y evitara que empresas que laboran bajo la formalidad legal dejen de existir debido a estos problemas.
Por otro lado, es importante recalcar que la mayoría de estudiantes que deciden iniciar a practicar en el ambiente laboral durante su formación académica, opta por empezar en una Pyme o por un despacho que las maneja, lo cual serviría para su formación en estas normas ya que no solo podrían aprender los conceptos también podrían aplicarlo a casos reales, el correcto manejo de la información financiera de estas empresas también permitiría que al culminar los estudios profesionales cuenten con capacidad de hacerse cargo de la información de estas empresas de forma individual o través de un despacho.

REFERENCIAS

[1] N. ApellidoA1 y N. ApellidoA2, Titulo Primera obra, ciudadA: EditorialA, 2019.

[2] N. ApellidoB1 y N. ApellidoB2, «Artículo B,» *Revista MNBVC,* vol. 1, nº XX, pp. 34-43, 20221.

[3] S. J. P. (. 1. d. I. d. l. N. p. p. r. y. o. e. e. p. d. g. U. M. N. G. h. Acevedo, «Implementación de las NIIF para pymes: retos y oportunidades en el proceso de globalización.,» Universidad Militar Nueva Granada, 11 diciembre 2017. [En línea]. Available: Acevedo, S. J. P. (2017, 11 diciembre). Implementación de las NIIF para pymes: retos y opohttps://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16774.

[4] «Clasificación de las empresas en México. UAEH.,» de Hidalgo, U. A. D. E., [En línea]. Available: https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n5/m14.html. [Último acceso: 20 Junio 2019].

[5] F. S. E. A., «NIIF para las PYMES,,» 16 abril 2015. [En línea]. Available: https://aprendeniif.com/que-es-la-niif-para-las-pymes-ifrs-for-sme/.

[6] «Norma internacional de información financiera para pequeñas y medianas entidades (NIIF para las PYMES).,» Fundación IFRS, (2016). [En línea].

[7] D. Ruiz, «IMPACTO DE LA APLICACIÓN DE LAS NIIF EN LAS EMPRESAS. studylib.es.,» 28 Febrero 2017. [En línea]. Available: https://studylib.es/doc/7702543/impacto-de-la-aplicaci%C3%B3n-de-las-niif-en-las-empresas.

[8] «Datos Básicos de México. SRE.,» Secretaria de Relaciones Exteriores. , [En línea]. Available: https://embamex.sre.gob.mx/nigeria/index.php/es/mexico-informacion. [Último acceso: 26 mayo 2021].

[9] C. Villalobos, «La importancia de las PYMES en Colombia. HubSpot.,» 28 mayo 2021. [En línea]. Available: https://blog.hubspot.es/marketing/la-importancia-de-las-pymes-en-colombia.

[10] Balan Morales B. A., Delgado Clh. G. I., Cardeña Zapata L., Paul Gallareta C. , «(Congreso),,» de *Balan Morales B. A., Delgado Clh. G. I., Cardeña Zapata VENTAJAS Y EFECTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS NORMAS INTERNACIONALES DE INFORMACION FINANCIERA PARA PYMES.(Congreso), IV Congreso Virtual Internacional Desarr*, 2019.

[11] M. D. &. S. D. Á. I. García Barbosa, Saber, Ciencia y Libertad, , 2015.

[12] I. D. N. D. D. I. L. P. M. C. Y. F. I. D. N. D. D. I. L. P. M. C. Y. P. I. M. D. C. A. C. D. E. F. D. N. A. Y. Y. Financiera, Financiera, I. D. N. D. D. I. L. P. M. C. Y., Públicos, I. M. D. CConsejo Mexicano para la Investigación y Desarrollo de Normas de Información Financiera, & Instituto Mexicano de Contadores Públicos. (2014)., 2014.

[13] M. R. L.E, Implementación de las NIIF para Pymes: retos y oportunidades en el proceso de globalización, (Especialista en Alta Gerencia) Universidad Militar Nueva Granada., 2017.

[14] Fuentes Gómez H. M. , Castiblanco Pinto Y. Y., Ramírez M. , Tipo de reflexión Según Clasificación Colciencias), Fuentes Gómez H. M. , Castiblanco Pinto Y. Y., Ramírez M. (2011). Formulación de las NIF en México: referente Universidad de Boyacá Tunja-Colombia, 2011.

[15] «Clasificación de las empresas en México. UAEH.,» De Hidalgo, U. A. D. E. , [En línea]. Available: https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n5/m14.html. [Último acceso: 29 Junio 2021].

[16] C. (. Villalobos. [En línea].

ISSN: 2007 8102

[17] D. C. G. I. C. Z. L. P. G. C. (. j. Balan Morales B. A., «Balan Morales B. A., Delgado Clh. G. I., Cardeña Zapata L., Paul Gallareta C. (2019, junio). VENTAJAS Y EFECTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS NORMAS INTERNACIONALES DE INFORMACION FINANCIERA PARA PYMES.(Congreso), IV Congreso Virtual Internacional Desarr,» de . *VENTAJAS Y EFECTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS NORMAS INTERNACIONALES DE INFORMACION FINANCIERA PARA PYMES*.(Congreso), IV Congreso Virtual Internacional Desarr, 2019.

ISSN: 2007 8102

Uso de la tecnología del Blockchain en la contratación de personal: Oportunidades y retos

J. Cruz Manzo[1], L.C. Ortuño Barba[2], F. Merlo Magaña[2]*
[1]Decanato de Ingenierías Posgrado, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, 17 sur 901 Col Barrio de Santiago. Puebla, Pue. C.P. 72410
[2]Departamento de Ciencias Económico Administrativas, Tecnológico Nacional de México / I.T. Tehuacán, Libramiento Tecnológico s/n, Tehuacán, Pue., C.P.75770
**jessica.cruz01@upaep.edu.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

Hoy en día, la tecnología del Blockchain presenta diversas aplicaciones, una de ellas en el campo de la gestión de recursos humanos, en particular, con el proceso de reclutamiento y selección de personal. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue realizar la identificación de los retos y oportunidades de esta tecnología con respecto a este proceso. La metodología utilizada fue de tipo exploratoria, donde se entrevistaron a 18 expertos en tecnología y gestión de recursos humanos, pertenecientes a un clúster de Tecnología e Información, en el estado de Puebla, México. Los resultados permitieron dar a conocer que el aumento de la velocidad, la fiabilidad de las transacciones, la reducción de los costes, así como la carga de trabajo rutinaria repercutía favorablemente en este proceso. Sin embargo, estos sistemas presentan algunos retos tecnológicos, organizativos y medioambientales que pueden abordarse a largo plazo. Este estudio, es el primer intento de debatir conjuntamente las oportunidades, los retos y las posibles soluciones y perspectivas de la contratación basadas en Blockchain en un contexto latinoamericano.

***Palabras clave:** Blockchain, Contratación, Oportunidades Retos y Recursos Humanos.*

Abstract

Nowadays, Blockchain technology presents several applications, one of them in the field of human resources management, in particular, with the process of recruitment and selection of personnel. Therefore, the objective of this research was to identify the challenges and opportunities of this technology with respect to this process. The methodology used was exploratory, where 17 experts in technology and human resources management, belonging to a Technology and Information clusters in the state of Puebla, Mexico, were interviewed. The results showed that the increase in speed, transaction reliability, cost reduction and routine workload had a favorable impact on this process. However, these systems present some technological, organizational and environmental challenges that can be addressed in the long term. This study is the first attempt to jointly discuss the opportunities, challenges and possible solutions and perspectives of Blockchain-based contracting in a Latin American context.

***Key words**: Blockchain, Hiring, Opportunities, Challenges and Human Resources.*

Introducción

En la actualidad, los empresarios tienen dificultades para contratar a candidatos apropiados con las competencias adecuadas [1]. Esto puede atribuirse al hecho de que la gran mayoría de los solicitantes incluyen información falsa o engañosa en sus CV para aumentar sus posibilidades de encontrar un empleo en el dinámico y competitivo mundo empresarial. Es por eso que las empresas prestan especial atención a la investigación de los antecedentes de los candidatos y a la verificación de sus credenciales. Sin embargo, el uso de enfoques tradicionales para el proceso de contratación puede resultar costoso, lento e ineficaz, debido al elevado número de solicitantes de empleo [2]. Recientemente, las empresas se encuentran en una fuerte y continua competencia, para seleccionar y contratar a los mejores candidatos del mercado laboral [3], por lo que se han visto en la necesidad de utilizar herramientas tecnológicas, para así aumentar la eficacia de sus prácticas de contratación [4].

Una de estas herramientas es la tecnología Blockchain, que cuenta con funciones avanzadas para adecuar las capacidades y el rendimiento de los candidatos a los requisitos del puesto de trabajo [5]. Blockchain, es una plataforma descentralizada de cálculo e intercambio de información, que apoya los procesos racionales de toma de decisiones de las personas. También se define como una tecnología de libro mayor distribuido, que puede registrar transacciones entre partes de forma verificable y permanente [6].

ISSN: 2007 8102

En este estudio, se llevó a cabo una investigación exploratoria, con el objetivo de determinar las posibles oportunidades, retos y perspectivas de los sistemas de contratación basados en Blockchain. Para lograr este objetivo, el estudio hace cuatro contribuciones principales a la literatura actual. En primer lugar, el estudio presenta un debate sistemático sobre los sistemas de contratación basados en Blockchain. En segundo lugar, analiza las percepciones de los expertos en gestión de recursos humanos y Blockchain con respecto a las posibles oportunidades y desafíos de la contratación basada en Blockchain. En tercer lugar, ofrece soluciones para popularizar la adopción del proceso en la contratación de personal. En cuarto lugar, explora las tendencias futuras de la contratación basada en Blockchain. En resumen, se espera que este estudio contribuya a comprender el efecto transformador de la tecnología Blockchain en los procesos de contratación y a hacer predicciones para el futuro.

Metodología

Por mucho que exista un gran interés por la tecnología Blockchain en el mundo empresarial, la adopción de dicha tecnología en los departamentos de gestión de recursos humanos de las empresas es un fenómeno reciente. Además, se ha llevado a cabo una investigación científica limitada con respecto a los sistemas de contratación basados en Blockchain. Por lo tanto, esta investigación emplea un enfoque exploratorio, que es un método adecuado para descubrir nuevas relaciones, patrones, temas, ideas, etc. [7]. En este contexto, se realizaron entrevistas a expertos en gestión de recursos humanos y Blockchain, para así comprender los efectos de la tecnología en los procesos de contratación. Para garantizar la fiabilidad del estudio, los datos primarios obtenidos de las entrevistas se respaldaron con pruebas procedentes de la revisión bibliográfica. Los datos se analizaron mediante análisis temático.

Recogida de datos

En este estudio se planificó un diseño de investigación cualitativa, ya que implicó el uso el uso de distintas fuentes de datos, como documentos, entrevistas y observaciones [8]. En este estudio se utilizó la revisión de literatura y la entrevista para la recopilación de datos. Se recopilaron datos secundarios de libros, artículos, informes y fuentes de Internet, y se desarrolló una visión general de la contratación basada en Blockchain. Dado que la aparición de la tecnología Blockchain es nueva, la revisión bibliográfica se basa en la investigación actual de 2015 a 2022. Además, se recopilaron datos primarios mediante entrevistas con expertos. Se entregó a los participantes un formulario de participación voluntaria, que incluía información sobre la finalidad, los procedimientos y la confidencialidad de la entrevista. Se incluyeron las siguientes preguntas de investigación en el formulario de entrevista, además de preguntas sobre información personal como nombre, cargo y experiencia:

- ¿Qué oportunidades ofrece la tecnología Blockchain a los procesos de contratación?
- ¿Cuáles son los retos de la adopción de la tecnología Blockchain en los procesos de contratación?
- ¿Cuáles son las posibles soluciones para superar estos retos?
- ¿Qué opina sobre el futuro del proceso de contratación basado en Blockchain?
- ¿Cómo afectará la tecnología Blockchain al papel del reclutador en el futuro?

El cuestionario de entrevista se aplicó al grupo de estudio en varias empresas dedicadas a diseño tecnológico, y se determinó mediante el método de muestreo de bola de nieve entre septiembre de 2022 y noviembre de 2022. El muestreo de bola de nieve se basa en la recomendación de los entrevistados que, participaron inicialmente en la entrevista para que entrevisten a otras personas que consideren relevantes para el tema [9]. No existe una fórmula para determinar el tamaño de la muestra para el muestreo de bola de nieve, ya que suele continuar hasta alcanzar la saturación de datos [10]. Para lograr la saturación de datos, las muestras deben ser adecuadas (lo suficientemente grandes para que se produzca la replicación) y apropiadas (los entrevistados deben ser expertos). Las entrevistas pueden detenerse y la muestra elegida puede justificarse cuando se alcanza la saturación de datos [11]. La transparencia de la saturación de datos mejora la calidad de la investigación, aumenta la fiabilidad y refuerza la validez.

Este estudio alcanzó la saturación de datos con 18 participantes mediante la utilización del enfoque del significado de los códigos, que consigue una comprensión completa de los mismos [12]. El grupo de participantes incluía profesionales como reclutadores, consultores de reclutamiento, adquisición de talento y directores de recursos humanos, así como directores de investigación, directores de tecnología, fundadores de empresas y altos directivos de empresas. En general, la selección de los participantes se basa en el criterio de ser experto en gestión de recursos humanos y tecnologías de software. En la Tabla 1 se ofrece información detallada sobre los perfiles de los participantes. Los participantes se denotan como C (caso).

Tabla 1. Descripción de los participantes

Participante	Puesto	Experiencia laboral
C1	Director de investigación	13 años
C2	Adquisición de talentos	11 años
C3	Director de RRHH	3 años
C4	Director	7 años
C5	Director General	21 años
C6	Consejero Delegado	27 años
C7	Fundador / Investigador	35 años
C8	Fundador/ Director	24 años
C9	Diseñador	2 años
C10	Presidente Ejecutivo	11 años
C11	Vicepresidente	11 años
C12	Consultor de contratación	5 años
C13	Director de talento	29 años
C14	Director	8 años
C15	Ejecutivo	4 años
C16	Reclutador	2 años
C17	Director de TI	7 años
C18	Ejecutivo	5 años

Fuente: Elaboración propia

Para obtener opiniones expertas sobre el tema de la investigación, las entrevistas se realizaron por correo electrónico, lo que ayuda a los investigadores a trabajar con participantes, como directivos y grupos geográficamente dispersos, con los que es difícil ponerse en contacto cara a cara o por teléfono. Además, la entrevista por correo electrónico se considera una forma eficaz de recopilar datos cualitativos, ya que permite a los participantes reflexionar sobre las preguntas durante mucho tiempo y dar respuestas detalladas. Los datos obtenidos con este tipo de entrevista de bajo coste se producen electrónicamente y requieren poca edición antes de ser procesados para su análisis. Este método permitió a los investigadores entrevistar simultáneamente a más de un participante con una lista de preguntas estándar. Sin embargo, la realización de las entrevistas llevó mucho tiempo ya que dependió de la disponibilidad de los participantes [13].

Análisis de datos

Los datos obtenidos durante el proceso de recogida de datos se evalúan mediante el método de análisis temático, que es uno de los métodos de investigación cualitativa más utilizados. Este método ayuda a los investigadores a proporcionar descripciones e interpretaciones a través de temas y patrones extraídos de una gran variedad de datos [14]. Además, con el análisis temático es posible determinar las relaciones entre conceptos y la frecuencia de su repetición en el conjunto del contenido [15]. En este estudio, los datos secundarios obtenidos de la revisión bibliográfica y los datos primarios obtenidos de las entrevistas se clasifican según los temas y subtemas pertinentes. Se utiliza la técnica de codificación para el análisis de datos cualitativos y los formularios de las entrevistas también son analizados en detalle por otra persona para mejorar la validez del proceso de codificación [16].

Resultados

En este estudio, los hallazgos relacionados con los procesos de contratación basados en Blockchain se presentan bajo tres temas: oportunidades, retos y posibles soluciones, y perspectivas.

Oportunidades de la tecnología Blockchain para la contratación

Los resultados confirman que la tecnología Blockchain ofrece las siguientes oportunidades para los procesos de contratación: (a) construir una red de carreras profesionales de forma digital, segura y descentralizada; (b) proporcionar una verificación eficaz, más rápida y más barata de las credenciales de los candidatos; (c) facilitar la evaluación del rendimiento de los empleados; (4) realizar entrevistas sobre el meta- verso. Se espera que todas estas oportunidades mejoren la calidad de las prácticas de contratación al permitir una adecuación más eficaz de los puestos de trabajo.

Retos tecnológicos y posibles soluciones

El primer reto tecnológico es la preocupación por la seguridad y la privacidad de los datos [17]. Las claves privadas utilizadas para firmar transacciones en el Blockchain pueden provocar graves ataques a la seguridad si no se gestionan adecuadamente [18]. Uno de los participantes(C16), que aborda la cuestión desde la perspectiva del empresario, nos dice en la entrevista "En los Blockchain sin permisos y sin confianza, la identidad se ofusca tras claves criptográficas. Las claves pueden ser más difíciles de falsificar, pero aun así pueden ser robadas". Como reclutador, ¿cómo me aseguraré de que esta clave pertenece a la persona que estoy considerando contratar?". Además, existe la preocupación de que los datos de los empleados puedan correr peligro [19].

El segundo de los retos tecnológicos es la cuestión de la escalabilidad y la rentabilidad. La escalabilidad es la capacidad del sistema para mantener su rendimiento a medida que crece la red, aumentando el número de nodos, los requisitos de almacenamiento y el tiempo de respuesta por transacción [20]. En otras palabras, un número creciente de transacciones en la Blockchain conlleva el reto de procesar grandes cantidades de datos en tiempo real [21,22]. Además, los sistemas de contratación basados en Blockchain tienen un alto índice de consumo de energía, ya que requieren un almacenamiento significativo. Esto requiere una mayor inversión en el proceso de configuración inicial en comparación con los sistemas actuales [23]. Las opiniones expresadas por los participantes también corroboran esta afirmación:

El coste de cambiar la tecnología para adoptar tecnología nativa de Blockchain es demasiado alto. Esto coincide con las conclusiones de Salah et al. [19], que subrayan que los profesionales pueden no adoptar este sistema pensando que los costes de implantación serán elevados. Por lo tanto, la cuestión de la escalabilidad y el coste desempeña un papel importante en la adopción de esta tecnología. Actualmente, existen proyectos que investigan formas de mantener altas las velocidades de transacción con un gran número de usuarios [24]. De hecho, la escalabilidad es un problema para las cadenas de bloques públicas más que para las privadas. Se espera que el problema de la escalabilidad del Blockchain a nivel general, se resuelva con el desarrollo de nuevos protocolos [20].

Retos organizativos y posibles soluciones

Uno de los retos organizativos que plantea la adopción de la tecnología Blockchain es el desajuste de los modelos de negocio de las organizaciones. Como Blockchain está descentralizada, puede no ajustarse a los modelos y procesos empresariales tradicionales. Algunas empresas comprenden mejor la naturaleza de la innovación que permite Blockchain y buscan oportunidades para crear nuevas empresas que tengan en cuenta las características de diseño de la tecnología, como la desintermediación, la descentralización y la transparencia. Por el contrario, las empresas establecidas de los sectores público y privado se comprometen con algunas de las características de la tecnología Blockchain e intentan integrarla en los sistemas y procesos empresariales actuales [20].

El segundo reto organizativo es la falta de conocimientos, destrezas y habilidades. La mayoría de las soluciones que aporta la tecnología Blockchain son nuevas y técnicas para los profesionales [24]. Por lo tanto, ha surgido una gran demanda de empleados con talento y conocimientos después de que las empresas empezaran a invertir en tecnología Blockchain. No obstante, ha surgido el problema de la falta de personal cualificado que pueda entender la tecnología Blockchain y sus efectos en las oportunidades de negocio potenciales [25,26]. A este respecto, C3 destaca que se trata de una tecnología difícil de aprender.

Retos medioambientales y posibles soluciones

El primero de los retos medioambientales es la falta de conocimiento y comprensión de la tecnología Blockchain. En particular, el conocimiento de la tecnología es escaso en los sectores excepto el bancario, y es común la falta de comprensión de su aplicación [17]. Blockchain es una tecnología en constante evolución y también es difícil de entender debido a su compleja estructura de red. El desconocimiento común de la tecnología Blockchain impide la exploración de ideas para diferentes usos de esta tecnología [27]. En este contexto, se revela que la mayoría de la gente piensa que Bitcoin es la única red Blockchain, y no son conscientes de la existencia de esta tecnología y de sus usos potenciales [28]. Los participantes señalan que es una cuestión de tiempo su adopción.

El segundo reto abordado en el ámbito de los retos medioambientales, es la falta de cooperación entre las partes interesadas. La naturaleza transfronteriza de la tecnología Blockchain puede dar lugar a un uso indebido de los datos y a un acceso no autorizado a los mismos. Los principios reguladores y la cooperación son necesarios para evitar esta situación [20]. En este contexto, es fundamental proteger la confidencialidad de la información de los solicitantes de empleo y crear nuevas leyes y reglamentos [29]. En este punto, los gobiernos pueden formular

políticas para la aplicación de nuevas tecnologías en la verificación de la información de los solicitantes de empleo [30].

Perspectivas de uso de Blockchain en la contratación de personal

Las conclusiones sobre las perspectivas del proceso de contratación basado en Blockchain se presentan en dos subtemas: la visión general de las perspectivas y el papel del reclutador en el futuro.

La tecnología Blockchain, que se prevé que desempeñe un papel clave en el futuro del trabajo, puede remodelar la búsqueda de empleo y la creación de los equipos adecuados [31]. En este contexto, la investigación previa realizada por Treiblmaier et al. [32] señaló que se espera que Blockchain aumente la eficiencia de las actividades rutinarias mediante la automatización de procesos y el acceso común a datos inmutables. Esta expectativa coincide con las opiniones de algunos participantes en el presente estudio.

Con el uso de la tecnología Blockchain en las empresas, las cualificaciones y competencias actuales pueden perder valor [32], y pueden ser necesarias nuevas cualificaciones. Como especificó el C4, "el trabajo de contratación se vuelve más táctico y amplio y requiere un conjunto de habilidades diferente al del reclutador actual". Por lo tanto, se espera que los reclutadores estén preparados para el futuro, adquieran nuevos conocimientos, habilidades y requisitos derivados de la tecnología y se adapten al entorno. En este contexto, C9 y C18 señalan que los reclutadores necesitan aprender más sobre el funcionamiento de la tecnología.

De forma similar, C2 afirma que "Blockchain no puede darte una idea de las preocupaciones emocionales de una persona, sus motivaciones y las razones para dejar su empresa actual y unirse a la siguiente". En este sentido, los reclutadores apoyan el proceso de contratación analizando en detalle a los candidatos. Además, los reclutadores pueden disponer de más tiempo para centrarse en los niveles de aculturación de los candidatos [33].

Trabajo a futuro

En cuanto a las tendencias futuras, se predice que las prácticas de contratación basadas en Blockchain pueden surgir como un proceso gradual. Además, las descripciones del trabajo de los reclutadores pueden cambiar. Es posible que los reclutadores tengan que dedicar más tiempo a comprender el funcionamiento de la tecnología, analizar la armonía cultural y personal de los candidatos, preparar contratos transfronterizos, resolver problemas, llevar a cabo innovaciones y colaborar con otros, en lugar de al trabajo rutinario.

Conclusiones

En este estudio, se llevó a cabo una investigación exploratoria utilizando una revisión exhaustiva de la literatura y una entrevista estructurada con expertos para investigar los efectos de Blockchain en los procesos de contratación. Las oportunidades, retos y perspectivas que ofrece la contratación basada en tecnología innovadora, se analizaron en detalle con un enfoque holístico. Dentro del ámbito de los resultados obtenidos en el estudio, se ha revelado que la tecnología Blockchain ofrece oportunidades innovadoras para los procesos de contratación en términos de seguridad, coste, tiempo y calidad.

En particular, se señala que la tecnología Blockchain, se utilizará como herramienta influyente a la hora de emparejar a los empleados adecuados con los puestos de trabajo adecuados en el momento adecuado, mejora los procesos de contratación y crea una ventaja competitiva sostenible para las organizaciones. En función de esto, se prevé que las prácticas de contratación se alineen más estrechamente con los objetivos y estrategias de la empresa en el futuro.

La tecnología de cadena de bloques (Blockchain) se enfrenta a retos nacionales, internacionales y medioambientales, como la preocupación por la seguridad y la privacidad, problemas de escalabilidad y costes, desajuste de los modelos de negocio, falta de conocimientos, habilidades y capacidades, reticencia de los altos directivos, falta de concienciación y comprensión, y falta de cooperación. Aunque se espera que estos retos se eliminen paralelamente al desarrollo de la tecnología, analizar las mejores prácticas de las empresas líderes, proporcionar educación sobre Blockchain y aumentar el estímulo gubernamental pueden considerarse posibles soluciones para facilitar la transición a modelos de negocio basados en esta tecnología.

En consecuencia, este estudio es el primer intento de debatir conjuntamente las oportunidades, los retos y las posibles soluciones y perspectivas de la contratación basada en Blockchain. Por ello, se considera que contribuye significativamente a promover la concienciación y el conocimiento entre investigadores y profesionales sobre el uso de Blockchain en la contratación. Sin embargo, la investigación tiene algunas limitaciones que ofrecen direcciones para futuras investigaciones.

Este estudio exploratorio se lleva a cabo con una combinación de un número limitado de expertos y revisión de la literatura. El uso generalizado de la tecnología en el futuro puede permitir disponer de una muestra de mayor tamaño. El método de encuesta puede utilizarse para obtener una muestra más representativa que permita abordar los distintos aspectos del tema. Además, el estudio se limita a la función de reclutamiento, en el campo de la Gestión de recursos humanos y, por lo tanto, son posibles numerosas nuevas líneas de investigación. En este sentido, se pueden realizar nuevos estudios sobre el uso de Blockchain para las funciones de formación y desarrollo, planificación de la carrera profesional, evaluación del rendimiento y gestión de la remuneración.

Agradecimientos

Al CONAHCyT, por su apoyo económico brindado durante la realización de este proyecto. Así como a la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla por las facilidades para realizar la estancia doctoral para la realización de este estudio.

Referencias

[1] Chhetri, R. Implementación de la tecnología Blockchain en la contratación de recursos humanos. Bachelor's Thesis, JAMK University of Applied Sciences, Jyväskylä, Finlandia, febrero de 2022.

[2] Marella, V.; Vijayan, A. Document Verification Using Blockchain for Trusted CV Information. En Proceedings of the Americas Conference on Information Systems (AMCIS 2020), Conferencia Virtual, 15-17 de agosto de 2020.

[3] Taylor, M.S.; Collins, C.J. Reclutamiento organizativo: Enhancing the intersection of research and practice. En Industrial and Organizational Psychology; Cooper, C.L., Locke, E.A., Eds.; Blackwell Publishing: Oxford, UK, 2000; pp. 304-334.

[4] Chapman, D.S.; Webster, J. El uso de las tecnologías en los procesos de reclutamiento, cribado y selección de candidatos a un puesto de trabajo. Int. J. Sel. Assess 2003, 11, 113-120.

[5] Rhemananda, H.; Simbolon, D.R.; Fachrunnisa, O. Blockchain Technology to Support Employee Recruitment and Selection in Industrial Revolution 4.0 (Tecnología Blockchain para apoyar la contratación y selección de empleados en la revolución industrial 4.0). En Proceedings of the International Conference on Smart Computing and Cyber Security: Strategic Foresight, Security Challenges and Innovation, Kosong, Corea, 28-29 de octubre de 2021.

[6] Ganesh, N.S.G. Identificación de oportunidades habilitadas por blockchain y sus valores empresariales: Interoperabilidad de blockchain. En Blockchain Technology and Applications; Raj, P., Saini, K., Surianarayanan, C., Eds.; CRC Press: Boca Ratón, FL, EE.UU., 2021;pp. 160-184.

[7] Hair, J.F.; Page, M.; Money, A.; Brunsveld, N. Essentials of Business Research Methods; Routledge: Nueva York, NY, EE.UU., 2003; p. 163.

[8] Myers, M.D. Investigación cualitativa en sistemas de información. MIS Q. 1997, 21, 241-242. [CrossRef]

[9] Johnson, T.P. Muestreo de bola de nieve: Introduction. Wiley StatsRef Stat. Ref. Online 2014, 1-3. [CrossRef]

[10] Naderifar, M.; Goli, H.; Ghaljaie, F. Snowball sampling: A purposeful method of sampling in qualitative research. Stride. Dev. Med. Educ. 2017, 14, 1-6. [CrossRef]

[11] Morse, J.M. Los datos se saturaron Qual. Health Res. 2015, 25, 587-588. [CrossRef]

[12] Hennink, M.; Kaise, B.N. Tamaños de muestra para la saturación en la investigación cualitativa: A systematic review of empirical tests.Soc. Sci. Med. 2022, 292, 114523. [CrossRef] [PubMed]

[13] Meho, L.I. La entrevista por correo electrónico en la investigación cualitativa: A methodological discussion. J. Assoc. Inf. Sci. Technol. 2006, 57, 1284-1295. [CrossRef]

[14] Majumdar, A. Análisis temático en la investigación cualitativa. En Qualitative Techniques for Workplace Data Analysis; Gupta, M., Shaheen, M., Reddy, K.P., Eds.; IGI Global: Hershey, PA, USA, 2018; pp. 197-220.

[15] Jnanathapaswi, S.G. Análisis temático y codificación: Una visión general del paradigma cualitativo. An Introduction to Social Science Research; APH Publishing Corporation: Nueva Delhi, India, 2021.

[16] Yin, R.K. Investigación cualitativa de principio a fin; The Guilford Press: Nueva York, NY, EE.UU., 2011; p. 19.

[17] Amuda, Y. J. (2020). Impact of coronavirus on small and medium enterprises (smes): towards postcovid-19 economic recovery in Nigeria. Academy of Strategic Management Journal, 19(6),1-11. https://www.proquest.com/openview/7664ecdd3cdae99f4470784a5c8673db/1?pq-origsite=gscholar&cbl=38745

[18] Al-Hyari, K. (2020). Initial empirical evidence on how jordanian manufacturing smes cope with the COVID-19 pandemic. Academy of Strategic Management Journal, 19, 1-12. https://doi.org/10.21511/ppm.18(2).2020.25

[19] Salah, D.; Ahmed, M.H.; ElDahshan, K. Aplicaciones de Blockchain en la gestión de recursos humanos: Opportunities and Challenges. En Proceedings of the Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE'20), Trondheim, Noruega, 15-17 Abril 2020.

[20] Caballero-Morales, SO (2021). Innovation as recovery strategy for SMEs in emerging economies during the COVID-19 pandemic. Research in international business and finance, 57, 101396. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2021.101396

[21] García-Villagrán, A., Cano-Olivos, P., Martínez-Flores, JL y Sánchez-Partida, D. (2020). The COVID-19 effect in mexican SMEs. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, 5 (6), 63–71. https://doi.org/10.25046/aj050608

[22] S. Nordhagen, U. Igbeka, H. Rowlands, R. S. Shine, E. Heneghan, and J. Tench, “COVID-19 and small enterprises in the food supply chain: Early impacts and implications for longer-term food system resilience in low- and middle-income countries,” World Development, vol. 141, p. 105405, May 2021.

[23] Onik, M.M.H.; Miraz, M.H.; Kim, C.-S. Una técnica de contratación y gestión de recursos humanos utilizando la tecnología Blockchain para la Industria 4.0. En Actas del Simposio de Ciudades Inteligentes (SCS-2018), Manama, Baréin, 22-23 de abril de 2018.

[24] Gregurec, I., Tomiii Furjan, M., & Tomiii-Pupek, K. (2021). The impact of COVID-19 on sustainable business models in SMEs. Sustainability, 13(3), 1098. http://www.doi.org/10.3390/su13031098

[25] Nagarathinam, A.N. Potential impact of blockchain on HR and people management. J. Emerg. Technol. Innov. Res. 2021, 5, 127-130.

[26] Khurana, S., Haleem, A., Luthra, S., Huisingh, D., & Mannan, B. (2021). Now is the time to press the reset button: Helping India’s companies to become more resilient and effective in overcoming the impacts of COVID-19, climate changes and other crises. Journal of cleaner production, 280, 12446 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124466

 ISSN: 2007 8102

[27] Komalavalli, C.; Saxena, D.; Laroiya, C. Overview of blockchain technology concepts. En Handbook of Research on Blockchain Technology; Krishnan, S., Balas, V.E., Julie, E.G., Robinson, Y.H., Balaji, S., Kumar, R., Eds.; Academic Press: Londres, Reino Unido, 2020; pp. 349-371.

[28] Nurlinda, N., Sinuraya, J., Asmalidar, A., Hassan, R., & Supriyanto, S. (2021). Use of online applications in maintaining MSMEs performance during the COVID-19 pandemic. Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi, 7 (2), 80-94. https://doi.org/10.26594/register.v7i2.2223

[29] Syaifullah, J., Syaifudin, M., Sukendar, M. U., y Junaedi, j. (2021). Social Media Marketing and Business Performance of MSMEs During the COVID-19 Pandemic. The Journal of Asian Finance, Economics, and Business, 8(2), 523-531.https://doi.org/10.13106/JAFEB.2021.VOL8.NO2.0523

[30] Abdullah, N.; Abdullah, N.H. Futura aplicación de la tecnología blockchain en la verificación para la contratación. Int. J. Recent Technol. Eng. 2020, 8, 1231-1238.

[31] Haryati, N. (2021). Business model analysis of mushroom agroindustry and its sustainable development strategy in Covid-19 pandemic. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 733 (1), 012125) https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012125

[32] Harjadi, D., Yuniawan, A., Abdurrahman, A., Dananjoyo, R., Filatrovi, Ew, y Arraniri, I. (2020). Product Characteristics, Market Competitive Strategies, and SMEs Performance: Testing Their Relationships. The Journal of Asian Finance, Economics and Business, 7 (10), 613–620. https://doi.org/10.13106/jafeb.2020.vol7.no10.613

[33] Kanda, A., y Deshmukh, S. G. (2008). Supply chain coordination: perspectives, empirical studies and research directions. International journal of production Economics, 115(2), 316-335. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.05.011

ISSN: 2007 8102

Implementación de un Sistema de Gestión para el Control de Inventarios

Elizabeth Covarrubias Ramírez[1], Dolores Florina Reynoso Hernández[2], Martha Gallegos López[3]*, Edmundo Cerda Rodríguez[4], *Itzel Cabrera Gallegos[5]*

[1]*Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de San Luis Potosí y* elizabeth.cr@slp.tecnm.mx
[2]*Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de SanLuis Potosí y* dolores.rh@slp.tecnm.mx
[3]*Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de San Luis Potosí y* martha.gl@slp.tecnm.mx
[4]*Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de San Luis Potosí y* edmundo.cr@slp.tecnm.mx
[5]*Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de San Luis Potosí y* itzel.cabrerag30@gmail.com

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

Con el presente proyecto se modificó el estándar de control que se tenía en la empresa y se mejoró la gestión del área de almacén. Comenzamos con un inventario que nos ayudó a contabilizar los componentes obsoletos y componentes disponibles en stock. También se implementó un registro para controlar las entradas y salidas de los materiales para costear cada uno de los proyectos que se comercializan, así como costear la existencia de stock. Se registraron cada uno de los movimientos en el sistema CONTPAQ, el cual proporciona las funciones que se requieren dentro de un almacén.

Y, por último, se llevaron a cabo conteos cíclicos semanales para obtener registros y guiarnos en la elaboración de reportes, así mismo se realizaron actividades complementarias tales como un control de devoluciones en base a formatos que ayudaron a la mejora del registro en el sistema.

***Palabras clave**: Almacén, Inventarios, Control*

Abstract

With this project, the control standard in the company was modified and the management of the warehouse area was improved. We started with an inventory that helped us account for obsolete components and available components in stock. A record was also implemented to control the inputs and outputs of materials to pay for each of the projects that are marketed, as well as to pay for the existence of stock. Each of the movements were recorded in the CONTPAQ system, which provides the functions that are required within a warehouse.
And, finally, weekly cyclical counts were carried out to obtain records and guide us in the preparation of reports, likewise complementary activities were carried out such as a control of returns based on formats that helped to improve the registration in the system.

Key words: Warehouse, Inventories, Control

Introducción

La empresa fue creada en mayo del 2009 en la ciudad de San Luis Potosí, la compañía proporciona un servicio integral a la industria para solucionar problemas de automatización y control de procesos mediante proyectos específicos. Con el apoyo y la experiencia de nuestros socios comerciales, buscamos elevar la eficiencia y rentabilidad de nuestros clientes, reducir sus costos y riesgos con el fin de lograr su satisfacción completa.
La mejora en el área de Almacén se hace vital para la empresa porque es la que se encarga de programar, dirigir

y controlar las actividades de: recepción, despacho, registro y control de las existencias, verificando que todo lo que se recibe en el almacén, cumple con la cantidad, calidad y especificaciones establecidas en los pedidos. Para lograrlo es necesario que, en primer lugar, conozcamos los tipos de formatos y procesos de los que se compone un almacén y definamos claramente qué necesitamos que ocurra en cada uno de ellos, es decir, qué procedimientos van a desarrollarse en el proceso de gestión del almacén.
Se pretende hacer efectiva la aplicación del procedimiento en cuanto a la organización del almacén, la clasificación del material y la ubicación, entre otros factores: El registro de entrada y salida, aprovechamiento de espacios, recorridos mínimos, mercancía accesible, zonas de almacén, gestión de stock de los materiales clasificados como high runner (línea rápida), así mismo la implementación de un programa que facilite el registro de las entradas y salidas del almacén, de igual forma, analizar el procedimiento para dar de baja materiales obsoletos y gestionar las devoluciones de cada proyecto, en el mismo sentido se presentará un diagrama de flujo que indique los procesos a seguir para el manejo del almacén, de tal forma que para cualquier persona que esté a cargo sea fácil de entender y llevar a cabo.
Las organizaciones mantienen inventarios de materias primas y de productos terminados. Los inventarios de materias primas sirven como entradas a una determinada etapa del proceso de producción y los inventarios de productos terminados sirven para satisfacer las necesidades o demanda de los clientes. Puesto que estos inventarios representan frecuentemente una considerable inversión de recursos financieros, las decisiones con respecto a las cantidades de inventarios son importantes. Los modelos de inventario y la descripción matemática de los sistemas de inventario constituyen una base para la toma de estas decisiones **[1]**
La administración y gestión de las existencias y la venta de los productos se hacen imposibles si no se lleva una monitorización de los inventarios de la empresa. El control y el manejo de los inventarios es imprescindible para poder conocer los costes de producción y la fijación de unos precios competitivos que nos permitas conseguir beneficios. **[2]**
Un almacén es un área física que cumple determinados requisitos y que, organizada de manera lógica y sistemática, se destina a la recepción, aceptación, custodia, conservación y distribución o de los bienes que van a emplearse para la producción o el servicio.
El Stock es la cantidad de mercancías que permanecen almacenadas en la empresa y que están en movimiento, aguardando a ser consumidas en el proceso de producción, servicio, mantenimiento y venta en un tiempo cercano, tanto para fabricación como para la venta **[3]**
Un inventario es una relación de los bienes de que se disponen, clasificados según familias y categorías y por lugar de ocupación. Las empresas tienen la obligación de realizar inventario, y es necesario que éste se ajustea la realidad, ya que una sobrevaloración del mismo (es decir que tenemos más de lo que existe en la realidad) hace que el valor de una empresa sea mayor, mientras que una infravaloración hará que los impuestos que tengamos que pagar sean menores. **[4]**
Se denominan existencias o inventarios a la variedad de materiales que se utilizan en la empresa y que se guardan en sus almacenes a la espera de ser utilizados, vendidos o consumidos, permitiendo a los usuarios desarrollar su trabajo sin que se vean afectados por la falta de continuidad en la fabricación o por la demora en la enterregapor parte del proveedor. La gestión eficiente del stock de un almacén es un reto para las empresas logísticas o que cuentan con un almacén o centro de distribución, puesto que de la gestión de inventarios de las existencias almacenadas dependerá en gran medida la rentabilidad del negocio **[5]**.
Es importante tener en cuenta que la obsolescencia (la cualidad de obsoleto) no surge por el mal funcionamiento de un objeto, sino porque su desempeño se vuelve insuficiente en comparación con las nuevas tecnologías. Esto quiere decir que una computadora puede ser moderna y funcionar mal, mientras que una máquina de escribir puede ser antigua, obsoleta y tener un rendimiento perfecto.
Dicho todo esto, queda claro que el hecho de que un producto se vuelva obsoleto puede tener consecuencias negativas tanto para el fabricante como para el consumidor, dependiendo de las razones por las cuales haya llegado a tal estado. Por un lado, si el motivo es el «natural envejecimiento» del producto mismo a causa de que hayan salido alternativas más modernas, el consumidor se puede ver perjudicado ante la falta de repuestos o incluso si desea volver a comprar un modelo antiguo por preferencias personales **[6]**.

Metodología

Para iniciar, se realizó el diagrama de procedimiento del departamento de almacén, esto para gestionar de acuerdo al plan de actividades. Lo cual ayudó a reubicarnos y realizar el diagrama de acuerdo a nuestras necesidades de trabajo.

 ISSN: 2007 8102

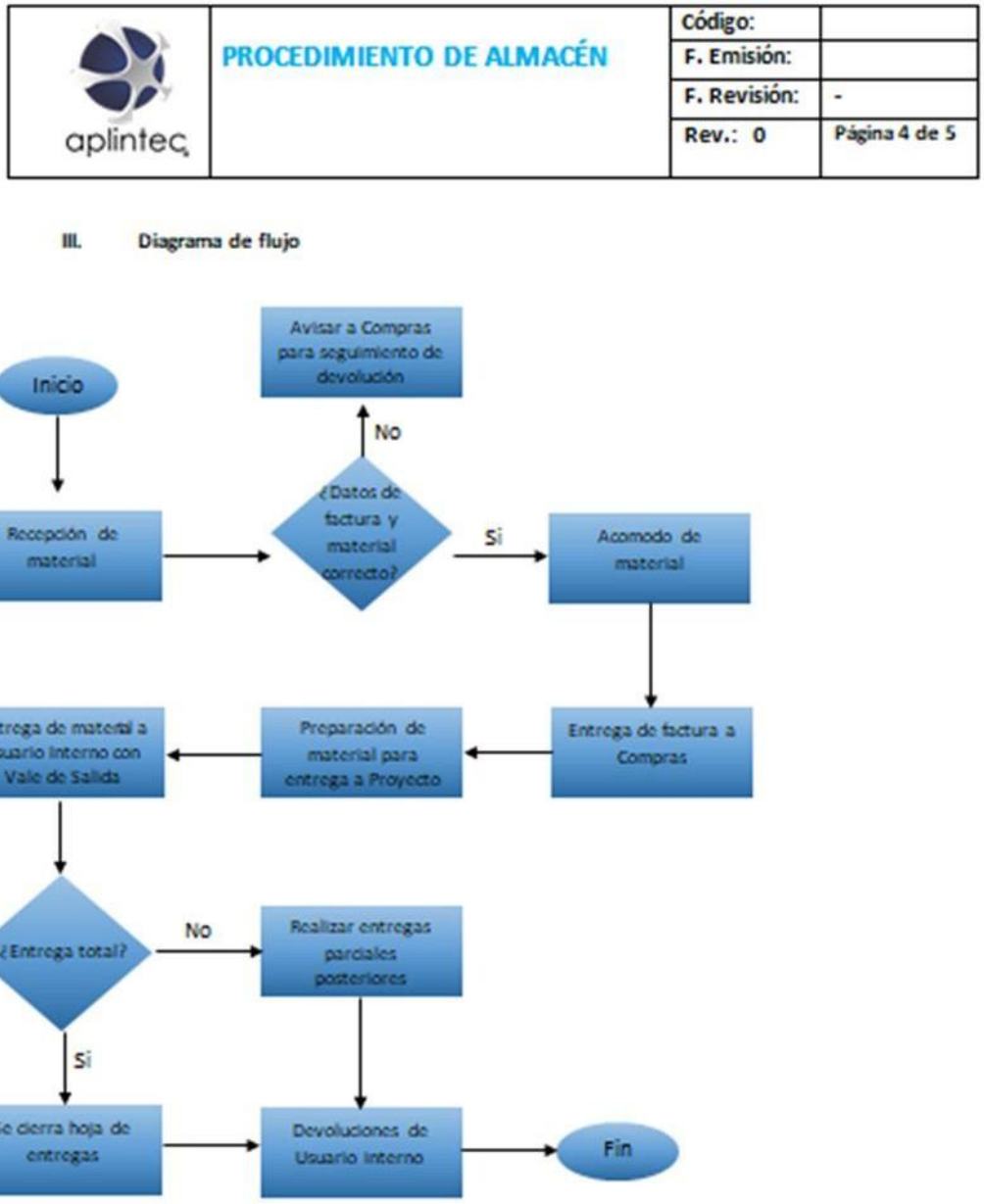
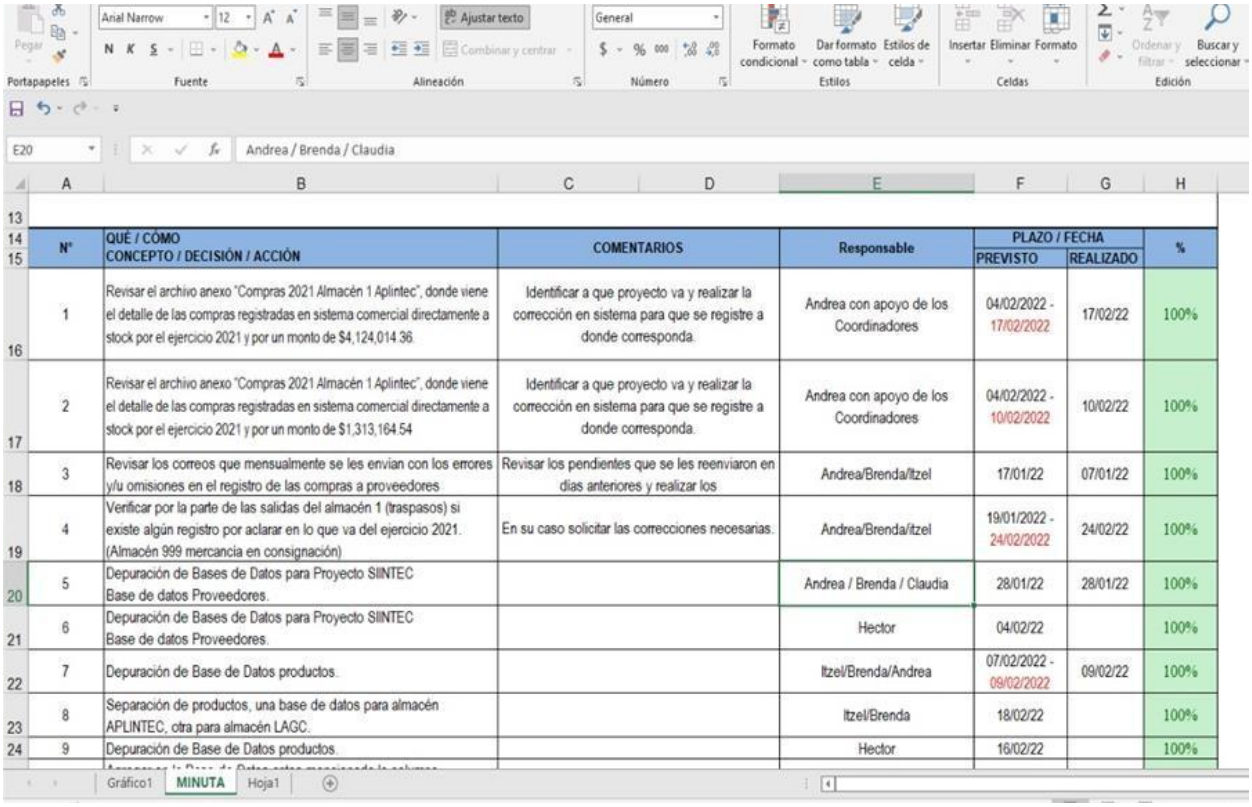


Figura 1: Diagrama de Procedimiento de Almacén Fuente Empresa

Una vez analizando el procedimiento del departamento de almacén y realizado el diagrama, tomando en cuenta que el inventario es el protagonista de esta área, se identificó que no existía un inventario como tal, ya que los reportes capturados en sistema eran del año 2019 y a partir de esa fecha no se volvió a contabilizar ni clasificar los materiales. No se tenía una idea de su valor monetario ni el total de componentes en stock.
Se elaboró una minuta con las actividades a realizar apegándonos al procedimiento, y a la declaración fiscal 2021.

 ISSN: 2007 8102



Nº	QUÉ / CÓMO CONCEPTO / DECISIÓN / ACCIÓN	COMENTARIOS	Responsable	PLAZO / FECHA PREVISTO	PLAZO / FECHA REALIZADO	%
1	Revisar el archivo anexo "Compras 2021 Almacén 1 Aplintec", donde viene el detalle de las compras registradas en sistema comercial directamente a stock por el ejercicio 2021 y por un monto de $4,124,014.36.	Identificar a que proyecto va y realizar la corrección en sistema para que se registre a donde corresponda.	Andrea con apoyo de los Coordinadores	04/02/2022 - 17/02/2022	17/02/22	100%
2	Revisar el archivo anexo "Compras 2021 Almacén 1 Aplintec", donde viene el detalle de las compras registradas en sistema comercial directamente a stock por el ejercicio 2021 y por un monto de $1,313,164.54	Identificar a que proyecto va y realizar la corrección en sistema para que se registre a donde corresponda.	Andrea con apoyo de los Coordinadores	04/02/2022 - 10/02/2022	10/02/22	100%
3	Revisar los correos que mensualmente se les envían con los errores y/u omisiones en el registro de las compras a proveedores	Revisar los pendientes que se les reenviaron en días anteriores y realizar los	Andrea/Brenda/Itzel	17/01/22	07/01/22	100%
4	Verificar por la parte de las salidas del almacén 1 (traspasos) si existe algún registro por aclarar en lo que va del ejercicio 2021. (Almacén 999 mercancía en consignación)	En su caso solicitar las correcciones necesarias.	Andrea/Brenda/itzel	19/01/2022 - 24/02/2022	24/02/22	100%
5	Depuración de Bases de Datos para Proyecto SIINTEC Base de datos Proveedores.		Andrea / Brenda / Claudia	28/01/22	28/01/22	100%
6	Depuración de Bases de Datos para Proyecto SIINTEC Base de datos Proveedores.		Hector	04/02/22		100%
7	Depuración de Base de Datos productos.		Itzel/Brenda/Andrea	07/02/2022 - 09/02/2022	09/02/22	100%
8	Separación de productos, una base de datos para almacén APLINTEC, otra para almacén LAGC.		Itzel/Brenda	18/02/22		100%
9	Depuración de Base de Datos productos.		Hector	16/02/22		100%

Figura 2: Minuta de plan de actividades en el almacén Fuente Impreso con permiso de la Empresa

Para poder dar seguimiento a la minuta, se tiene que actualizar el inventario físico, por lo cual la siguiente etapa consistió en realizar las devoluciones físicas de componentes de proyectos; recibir material el cual será agregado a lo que puede ser reutilizado regresando la existencia a inventario y lo que no, será reubicado como material obsoleto, el cual fue cargado en el sistema que se va a utilizar, para llevar el control de almacén: ContPAQ

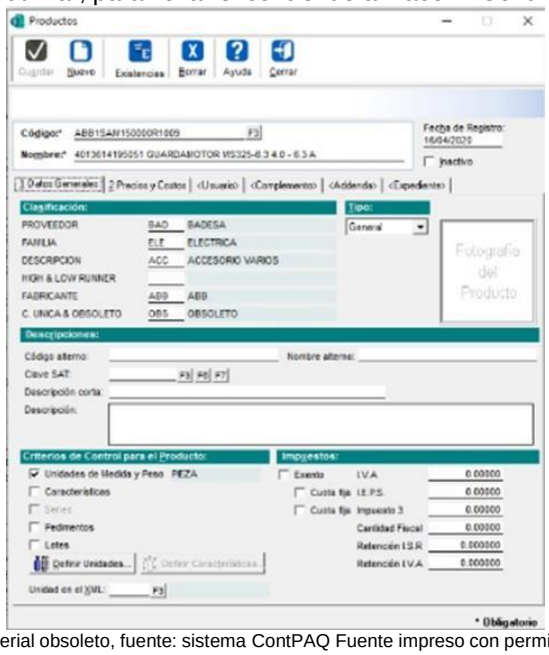


Figura 3: Material obsoleto, fuente: sistema ContPAQ Fuente impreso con permiso de la Empresa.

Los componentes clasificados como devolución se manejan por medio de proyectos, anteriormente cuando un proyecto ha sido entregado, se realizaba dicha devolución por medio de un formato, el cual era elaborado por alguno de los ensambladores asignados del proyecto y contenía lo siguiente: cantidad, número de parte, descripción y proyecto. El cual no fué tan efectivo por lo que se implementó un nuevo método para que las devoluciones sean contabilizadas monetariamente por semana, tengan un mejor control y el material no quede rezagado, así mismo sea registrado

 ISSN: 2007 8102

consecutivamente en el sistema CONTPAQ comercial con entrada a inventario; este método consiste en:

- Devolver el componente que no sea útil para el proyecto los jueves de cada semana.
- El componente deberá llevar una etiqueta con los siguientes datos; número de parte o descripción, número de proyecto y nombre de quien devuelve.

El registro se llevará a cabo en Excel documentando, en una hoja asignada por semana en una tabla de datos para cada proyecto; la cantidad, numero de parte, descripción, nombre de quien devuelve, costo unitario, costo total y costo total por semana. Una vez terminado el anterior proceso se registran los componentes sobrantes del proyecto y se dan de alta en almacén.

Así mismo se implementó el formato de registro de entradas y salidas de almacén para controlar los procedimientos; conforme al diagrama de procedimientos, se realiza cada una de las actividades a través de formatos para su registro como: vales de material de almacén, formato de salidas de inventario y formatos de devolución, los cuales se elaboraron, ya que no los tenían de esa forma.

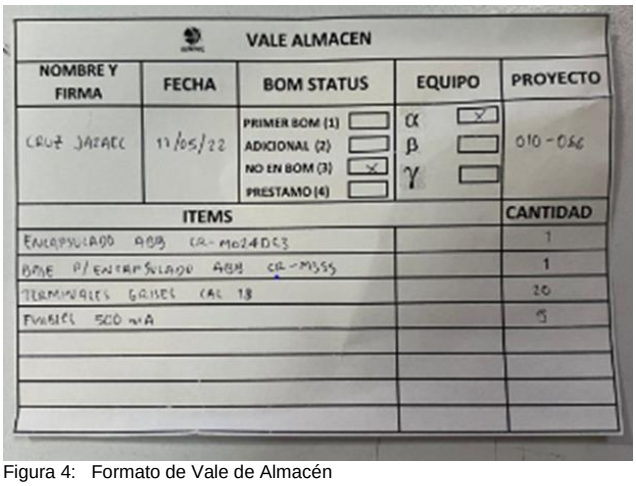


Figura 4: Formato de Vale de Almacén

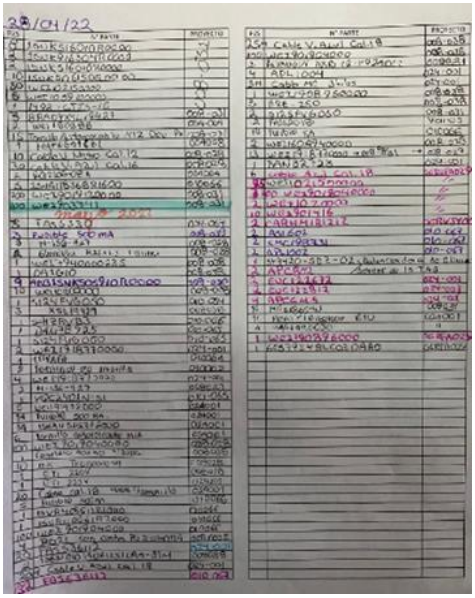


Figura 5: Formato de Salidas y devolución de almacén

Como siguiente paso, se llevó a cabo el proceso de realizar el traspaso de componente de almacén a proyecto; este paso consiste en darle salida al componente que el ensamblador solicita para la máquina automatizada en la que esté trabajando, cada una de ellas tiene un número asignado de proyecto, al cual se le da entrada. Esto deberá ser periódicamente para mantener control y tener una validación costeable tanto del proyecto como de almacén.

Una vez realizado los procedimientos de las devoluciones, traspasos, entradas y salidas de almacén, actualización de formatos para el control de componentes, se descargó el reporte del inventario actual de almacén en Excel.

Para la descarga del reporte se ingresa al sistema comercial en la base de datos de la empresa 2021, se selecciona el botón de reporte el cual se abre en una pestaña donde aparece otra opción que es la de inventario y con esta se despliega una ventana donde seleccionas el botón de inventario actual de almacén en Excel; en esta se puede encontrar el reporte para ejecutar su descarga. En la siguiente imagen se encuentra dicho proceso.

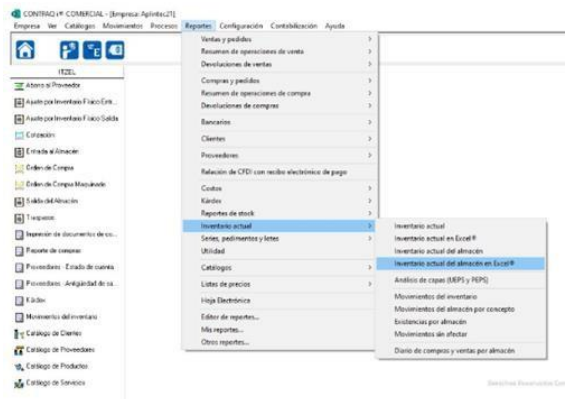


Figura 6: Inventario de almacén sistema ContPAQ Fuente Empresa

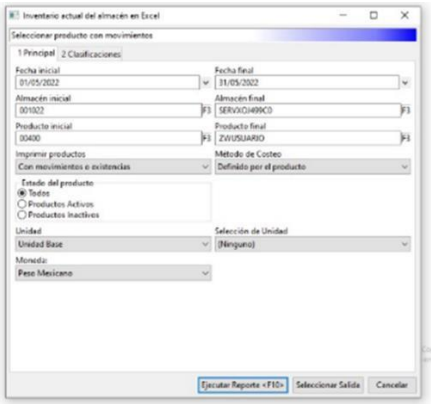


Figura 7: Inventario de almacén Sistema ContPAQ Fuente E.

 ISSN: 2007 8102

Se realizó el conteo físico de los materiales ubicados en stock, el cual se organizó de la siguiente manera:

- El conteo se programó en 6 días hábiles
- Se contabilizó por rack, pasillo y marca.
- Se inspeccionó el conteo para que se realizara de manera correcta.
- Se asignó a una sola persona por rack, marca y día.
- El conteo se registró en hojas físicas con el reporte antes mencionado.
- Al terminar el conteo físico, se realizó un segundo conteo para verificar el número de piezas existentes.

Al finalizar el conteo físico se vacío la información obtenida durante inventario en una base de datos que nos permitiera hacer una comparación de existencia actual y existencia en sistema comercial, en base a eso hacer una toma de decisión de mejora para la declaración fiscal 2021.

Analizamos las existencias faltantes y las existencias en aumento de mayor costo; y con el número de parte empezamos a rastrear las compras, la entrada y salida para corregir desbalance del costo y de la existencia de los componentes

Las diferencias absolutas encontradas de los números de parte de costos más elevados son los siguientes:

oneda: Peso Mexicano

$44,552.00

(COSTO DEFINIDO POR EL PRODUCTO)
Del: 01/ENE/2021 Al: 31/DIC/2021

			APL	FISICO			REVALUACION	
Código Producto	Nombre Producto	Método	Existencia	Conteo 2021	Diferencias	Definido producto	DE + EN INV	DE - EN INV
Almacén:	1							
Nombre:	Almacen Uno							
ALT402510	CGABINETE DE ALUMINIO 80x170x73MM	PEPS	0.00	14.00	(14.00)	$1,015.02		-$14,210.28
FAS5003	PERFIL LIGERO 45X90	PEPS	1.00	12.00	(11.00)	$3,741.34		-$41,154.74
OMRWLCA2LDN	BSA-LIMIT SW,ROLLER LEVER	PEPS	0.00	4.00	(4.00)	$1,850.00		-$7,400.00
SICK1044125	SISTEMA DE SEGURIDAD MODULO DE E/S FX3-XTI084002	PEPS	1.00	2.00	(1.00)	$5,000.00		-$5,000.00
STOPFA141	STOPFLEX - STOPFA1415,HOSEBAND PAQ (10PZ)	PEPS	1.00	10.00	(9.00)	$802.59		-$7,223.31
STOPFA222	STOPFA2223,HOSEBAND (PAQ 10PZ)	PEPS	1.00	9.00	(8.00)	$802.59		-$6,420.72
UCDAC0050413ATTA5AW	UCD-AC005-0413-ATTA-5AW ENCONDER ABSOLUTO FRABA	PEPS	0.00	1.00	(1.00)	$6,210.00		-$6,210.00
2CTB803953R0800	3660308513144 OVR T2 3N 40 275 s P	PEPS	0.00	2.00	(2.00)	$4,900.00		-$9,800.00
AB7684	DISPOSITIVO PROFINETIO,ANYBUS XGATEWAY- ETHERCATSLAVE	PEPS	0.00	1.00	(1.00)	$10,000.00		-$10,000.00
ABB2TLA020070R4600	PLUTO B20 V2 RELEVADOR DESEGURIDAD JOKAB ABB	PEPS	0.00	1.00	(1.00)	$17,528.00		-$17,528.00
ABB2TLA030054R0000	INCA 1 TINA	PEPS	0.00	7.00	(3.00)	$2,235.06		-$6,705.18
AE26301187	CONTACTOR 3P 125VDC SERIE A	PEPS	0.00	10.00	(10.00)	$2,380.00		-$23,800.00
ALB440RD22R2	SOLID STATE 24 VDC 2.5 WATTS	PEPS	0.00	16.00	(15.00)	$4,719.00		-$70,785.00
B30EP167593BK	Poliéster con cinta adhesiva Negro 1.200" H x 1.5 00" W	PEPS	0.00	5.00	(5.00)	$4,979.50		-$24,897.50
BALBCC03A9	Extensión M12 4P codo-hembra//recto-macho, 60cm	PEPS	5.00	38.00	(20.00)	$369.21		-$7,384.20

Figura 8: Diferencias absolutas, formato del sistema ContPAQ. Fuente impreso con permiso de la Empresa

La mayor diferencia entre costos de los componentes que hay de más en stock es el producto ALB440RD22R2 que representa $= 70,875 pesos. Entre otros números de parte, que hacen que se eleve el costo total de almacén. En base a esto, se analizó por qué no tiene un registro de salida y un posible ingreso a proyecto.

También al analizar detenidamente, observamos que hay componentes que no están en almacén y que en el sistema aparecen como en existencia, esto fué un problema y se tomó la decisión junto con el equipo de trabajo, de primero hacer un reporte del inventario y realizar una comparación; al realizar ésta, observamos que el problema era que no se daban de baja los componentes en el sistema o no se agregaban.

Moneda: Peso Mexicano

$44,552.00

(COSTO DEFINIDO POR EL PRODUCTO)
Del: 01/ENE/2021 Al: 31/DIC/2021

			APL	FISICO			REVALUACION	
Código Producto	Nombre Producto	Método	Existencia	Conteo 2021	Diferencias	Definido producto	DE + EN INV	DE - EN INV
Almacén:	1							
Nombre:	Almacen Uno							
139099	DW-AS-703-M12 SENSOR STEEL FACE M12 6mm SENSADO	PEPS	6.00	8.00	7.00	$1,646.05		$11,522.35
DWAS623M8	SENSOR M8, CONECTOR M12, RASANTE, PNP N.A, SENSADO 2MM IO-Li	PEPS	2.00	17.00	27.00	$899.27		$24,280.29
FAS5001	PERFIL LIGERO 45X45 TRAMO 6 MTS	PEPS	46.00	9.00	37.00	$1,619.35		$59,915.95
FAS5355	CONECTOR ARTICULADO C. REDONDA CANAL 10MM P/PERFIL 40/45/60/	PEPS	149.00	100.00	49.00	$203.20		$9,956.80
FES8063974	TRANSMISOR DE POSICIONES SDAS-MHS-M40-1L-PNLK-PN-E-0.3- M8	PEPS	18.00	6.00	12.00	$1,250.02		$15,000.24
WEI9019010000	PUNTA TERMINAL BLANCO 20AWG	PEPS	3,101.00	20.00	3,081.00	$16.55		$50,990.55
WEI9019040000	PUNTA TERMINAL 18AWG GRIS	PEPS	700.00	4.00	696.00	$16.55		$11,518.80
WEI9019160000	PUNTAS TERMINALES (500PZ) H2.5/14D AZUL 14 AWG	PEPS	1,014.00	5.00	1,009.00	$25.20		$25,426.80
WEI901922	punta terminal 6/10 amarilla	PEPS	377.00	5.00	372.00	$57.00		$21,204.00
			26,019.54				#¡VALOR!	$523,471.05

Figura 9: Diferencia Absolutas, formato del sistema ContPAQ. Impreso con permiso de la Empresa

La comparación que se realizó del inventario anual 2020 con el inventario anual 2021, es parte del informe que demuestran los resultados e incrementos de la variación monetaria y existencias, que se detectó de los diferentes productos.

Una vez haciendo el balance se realizaron las mejoras pertinentes en el sistema ContPAQ:

- Costear cada uno de los números de parte del catálogo de productos: se identifica el producto contra factura se da entrada para actualizar o ingresar costo actual.
- Eliminar números de parte duplicados o rezagados: en ocasiones se ingresaron números de parte ya existentes debido a un error del departamento de compras al ingresar una orden de compra por lo que deben ser eliminados para evitar el sobrecargo de números de parte en el sistema, así como números de parte sin movimientos o existencias.
- Anexar clave SAT a cada uno de los productos en el catálogo con el fin de ingresar las compras en el sistema y que estén listas para timbrar en caso de facturar; es necesario que cada uno de los números de parte cuente con su clave SAT ya que el 60% no lo tenía registrado en el sistema.
- Dar de alta productos no ingresados en sistema, pero con existencia actual en stock: cuando se realizó el conteo físico 2021 se contabilizaron componentes no existentes en el sistema, alguna vez ingresaron al stock de la empresa, pero no se les dio un registro de entrada por lo que es importante sean registrados ya sea con costo cero o catalogado como obsoleto.
- Se modificaron algunas funciones del software del sistema comercial ContPAQ; esto se realizó e implemento para que fuera más sencillo registrar alguna compra/entrada a almacén, así como los números de almacén (proyectos) para que sean consecutivos y más precisos, para el área de compras; se facilitaron algunos procesos para ejecutar la compra de un producto para el almacén como: órdenes de compra, así mismo se complementó la opción de contabilizar con la finalidad de tener un control monetario para cada cierre de mes. Se ingresó el inventario actual existente con las modificaciones correspondientes como se explica en el procedimiento, entre las actividades ya mencionadas anteriormente.

Resultados y discusión

Una vez implementados los controles se realizó nuevamente el procedimiento de recolección y análisis del proceso para verificar el grado de beneficios obtenidos y presentarlos ante la gerencia.
El resultado fue satisfactorio por que se retroalimento el proceso de gestión; para tener un lineamiento de entradas y salidas de materiales, cumpliendo la función necesaria para el registro correcto en el software correspondiente y que cumpla con el requisito indispensable para que sean contabilizados cada uno de los movimientos que se realicen durante la jornada laboral.
En la etapa de devoluciones se reflejó el resultado en un mejor control; anteriormente devolvían al término de un proyecto registrando cada uno de los componentes en un formato de una hoja física, lo cual no fue tan efectivo porque algunos componentes no correspondían al número de proyecto asignado en la hoja, además no se registraba el número de parte correcto y esto dificultaba realizar el movimiento de devolución en el sistema comercial.
Se logró el objetivo de contabilizar cada uno de los materiales para llegar a la meta de tener un inventario contable, así como su registro y número de parte correcto.
También se cumplió el objetivo de tomar una decisión en base a valores monetarios de disminuir las compras para cada proyecto y adaptar nuestro stock a lo que el cliente pide con un mismo fin; ganar-ganar.

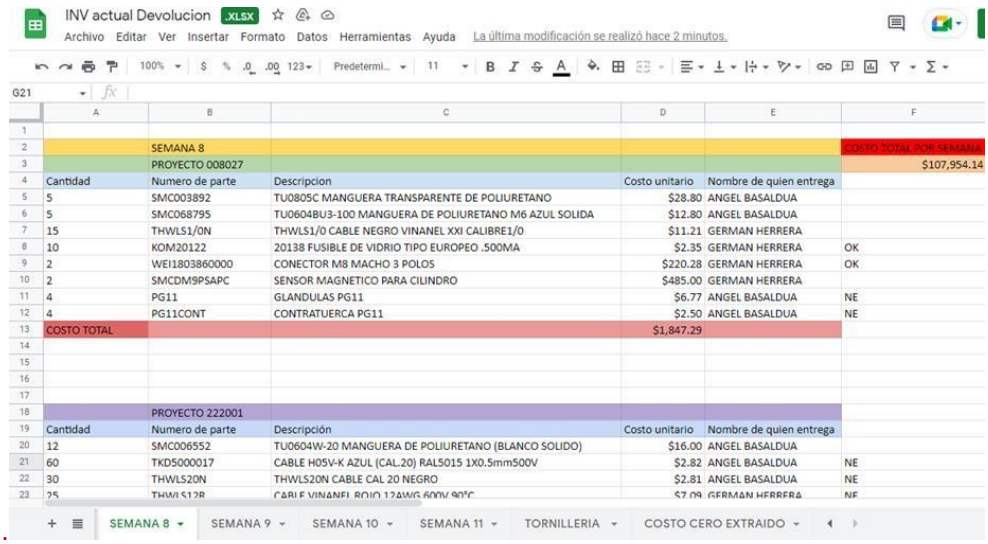


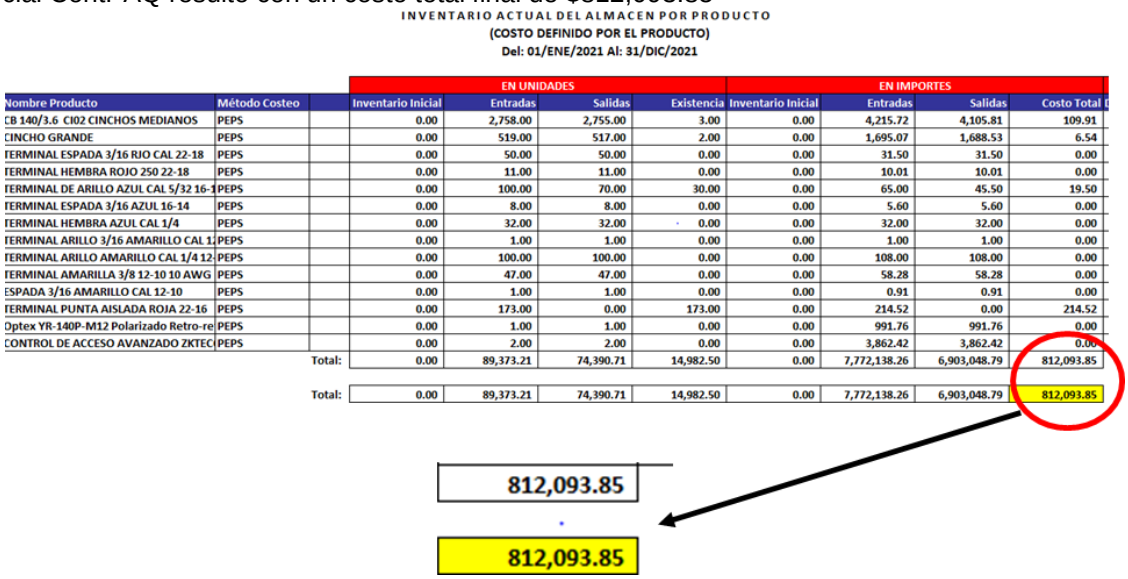
Figura 10: Inventario Actualizado de devoluciones Fuente impreso con permiso de la Empresa

Al implementar e innovar nuestros formatos de gestión del stock cada uno de los procesos se volvieron más eficaces y sencillos de llevarlos a la práctica. Con el vale de material, se logró la optimización del tiempo; esto se debe a que en ocasiones no era posible llevar los registros de entradas y salidas al día, ya que el entregar el material requerido conlleva tiempo muerto. También permite llevar un anexo de lo que salió de almacén y el destino al que va a entrar el material, día y nombre de quien recibe para posibles dudas o aclaraciones.
Respecto al formato de salidas de material cumple su objetivo dado que manualmente se anota lo que sale al día de stock, contabilizándolo por mes para el cierre del mismo.
Por último, se implementó el formato de registro de devoluciones en Excel cumpliendo su función de contabilizar monetariamente lo que se devuelve por semana y por número de proyecto, y su anexo para consulta. Una vez aplicando el registro de los formatos se realizaron los movimientos en el sistema ContPAQ comercial, proporcionando un reporte final que nos ayuda a consultar nuestras existencias reales.
Con las actividades mencionadas anteriormente, del inventario físico 2021 se pudo deducir el valor monetario real de cada uno de los componentes existentes físicamente, el cual se llevó a cabo porque nunca antes se había tenido un inventario real. Con esto se pretendía llegar a una cantidad estimada, dado el desenlace del conteo se llegó a la conclusión de que existía un sobre inventario con un costo total de $3, 026,834.70.

B	C	E	H	S	T
WEI9540000000	Serie Z, Ángulo de fijació	1	1	$7.00	$0.00
WEI9915480001	TOMACORRIENTE 1 SAL	8	8	$448.27	$3,586.16
WEICI01	CB 98/2.5 SW CI01 CINC	0	1	$12.86	$0.00
WEICI02	CB 140/3.6 CI02 CINCHO	10	3	$30.00	$14.45
WEICI03	CINCHO GRANDE	0	2	$118.60	$0.00
WEITCA123	TERMINAL ESPADA 3/16	4	0	$0.63	$2.52
WEITCA141	TERMINAL HEMBRA RO	11	0	$0.91	$10.01
WEITCA212	TERMINAL DE ARILLO A	30	30	$0.65	$19.50
WEITCA223	TERMINAL ESPADA 3/16	0	0	$0.70	$0.00
WEITCA242	TERMINAL HEMBRA AZ	11	0	$1.00	$11.00
WEITCA312	TERMINAL ARILLO 3/16	1	0	$1.00	$1.00
WEITCA314	TERMINAL ARILLO AMA	80	0	$1.08	$86.40
WEITCA316	TERMINAL AMARILLA 3/	9	0	$1.24	$11.16
WEITCA322	ESPADA 3/16 AMARILLO	1	0	$0.91	$0.91
WEITPUNTA1	TERMINAL PUNTA AISLA	173	173	$1.24	$214.52
YR140PM12	Optex YR-140P-M12 Pol	0	0	$939.81	$0.00
ZKTECOCC072ZKT04	CONTROL DE ACCESO AV	0	0	$1,931.21	$0.00
		26,019.54			$3,026,834.70
	AJUSTE APLINTEC				Costo total final

Figura |1: Informe Final de Inventario 2021 Fuente impreso con permiso de la Empresa

Al obtener el informe final del inventario y a órdenes del departamento de contabilidad y gerencia, se realizó un almacén nombrado “integración” con el numero A01009, para solucionar el problema del sobre inventario. Esta opción conocida como integración nos ayuda a almacenar los materiales con mayor costo o con mayor existencia únicamente para darle una salida en algún punto de requerimiento o necesidad.
A consecuencia de esta decisión, el inventario final cargado en nuestra nueva base de datos 2022 en sistema comercial ContPAQ resulto con un costo total final de $812,093.85


INVENTARIO ACTUAL DEL ALMACEN POR PRODUCTO
(COSTO DEFINIDO POR EL PRODUCTO)
Del: 01/ENE/2021 Al: 31/DIC/2021

			EN UNIDADES				EN IMPORTES			
Nombre Producto	Método Costeo		Inventario Inicial	Entradas	Salidas	Existencia	Inventario Inicial	Entradas	Salidas	Costo Total
CB 140/3.6 CI02 CINCHOS MEDIANOS	PEPS		0.00	2,758.00	2,755.00	3.00	0.00	4,215.72	4,105.81	109.91
CINCHO GRANDE	PEPS		0.00	519.00	517.00	2.00	0.00	1,695.07	1,688.53	6.54
TERMINAL ESPADA 3/16 RJO CAL 22-18	PEPS		0.00	50.00	50.00	0.00	0.00	31.50	31.50	0.00
TERMINAL HEMBRA ROJO 250 22-18	PEPS		0.00	11.00	11.00	0.00	0.00	10.01	10.01	0.00
TERMINAL DE ARILLO AZUL CAL 5/32 16-1	PEPS		0.00	100.00	70.00	30.00	0.00	65.00	45.50	19.50
TERMINAL ESPADA 3/16 AZUL 16-14	PEPS		0.00	8.00	8.00	0.00	0.00	5.60	5.60	0.00
TERMINAL HEMBRA AZUL CAL 1/4	PEPS		0.00	32.00	32.00	0.00	0.00	32.00	32.00	0.00
TERMINAL ARILLO 3/16 AMARILLO CAL 1	PEPS		0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
TERMINAL ARILLO AMARILLO CAL 1/4 12	PEPS		0.00	100.00	100.00	0.00	0.00	108.00	108.00	0.00
TERMINAL AMARILLA 3/8 12-10 10 AWG	PEPS		0.00	47.00	47.00	0.00	0.00	58.28	58.28	0.00
ESPADA 3/16 AMARILLO CAL 12-10	PEPS		0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.91	0.91	0.00
TERMINAL PUNTA AISLADA ROJA 22-16	PEPS		0.00	173.00	0.00	173.00	0.00	214.52	0.00	214.52
Optex YR-140P-M12 Polarizado Retro-re	PEPS		0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	991.76	991.76	0.00
CONTROL DE ACCESO AVANZADO ZKTEC	PEPS		0.00	2.00	2.00	0.00	0.00	3,862.42	3,862.42	0.00
		Total:	0.00	89,373.21	74,390.71	14,982.50	0.00	7,772,138.26	6,903,048.79	812,093.85
		Total:	0.00	89,373.21	74,390.71	14,982.50	0.00	7,772,138.26	6,903,048.79	812,093.85

812,093.85

812,093.85

Figura 12 Inventario final del almacén por producto Fuente sistema ContPAQ impreso con permiso de la empresa

 ISSN: 2007 8102

El informe anterior se implementó en el software para inventario inicial con las modificaciones correspondientes. De mismo modo, se efectuó una depuración del catálogo de productos, ya que había algunos números de parte que estaban duplicados, esto nos causó mucho problema en el sistema por que el proceso se ejecutaba con lentitud. También se depuraron todos aquellos componentes de años anteriores, que por cuestión de nuevas versiones estos quedaron obsoletos. Al principio contábamos con un total de **6696** diferentes números de parte y al realizar dicha operación se redujo a un total de **5961** números de parte.
Se agregaron dos opciones más, para tener un mejor control; La primera de ellas es el ajuste para inventario físico-entrada, en este encontramos todos los productos que se encuentran en el almacén, el siguiente es la entrada por devolución interna, este nos permite observar todos los números de parte de los componentes que se regresaron de cualquier proyecto, ya sea porque no se utilizaron o por algún cambio de ingeniería



Figura 13: Sistema comercial ContPAQ, Fuente Empresa: impreso con permiso de la Empresa

Conclusiones

Tras el análisis, se puede conocer que el almacén es una parte fundamental de cualquier entidad para su efectivo funcionamiento por lo que es muy importante tener un control de inventarios y una estrategia de inspección para entradas y salidas de los materiales que ingresan para la integración a los proyectos activos.

Al obtener los resultados la idea y estrategia de implementar un inventario contable deducimos que el objetivo principal se cumplió, teniendo en cuenta que la empresa, no contaba con un inventario, ni un buen control, a causa de esto no se sabía con certeza cuál era el valor del almacén, así como el valor monetario de cada uno de los movimientos que no se realizaron correctamente. Actualmente es posible tener un Kardex actualizado y con valores, existencias y movimientos reales a través del software Sistema ContPAQ Comercial, también un inventario real que este a disponibilidad del personal que lo requiera principalmente para el departamento de almacén y contabilidad.

ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] H. Guerrero Salas, Inventarios Manejo y control, Bogotá: Ecoe ediciones, 2009.

[2] J. Caurin, «EMPRENDE PYME.NET,» EMPRENDE PYME.NET, 25 fEBRERO 2023. [En línea]. Available: https://emprendepyme.net/control-de-inventarios.html. [Último acceso: 30 03 2023].

[3] J. Rubio Ferrrer y S. Villarroel Valdemoro, Gestión de pedidos y stock, España: AULA MENTOR, 2012.

[4] M. A. Ladrón de Guevara, Gestión de Invetarios, La Rioja: TUTOR FORMACION, 2020.

[5] D. Múzquiz Beltrán, «Repositorio Digital del IPN,» 4 Febrero 2014. [En línea]. Available: http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/17612. [Último acceso: 10 Abril 2023].

[6] J. G. Pérez Porto, «Definición .DE,» Definición . DE, 16 Mayo 2023. [En línea]. Available: https://definición.de/obsoleto. [Último acceso: 7 Julio 2023].

ISSN: 2007 8102

Modelo de data mining para la generación de clústers en comorbilidades durante el periodo 2022

I. D. Sanchez Morales[1], E. Roldan Reyes [2], G. A. Arrioja Carrera[3], F. Aguirre Y Hernández[4], N. Ortega Petterson[5]

[1]Departamento de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de Mexico/I.T. Orizaba, Oriente 14, Centro, 94300 Orizaba, Ver.

davidsx1994@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Este estudio se centra en la identificación de clústers de comorbilidades en la población de Orizaba, Veracruz, durante el año 2022. El enfoque principal es el desarrollo de un modelo de minería de datos utilizando registros de pruebas de COVID-19. Se analiza la relación entre la edad y las comorbilidades, destacando la afectación en el grupo de personas de 50 a 69 años, con hipertensión, obesidad y diabetes como las enfermedades más comunes. El estudio concluye con la identificación de rango de edad en clústers así como la correlación de análisis en enfermedades como obesidad y diabetes. Estos hallazgos pueden ser fundamentales para diseñar estrategias de prevención en los sectores público y privado.

Palabras clave: *Mineria de datos, Comorbilidades, Covid-19, Riesgos*

Abstract

This study focuses on the identification of comorbidity clusters in the population of Orizaba, Veracruz, during the year 2022. The main focus is the development of a data mining model using COVID-19 test records. The relationship between age and comorbidities is analyzed, highlighting the affectation in the group of people aged 50 to 69 years, with hypertension, obesity and diabetes as the most common diseases. The study concludes that approximately 35% of the working population is at risk of developing complications related to these comorbidities. These findings may be fundamental for designing prevention strategies in the public and private sectors.

Key words: *Data mining, Comorbidities, Covid-19, Risks*

ISSN: 2007 8102

Introducción

La pandemia del COVID-19 ha dejado una huella indeleble en la historia reciente de la humanidad, impactando de manera global y transformando múltiples aspectos de la vida cotidiana [1]. Uno de los aspectos más destacados y estudiados en el contexto de esta pandemia ha sido en la salud de la población. Esta Investigación explora los antecedentes del COVID-19 en la población de Orizaba, Ver y generación de clústers en comorbilidades durante el periodo 2022.

El surgimiento del COVID-19 a fines de 2019 en Wuhan, China, marcó el inicio de una pandemia sin precedentes que se propagó rápidamente a nivel global en cuestión de meses. La altamente contagiosa naturaleza del virus, transmitido principalmente a través de gotículas respiratorias, desafió a las naciones del mundo en sus esfuerzos por contener su expansión [1].

En este contexto, este estudio se centra en la generación de clústers en comorbilidades durante el año 2022, utilizando técnicas avanzadas de data mining. El objetivo es comprender las interacciones entre las comorbilidades y su impacto en la salud de la población, lo que permitirá tomar decisiones más informadas y desarrollar estrategias eficaces para abordar los desafíos que plantea la pandemia del COVID-19. A través de esta investigación, se busca aportar una visión más clara sobre la relación de comorbilidades y la salud.

Metodología

Materiales

El modelo de minería es un proceso que puede describirse en las siguientes etapas: adquisición de datos, preprocesamiento, procesamiento, validación y resultados;[2] Para ello la implementación de herramientas y recursos para llevar a cabo un análisis efectivo

1. Adquisición de datos: Para este estudio, se utilizó un conjunto de datos compuesto por 665 cuestionarios recopilados en un laboratorio. Estos cuestionarios proporcionaron la base de datos necesaria para el análisis. La información también se complementó con datos adicionales de diferentes fuentes, incluyendo bases de datos existentes, archivos de texto y hojas de cálculo.
2. Preprocesamiento de Datos: Antes de que los datos pudieran ser analizados, se realizó un proceso exhaustivo de preprocesamiento. Esto incluyó la identificación y eliminación de datos faltantes, la corrección de errores en la entrada, la normalización de datos, la eliminación de variables irrelevantes y la codificación de datos categóricos. Este paso es esencial para garantizar la calidad y la coherencia de los datos de entrada.
3. Procesamiento: Se empleó la herramienta de procesamiento de datos RapidMiner, la cual es una plataforma de código abierto diseñada para la minería de datos y el análisis de datos avanzado. RapidMiner proporcionó las capacidades necesarias para realizar el procesamiento de datos, la construcción del modelo de minería de datos y la generación de resultados.

 ISSN: 2007 8102

4. Validación: Para asegurar la calidad y la confiabilidad de los resultados, se llevó a cabo una validación del modelo. Esto implicó la división del conjunto de datos en conjuntos de entrenamiento y prueba, la evaluación de métricas de desempeño del modelo y la realización de pruebas de robustez. La validación garantizó que el modelo de minería de datos fuera capaz de generalizar efectivamente a nuevos datos y proporcionó una medida objetiva de su eficacia.
5. Resultados: Después de procesar los datos y generar resultados, se llevó a cabo la etapa de interpretación de resultados. Esto implicó la identificación de patrones, la clasificación de datos relevantes y la visualización de resultados a través de diversas técnicas. Se utilizaron técnicas de visualización de datos y análisis de patrones para obtener conocimientos significativos a partir de los datos analizados.

En resumen, el método empleado realizó una selección cuidadosa de datos, un riguroso preprocesamiento de datos, el uso de la plataforma RapidMiner para el procesamiento de datos, validación y la interpretación de resultados utilizando diversas técnicas de análisis. Estos materiales y recursos fueron esenciales para llevar a cabo un análisis efectivo de la minería de datos en el contexto de esta investigación véase Figura 1.



Figura 1. Mineria de datos modelo KDD: Knowledge Discovery in Databases [2]

Preparación

La preparación de datos desempeña un papel fundamental en el contexto de esta investigación, el estudio sobre COVID-19 y comorbilidades se vuelve aún más crítica. Para lograr una minería de datos efectiva y obtener resultados confiables, es esencial que los datos se recojan, procesen y validen de manera adecuada y rigurosa.

La exploración de pasos clave que deben seguirse para garantizar la calidad y coherencia de datos utilizados en el análisis parte de la definición de objetivos claros hasta la validación continua de los datos, cada paso es esencial para construir una base sólida sobre la cual construir nuestros modelos y extraer información valiosa sobre la relación entre COVID-19 y las comorbilidades.

En última instancia, la calidad de nuestros resultados depende en gran medida de la calidad de nuestros datos y de cómo los preparamos. A continuación se muestra el proceso de preparación de datos para el modelo de minería de datos.

Adquisición de datos

 ISSN: 2007 8102

A través de una vinculación en un laboratorio de la zona centro de Orizaba, Ver; se obtuvo la adquisición de datos del año 2022 y se almaceno la base de datos en la nube con un total de 665 registros como se puede observar en la Figura 2.

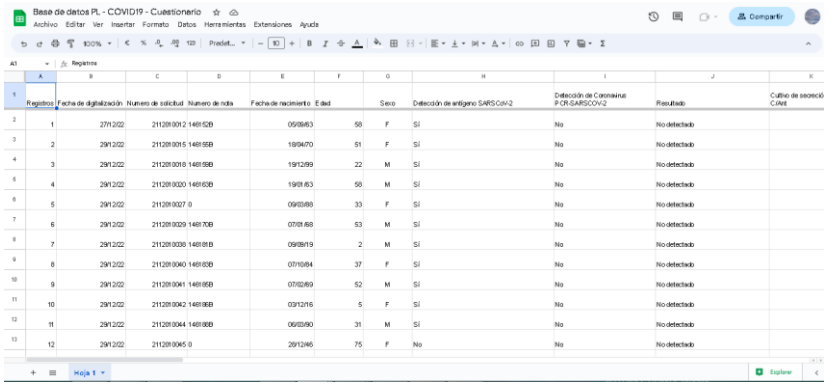


Figura 2 Adquisición de base de datos utilizando Excel

Preproceso/Proceso

En esta etapa de preprocesamiento de datos se explorarán las correlaciones entre las comorbilidades utilizando el algoritmo de árbol de decisión en RapidMiner. Este paso es fundamental para comprender cómo se relacionan entre sí, y su influencia en la generación de clústers durante el periodo 2022, como se observa en la Figura 3.

Los Árboles de decisión: son estructuras de árbol que representan un conjunto de decisiones y sus posibles consecuencias. Cada nodo del árbol representa una decisión y cada rama representa una consecuencia.[2]

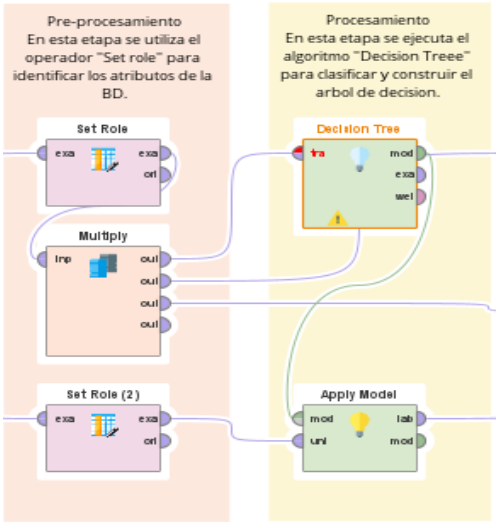


Figura 3. Preparación de datos en Software RappidMiner Elaboración propia

 ISSN: 2007 8102

Validación

Limpieza de Datos: Durante la etapa de preparación de datos, se realiza una limpieza exhaustiva para abordar valores atípicos, datos faltantes y errores en los datos. Una limpieza adecuada garantiza que los datos utilizados en la validación sean consistentes y precisos, lo que mejora la confiabilidad de las métricas de validación, como la precisión, la sensibilidad y la especificidad [3].

Selección de Atributos: Es necesario seleccionar atributos para reducir la dimensión de los datos, para agilizar el proceso de validación, también puede mejorar la capacidad del modelo para generalizar y prevenir el sobreajuste.

Transformación de Datos: La aplicación de transformaciones matemáticas o de escala a los datos puede influir en la variabilidad de las variables y en la interpretación del modelo. Estos pasos de preparación deben realizarse cuidadosamente, teniendo en cuenta su impacto en la validación

Resultados

Calidad de Datos: Una adecuada preparación de datos influye directamente en la calidad de los resultados. Datos limpios y bien estructurados contribuyen a la precisión y la confiabilidad de las conclusiones derivadas del modelo[5].

Selección de Variables Relevantes: La elección de las variables adecuadas en la etapa de preparación puede determinar qué aspectos de las comorbilidades se incluyen en el análisis. Esto influye en la capacidad del modelo para identificar patrones significativos y generar clústers relevantes.

Reducción de Ruido: La limpieza de datos y la eliminación de valores atípicos reducen el ruido en los datos, lo que puede llevar a una identificación más precisa de patrones y relaciones entre las variables relacionadas con comorbilidades[5].

Transformaciones: Las transformaciones de datos pueden revelar relaciones no evidentes inicialmente. Por ejemplo, la normalización de datos puede ayudar a identificar patrones que no serían evidentes en datos en escalas diferentes.

Desarrollo

Para el desarrollo del modelo de minería de datos en RapidMiner, el cual consta de varias etapas, desde la adquisición de datos hasta la generación de reglas a partir de un árbol de decisión, incluye entrenamiento del algoritmo y prueba de clasificación de instancias no clasificadas. A continuación, detallaremos cada una de las etapas y los operadores utilizados en el desarrollo del modelo véase Figura 4.

Etapa 1: Adquisición de Datos

Para la adquisición de datos, se utiliza el operador "Read Excel" de RapidMiner. Este operador permite importar datos desde archivos Excel u otras fuentes similares. En este caso, se carga la base de datos que contiene los datos etiquetados necesarios para entrenar el algoritmo.

ISSN: 2007 8102

Etapa 2: Preprocesamiento de Datos

En la etapa de preprocesamiento de datos, se aplican dos operadores importantes: "Set Role" y "Multiply".

- Operador "Set Role": Este operador se utiliza para definir los roles de las variables en el conjunto de datos. Por ejemplo, se puede especificar qué variables son las entradas (atributos) y cuáles son las etiquetas de clase. Esto es esencial para que el algoritmo comprenda cómo se deben utilizar los datos.
- Operador "Multiply": El operador "Multiply" se emplea para realizar operaciones matemáticas en los datos. Esto puede ser útil para transformar características o ajustar los valores de las variables según sea necesario para el entrenamiento del algoritmo.

Etapa 3: Procesamiento de Datos

En la tercera etapa, se realiza el procesamiento de datos utilizando el algoritmo de árbol de decisión "Decision Tree" y el operador "Apply Model" ´para su construcción se utiliza a partir de los datos de entrenamiento. Un árbol de decisión es un modelo que puede utilizarse para clasificar datos basados en reglas de decisión. El árbol se genera a partir de los datos de entrenamiento y se utiliza posteriormente para clasificar nuevas instancias.

Después de construir el árbol de decisión, el operador "Apply Model" se utiliza para aplicar el modelo entrenado a los datos de prueba o instancias no clasificadas.

Etapa 4: Validación

Para evaluar el rendimiento del modelo, se utiliza el operador "Cross Validation". Este operador realiza validación cruzada, lo que significa que divide el conjunto de datos en subconjuntos de entrenamiento y prueba para evaluar la precisión del modelo.

Etapa 5: Generación de Reglas

Finalmente, en la última etapa, se utilizan los operadores "Write Excel" y "Tree to Rules".

- El primer operador se utiliza para exportar los resultados de la clasificación, incluyendo las etiquetas asignadas a las instancias sin clasificar, a un archivo Excel para su posterior análisis y uso.
- El segundo Operador Tree to Rules permite convertir el árbol de decisión en reglas de decisión comprensibles.

 ISSN: 2007 8102

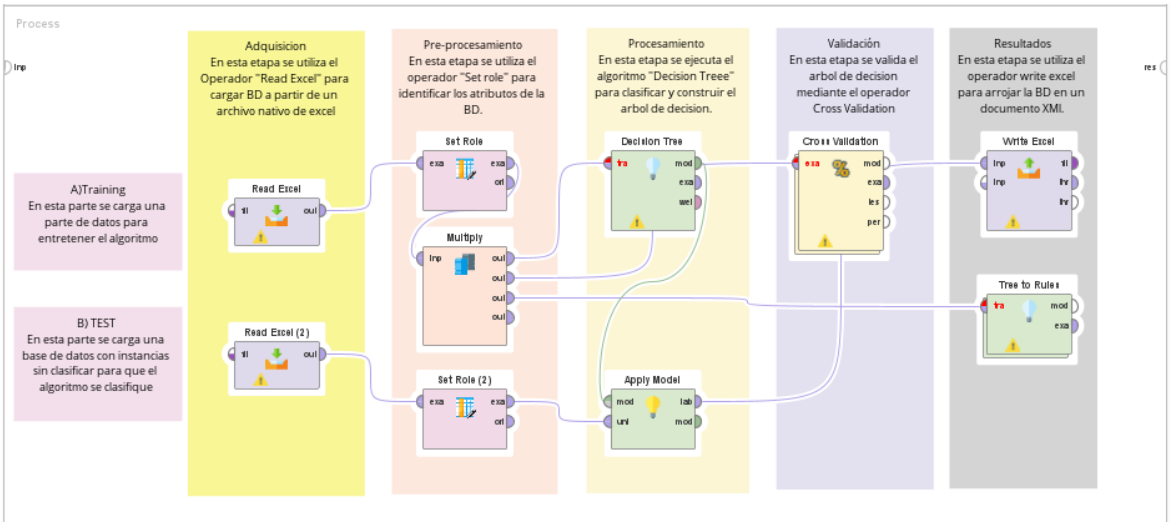


Figura 4 Modelo de minería de datos. Elaboración propia

En resumen, el desarrollo del modelo de minería de datos en RapidMiner implica la preparación de datos, la construcción de un árbol de decisión, la clasificación de instancias no clasificadas y la generación de reglas para comprender cómo se toman las decisiones de clasificación. Cada etapa utiliza operadores específicos para llevar a cabo su función y garantizar la precisión y la interpretabilidad del modelo.

Resultados y Discusiones

El proceso de data mining se llevó a cabo a partir de la recolección de una base de datos de un laboratorio de análisis clínicos privado en el municipio de Orizaba, Veracruz. Los datos se presentan a continuación como un caso de estudio que posteriormente se utilizará para evaluar tanto el riesgo de la población más afectada como su vinculación con los índices de competitividad.

En el estado de Veracruz, se han identificado las principales causas de mortalidad como: Enfermedades de corazón, Diabetes mellitus, Covid-19, Tumores malignos como se puede observar en la Figura 7 [3].

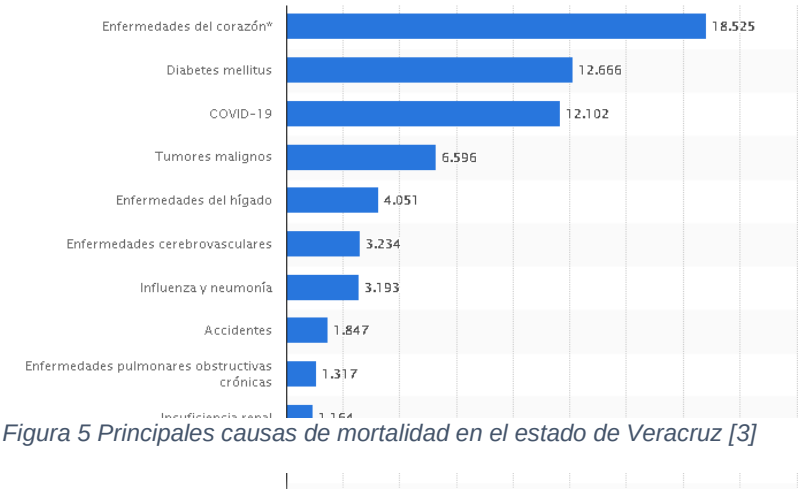


Figura 5 Principales causas de mortalidad en el estado de Veracruz [3]

ISSN: 2007 8102

Los resultados incluyen la división de la población en clústers según sus características demográficas y sus afecciones más comunes, estableciendo que existen dos grupos con mayor afectación: 50 a 69 años, teniendo comorbilidades más comunes: .

Para abordar la problemática de la vulnerabilidad en la población, se ha llevado a cabo un proceso de identificación de los grupos más afectados. Estos datos se compararon con una muestra de la población de la zona conurbada de Orizaba, confirmando las mismas comorbilidades por grupos específicos de edad como se puede observar en la Figura 9 [5].

Etiquetas de fila	Suma de Insuficiencia Renal Crónica	Suma de Tabaquismo	Suma de Obesidad	Suma de Diabetes	Suma de Enfermedad Cardiovascular	Suma de EPOC	Suma de Asma	Suma de VIH/SIDA	Suma de Inmunosupresión	Suma de Hipertensión
0 a 04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05 a 09	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
10 a 14	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0
15 a 19	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
20 a 24	0	0	4	0	1	0	3	0	0	0
25 a 29	0	2	6	1	1	0	5	1	0	1
30 a 34	0	5	4	0	0	1	2	0	1	0
35 a 39	0	0	8	2	1	0	1	0	2	1
40 a 44	0	3	9	0	0	0	0	0	0	8
45 a 49	1	0	3	1	0	0	0	0	0	2
50 a 54	0	0	1	3	1	0	1	0	0	11
55 a 59	0	1	7	4	0	0	0	0	0	15
60 a 64	0	1	0	8	1	0	1	1	1	12
65 a 69	3	1	6	8	1	0	0	0	0	11
70 a 74	0	0	0	3	0	0	1	0	0	6
75 a 79	0	0	0	3	2	0	0	0	0	4
80 a 84	1	0	2	1	1	0	0	0	0	6
85 y más	1	1	1	2	2	3	1	1	1	3
Total general	6	14	53	36	12	5	17	3	5	80

Figura 6. Tabla de frecuencia de comorbilidades en la base de datos de la zona conurbada del valle de Orizaba en 2022. Fuente de elaboración propia

Es importante destacar que, gracias a esta identificación, se pueden implementar estrategias de prevención y atención específicas para proteger a este grupo de población. Además, se pueden desarrollar políticas públicas y programas de salud orientados a la prevención y al tratamiento de las comorbilidades más comunes, lo que contribuiría a mejorar la calidad de vida de estas personas [7].

En el proceso de validación e interpretación se identificó las correlaciones entre comorbilidades más frecuentes y edad con mayor riesgo, para ello se consideró el enfoque en obesidad y diabetes véase figura 5 y 6.

Attribu...	Diabet...	Edad	Enferm...	Hiperte...	Insufici...	Obe...	Sexo =...
Obesid...	0.123	-0.070	0.065	0.187	-0.022	1	0.003
Hiperte...	0.364	-0.413	0.080	1	0.130	0.187	0.084
Diabete...	1	-0.307	0.091	0.364	0.094	0.123	-0.018
Enferm...	0.091	-0.140	1	0.080	-0.011	0.065	0.001
Sexo = M	-0.018	-0.171	0.001	0.084	0.094	0.003	1
Insuficie...	0.094	-0.125	-0.011	0.130	1	-0.022	0.094
Edad	-0.307	1	-0.140	-0.413	-0.125	-0.070	-0.171

Figura 7 Análisis del enfoque en obesidad

Attribu...	Dia...	Edad	Enferm...	Hiperte...	Insufici...	Obesid...	Sexo =...
Diabete...	1	-0.307	0.091	0.364	0.094	0.123	-0.018
Hiperte...	0.364	-0.413	0.080	1	0.130	0.187	0.084
Obesid...	0.123	-0.070	0.065	0.187	-0.022	1	0.003
Insuficie...	0.094	-0.125	-0.011	0.130	1	-0.022	0.094
Enferm...	0.091	-0.140	1	0.080	-0.011	0.065	0.001
Sexo = M	-0.018	-0.171	0.001	0.084	0.094	0.003	1
Edad	-0.307	1	-0.140	-0.413	-0.125	-0.070	-0.171

Figura 8 Análisis del enfoque en diabetes

Trabajo a futuro

Identificados los clústers relacionados con las comorbilidades, se pueden emprender diversas líneas de trabajo a futuro con el objetivo de llevar estos resultados a índices de impacto en la competitividad empresarial, como la creación de índices específicos que reflejen el impacto de las comorbilidades en la competitividad empresarial.

Estos índices podrían combinar datos de salud, como la prevalencia de comorbilidades en diferentes regiones, con datos económicos, como el desempeño de las empresas en esas áreas, esto proporcionaría una medida cuantitativa del impacto de las comorbilidades en la competitividad.

Una vez que se han identificado los clústers de comorbilidades, se pueden llevar a cabo investigaciones adicionales para evaluar qué estrategias de mitigación podrían ser más efectivas. Esto podría incluir programas de salud dirigidos a poblaciones específicas o iniciativas empresariales que aborden los desafíos planteados por las comorbilidades.

Tomar en cuenta las comorbilidades y cómo impactan la competitividad empresarial con el tiempo permitirá realizar ajustes en las estrategias y políticas en función de las tendencias observada, con la colaboración entre expertos en salud pública, economía y empresas podría enriquecer el trabajo futuro

Conclusiones

La identificación de grupos de población en riesgo y sus comorbilidades más frecuentes es esencial para el enfoque de este modelo de minería de datos. Esto permite trazar una ruta específica para la atención y el abordaje de estos grupos de manera efectiva. Gracias a las técnicas de minería de datos, se logró destacar los rangos de edad que padecían afecciones específicas, lo que resulta fundamental para la generación de clústers en el periodo 2022.

El conocimiento generado a través de este enfoque puede ser de gran utilidad para la atención de la salud pública y la toma de decisiones informadas en el ámbito médico. No obstante, es crucial tener en cuenta que la información obtenida mediante la minería de datos debe ser utilizada de manera ética y responsable. Existe la posibilidad de que esta información pueda ser utilizada de manera discriminatoria, lo que podría afectar los derechos de las personas.

En este sentido, es fundamental contar con regulaciones claras que protejan la privacidad y los derechos de las personas. La implementación de políticas efectivas de gestión de riesgos en salud no solo contribuye a mejorar la atención médica, sino que también promueve un enfoque más equitativo y justo en el ámbito de la salud pública.

- Desarrollo de Índices de Comorbilidad Empresarial: Se puede explorar la creación de índices específicos que reflejen el impacto de las comorbilidades en la competitividad empresarial. Estos índices pueden combinar datos de salud con datos económicos para proporcionar una medida cuantitativa del impacto en la competitividad.

- Evaluación de Estrategias de Mitigación: Se pueden llevar a cabo investigaciones adicionales para evaluar qué estrategias de mitigación podrían ser más efectivas para abordar las comorbilidades en el ámbito empresarial y reducir los riesgos y costos asociados.
- Colaboración Interdisciplinaria: La colaboración entre expertos en salud pública, economía y empresas es esencial para desarrollar enfoques sólidos y holísticos que aborden los desafíos planteados por las comorbilidades.
- Promoción de Prácticas Éticas: Es fundamental promover el uso ético de la información obtenida a través de la minería de datos y establecer regulaciones que protejan los derechos de las personas.

En última instancia, el trabajo a futuro busca equilibrar la atención de la salud pública y la competitividad empresarial, garantizando que las estrategias implementadas mejoren la calidad de vida de la población sin discriminar ni exacerbar las fallas del mercado.

Agradecimientos

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México así mismo al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías que ha permitido el logro de esta investigación, en especial a los Dr. Eduardo Roldan Reyes y Guillermo Alfredo Arrioja Carrera por su paciencia y dedicación a este proyecto de investigación.

Referencias

[1] Organización Mundial de la Salud, “Vías de transmisión del virus de la COVID-19: repercusiones para las recomendaciones relativas a las precauciones en materia de prevención y control de las infecciones” 2020. [En línea]. Available: https://www.who.int/es/news-room/commentaries/detail/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations. [Último acceso: 02 05 2023].

[2] Foreman, J. W. “Using data science to transform information into insight.”, Data Smart, Vol 1, pp. 9-12, 2014.

[3] CESAR, P. L. , DANIEL S. G. “Minería de datos. Técnicas y herramientas”, Paraninfo, Vol.1, pp. 32, 2007.

[4] Statista, “Número de fallecimientos registrados en el estado mexicano de Veracruz de Ignacio de la Llave”, [En línea]. Available: https://es.statista.com/estadisticas/650235/principales-causas-de-mortalidad-en-el-estado-de-veracruz-de-ignacio-de-la-llave, [Ultimo acceso: 03 05 2023].

[5] Herbert J., “Modelo predictivo, mineria de datos, analisis de datos, analisis de regresion, consulta de datos”, Vol 1, pp. 12, 2019

[6] Ayuntamiento de Orizaba, “Cuadernillos municipales”, [En línea]. Available: http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2021/06/ORIZABA_2021, [Ultimo acceso: 13 06 2023].

[7] León G., Pavón G., Odón A., Téllez S., Carlos, S., Yáñez C,. “Estrategias de control y mitigación de contagio por COVID-19 en un hospital psiquiátrico en México.”, [En línea]. Available: https://doi.org/10.24875/gmm.20000824,2021, [Ultimo acceso: 06 de 07 2021].

 ISSN: 2007 8102

Administración de la merma dentro de la cadena de suministro

P. Tamayo Contreras.[1], A. M. Longoria Magallanes [2]

[1] Departamento de Gestión y Dirección de Empresas de la División de Ciencias Económico-Administrativas de la Universidad de Guanajuato. Fraccionamiento el Establo, Guanajuato, Gto. CP. 36250, aeinegocios1@gmail.[2] Universidad Iberoamericana León. Blvd. Jorge Vértiz Campero 1640. Col. Cañada de Alfaro. León, Gto. CP 37238 adrianalongoria20@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

La administración de la merma en la línea de la cadena de suministros es una variable que fortalece el margen operacional, el desarrollo y rentabilidad de una organización. Dentro del proceso un elemento significativo es el manejo de los *SKU* (*Stock Keeping Unit*), en su aplicación por tipo de merma bajo la clasificación A3, B1, y C3. Participaron 450 centros de distribución de bebidas refrescantes de la ciudad de León, Guanajuato, México. El objetivo de la investigación es determinar por medio de la trazabilidad de los *SKU* la raíz del aumento de la merma y que impacto tiene su control para reducirla y hacer eficientes los costos en la cadena de suministros. Se encontró que la trazabilidad detecta la causa raíz del aumento de merma, y que el manejo de los SKU incide directamente en la reducción del total.

***Palabras clave**: Merma, suministro, SKU, control*

Abstract

The management of the loss in the supply chain line is a variable that strengthens the operational margin, the development and profitability of an organization. Within the process, a significant element is the management of the SKU (Stock Keeping Unit), in its application by type of shrinkage under the A3, B1, and C3 classification. 450 soft drink distribution centers from the city of León, Guanajuato, Mexico participated. The objective of the investigation is to determine through the traceability of the SKUs the root of the increase in shrinkage and what impact its control must reduce it and make costs efficient in the supply chain. It was found that traceability detects the root cause of the increase in shrinkage, and that the control of the SKUs directly affects the reduction of the total.

***Key words**: Loss, supply, SKU, control*

Introducción

Los desafíos globales en el ámbito económico de cualquier mercado son cada vez más cambiantes, lo que genera que las empresas de cualquier sector, los asuman con una adecuada planeación para proteger su margen operacional, con la firme visión de obtener un mayor desarrollo y rentabilidad [1]. Uno de los retos y a su vez considerada, como una oportunidad para mantener una salud financiera sana, es atender de manera proactiva el manejo de las mermas con una tendencia a su reducción [2]. Para fines del presente trabajo se considera como merma al producto que sufre un daño parcial o total, independientemente, el origen que lo ocasione que puede ser dentro de la empresa; o en el proceso de distribución [3].

ISSN: 2007 8102

Es de tener presente que la merma es una de las variables que se asocia de manera negativa con el aspecto económico de cualquier organización, una señal de tal situación se aprecia en las ventas sea en su aumento o disminución. Cuando existe mercancía dañada en exceso la ganancia de venta del lote almacenado no se recupera. Efecto contrario, la reducción o eliminación si genera un ingreso que supera el valor del costo de venta. Un control correcto de una merma da como resultado un impacto positivo económico a la empresa, razón por la que se considera como un termómetro de salud financiera [4]. Por tanto, si la empresa tiene un mal manejo del producto en el almacén o el campo logístico, incluso si se da el caso del robo el problema de la merma tendrá una relación negativa con las ganancias generadas en la venta. Se ha llegado a un conceso a nivel mundial para tener una media de tolerancia de mermas para el sector *retail* que se encuentra dentro del rango del 1.0% al 1.5%, siendo un verdadero reto administrativo para los encargados de los almacenes y de la operación logística, ya que con frecuencia se han encontrado desenlaces que van del 1.7% al 2.0% [5].

En la cadena de suministros el control de inventarios es útil para detectar a tiempo una merma. Los inventarios sean PEPS (primeras entradas, primeras salidas), UEPS (últimas entradas primeras salidas) o perpetuos permiten conocer los productos con daño tanto en el almacén como los recibidos, enviados en cualquier medio logístico, y así obtener las existencias reales y contabilizar las mermas [6]. Al usar cualquier control de inventarios señalados en el párrafo anterior, es factible determinar una clasificación siendo: (a) Merma conocida porque se identifica de forma precisa de donde surgió, un caso es el deterioro de mercancía por su ciclo de vida. (b) Merma desconocida porque no es posible conocer cómo se originó, un ejemplo muy común es el robo en la misma organización o en la cadena de suministro. (c) Merma comercial, es la diferencia entre el inventario inicial y el final, entre los más recurrentes están los cambios a clientes. (d) Merma operativa, que tiene su pilar en el manejo del producto [7].

La importancia del control de inventarios es significativa en cualquier organización, sin importar su tamaño, esto conduce a tener presente las siguientes recomendaciones para reducir al máximo la merma: (A) Tener un adecuado control del personal, y así evitar o detectar a tiempo un posible robo. (B) Implementar un proceso de reclutamiento más cuidadoso, de tal manera que antes de contratar al empleado se tenga toda la información disponible y probada sobre sus antecedentes y datos generales. (C) Supervisar al detalle la cadena de distribución, desde los proveedores, los medios logísticos utilizados, los agentes aduanales y almacenes involucrados, y la llegada y descarga en la empresa. (D) Fomentar el buen manejo de la mercancía, con esto se puede evitar casos como caducidad del producto y daño previo. (E) Utilización de programas que ayude en la gestión de entrada, salida y ubicación de mercancía, así como el control en tiempo real la calidad y trazabilidad. Y (F) Realizar de manera eficiente el registro, etiquetado y almacenaje para evitar pérdidas y errores [8, 9].

El control de inventarios es una herramienta de relevancia como ya es notorio, sobre todo porque en su aplicación manifiesta tiende a soportar las políticas empresariales que tienen como común denominador obtener mejores utilidades por medio de sus ventas, por lo que, si no hay un control de inventarios adecuado, es de esperar que el objetivo anterior no se podrá obtener, además se abre la ventana a prácticas no deseables como lo es, a lo que se le conoce como robo hormiga, o a un incremento de desperdicios [10].

Independientemente, de lo ya señalado las secuelas de no aplicar o no operar un adecuado control de inventario se puede reflejar en la empresa de varias maneras: perdida de ventas y por ende de clientes; robo; y mermas considerables [11]. El inventario representa una fortaleza dentro de la estructura administrativa de cualquier empresa, su implementación correcta significa de manera positiva una rentabilidad financiera, así como un instrumento predictivo en el impacto de las políticas corporativas en los niveles de almacén, y minimizando el costo total de las actividades logísticas asegurando el nivel de servicio entregado al cliente [6].

ISSN: 2007 8102

Reducir la merma si es posible mediante un control de inventarios; contar con personal altamente capacitado; promover el compromiso organizacional; implementar y fomentar el trabajo en equipo; establecer canales de comunicación en la que se involucren los distintos departamentos; tener un adecuado registro, seguimiento y operación de la cadena de suministros. En palabras más simples, lograr la eficiencia en los procesos operativos y en la cadena de suministros para maximizar los niveles de competitividad [12].

Una cadena de suministro también conlleva actividades, instalaciones y medios de distribución necesarios para llevar a cabo el proceso de venta de un producto en su totalidad. Esto es, desde la búsqueda de materias primas, su posterior transformación y hasta la fabricación, transporte y entrega al consumidor final [13]. La cadena de suministros requiere de coordinación mediante programas en que participen todos los actores para obtener un producto, trasladarlo, procesarlo, venderlo y dar seguimiento a la satisfacción del cliente [14, 15, 16].

La administración de la cadena de suministro en el control de inventarios contempla como un elemento significativo el manejo de los *SKU (Stock Keeping Unit).* Es decir, unidad de mantenimiento de existencias, en su aplicación se realiza el proceso por tipo de merma bajo la clasificación A3,B1, y C3 que se integran por los *SKU* siguientes: Grupo A3 conformado por los *SKU* de fluctuación: diferencias que existen en los inventarios diarios, rotura, traspaleos, robos dentro del almacén; *SKU* de cambios al mercado: cambios de producto de los cliente o consumidores en el punto de venta, este tipo de merma cuenta con un presupuesto asignado; y *SKU* merma extraordinaria: es generada delincuencia (robos, asaltos) o por accidentes viales, esta merma esta fuera de los controles del almacén. Grupo B1 se compone por el *SKU* rotura de bodega: merma ocasionada por el mal manejo del producto. Y Grupo C3 se integra por los *SKU* comité de merma: grupo de personas que representantes de cada una de las áreas: distribución, comercial y planta productora, que integran la cadena de suministro; *SKU* reposición de carga: son las diferencias del inventario de producto del camión repartidor, contra lo planificado; y *SKU* destrucción de producto: Es cuando un producto pierde su máxima frescura o su empaque se ve maltratado, el líquido es derramado en contenedores [17]. Para atender cada problema que se presente en los grupos del A3, B1, y C3 se puede utilizar diagrama de Ishikawa que atiende el conflicto y las causas que lo conforman es elaborado a través una lluvia de ideas.

El objetivo de la presente investigación es determinar por medio de la trazabilidad de los *SKU* la raíz del aumento de la merma y que impacto tiene su control para reducirla y hacer eficientes los costos en la cadena de suministros. En este sentido se plantean las hipótesis siguientes:
H1: La trazabilidad de los *SKU* en la cadena de suministros detecta la causa raíz en el aumento de merma.
H2: La revisión de los *SKU* incide directamente en la reducción del total de la merma.

Metodología

Participantes

De una población de 1000 centros de distribución de bebidas refrescantes de la ciudad de León, Guanajuato, México [18] participaron 450 de manera voluntaria, siendo los que por medio de sus representantes legales contestaron la encuesta realizada mediante Google. El margen de error fue de 3.43%, y un nivel de confianza del 95% [19].

Diseño y procedimiento

El procedimiento fue cuantitativo, de tipo no experimental y transversal simple, para llevarlo a cabo se empleó la plataforma de Google dando a conocer el objetivo de la investigación y su relevancia. Los directivos participantes contestaron de manera anónima. En todo momento se aseguró el derecho de privacidad.

ISSN: 2007 8102

Instrumento

Se utilizaron métodos estadísticos para manejar datos cuantitativos y cualitativos para comprobar las hipótesis o establecer relaciones entre las variables dependientes e independientes (mermas y costos). Para la hipótesis 1 se llevó a cabo un análisis de causa raíz para identificar el problema a través de sus posibles orígenes, se aplicó el análisis de Pareto y diagrama de Ishikawa. Para la hipótesis 2 se analizaron las variables utilizando las medidas de desviación estándar y media, así como el coeficiente de correlación de Pearson a fin de conocer la relación que existe entre la (variable dependiente) merma total y (variable independiente) fluctuación y control de los procesos.

Resultados y discusión

La hipótesis H1 comprobó que la trazabilidad de los *SKU* en la cadena de suministros, bajo el análisis de Pareto, en la clasificación ABC, sí detectó como la causa raíz en el aumento de la merma a los siguientes: en A3 los tipos de mermade fluctuación, cambios al mercado y merma extraordinaria este costo tuvo un valor en promedio de $1,933 millones de pesos y representó el 74% de la merma total. B1 en la merma rotura de bodega con un impacto promedio de $330 mil pesos representando el 13% de la mera total. Y C3: en el tipo de mermas de comité de merma, reposición de carga y destrucción de producto, estos tres representaron en promedio el valor de $332 mil pesos, siendo el 12.8% de la merma total. Es de notar que la principal causa raíz se concentra en el grupo A3, lo que lo convierte también en un área de oportunidad.

Tabla 1. Causas raíz en el aumento de merma [20]

Clasificación Merma	Tipo de merma	Merma Total	%
A	3	1,933,174	**74%**
B	1	330,373	**13%**
C	4	332,503	**13%**
Total	**8**	**2,596,050**	**100%**

Los resultados en la lluvia de ideas por parte de los directivos participantes, mediante el método Ishikawa, para dar solución al problema del aumento de la merma, principalmente en la clasificación A3 fueron atender las variables: (1) Mano de obra: considerar todos los aspectos asociados a la gente, y al personal, entre ellos está la capacitación, revisar errores en captura, evitar la falta de motivación y cansancio, y tener mayor control en la revisión de consumos no autorizados. (2) Maquinaria: mantener en buen estado las herramientas que se utilizan para manipulación del producto en el almacén; montacargas, racks, patines, *hand held* (equipo electrónico para dar entrada y salida al *SKU*). (3) Entorno: monitorear las condiciones del medio ambiente y del entorno con el que se trabaja, temperaturas, pandemias, economía (disminución del ingreso per cápita). (4) Materia prima: evaluar todo lo que tenga que ver con los materiales en la empresa, que tengan una afectación en el producto entre ellos se encuentra emplaye, empaque, etiqueta, cartón, tarimas. (5) Métodos: evaluar si la forma en que se desarrollan las actividades está dando los resultados, en estos se encuentran el control de inventarios. Y (6) Revisar las diferentes medidas con que se trabajan, análisis de la información, seguimientos y reportes diarios.

Los hallazgos encontrados por medio del método de Pareto e Ishikawa sirvieron de soporte para la hipótesis H2 donde se analizan las variables a través del coeficiente de correlación de Pearson a fin de conocer la relación que existe al ejercer un control de los *SKU* para obtener una reducción en la merma, sobre todo entre la merma total, fluctuación y cambios al mercado. La desviación estándar de la merma total y la fluctuación se muestran en la tabla 2.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Desviación estándar y media de merma total y la fluctuación [20]

Variables	Valor total	Desviación estándar	Media
Merma total (x)	3,435,537	20,534.71	10,538
Fluctuación (y)	2,249,183	12,282.02	6,899

La variable dependiente merma total (x) contra la variable independiente fluctuación (y), bajo el análisis de 326 datos de *SKU* indicó la existencia de una correlación positiva del R2= 0.5443 lo que significa que al ejercer el control se refuerza el proceso en el inventario, aplicando controles como dobles conteos a rutas de reparto, haciendo selectivos y llevando históricos del personal con errores, el efecto tiende a ser positivo y reducir las mermas impactando en el costo (véase figura 1).

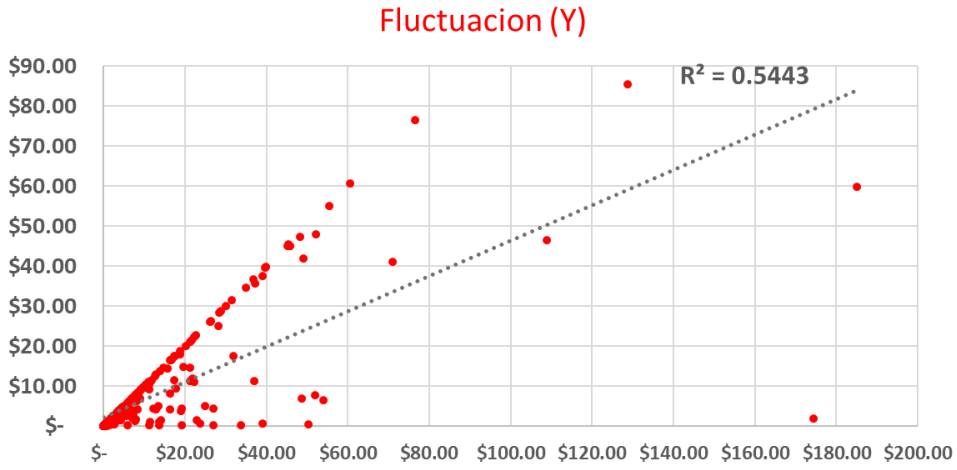


Figura 1. Coeficiente de correlación de Pearson de control entre la merma total y la fluctuación [20]

En el caso de merma total y cambios al mercado es un tipo de merma que se refiera al cambio de producto de clientes y consumidores en el punto de venta, como ejemplo se puede tener en el marcado producto fuera de su fecha de máxima frescura, producto dañado o sucio, el análisis de desviación estándar y media arroja lo indicado en la tabla 3.

Tabla 3. Desviación estándar y media de merma total y cambios al mercado [20]

Variables	Valor total	Desviación estándar	Media
Merma total (x)	2,093,986	22,953	13,510
Cambios al mercado (y)	654,782	10,856	4,224

Se aplicó la prueba de normatividad de Kolmogorov-Smirnov siendo el resultado de p 0.200 mayor que el nivel de significancia de 0.05 que implica que es una distribución normal o distribución paramétrica, lo que justifica la aplicación de la correlación de Pearson. La variable dependiente merma total (x) contra la variable independiente cambios al mercado (y), y con el análisis de 155

 ISSN: 2007 8102

datos *SKU* indica que existe una correlación positiva del R2= 0.62. Esto implica que, al ejercer un control en el inventario, rotación de producto de los clientes en el punto de venta, una correcta administración del presupuesto asignado para este rubro contra la venta, se obtendrá un efecto positivo y se tenderá a disminuir la merma total impactando en el costo (Véase figura 2).

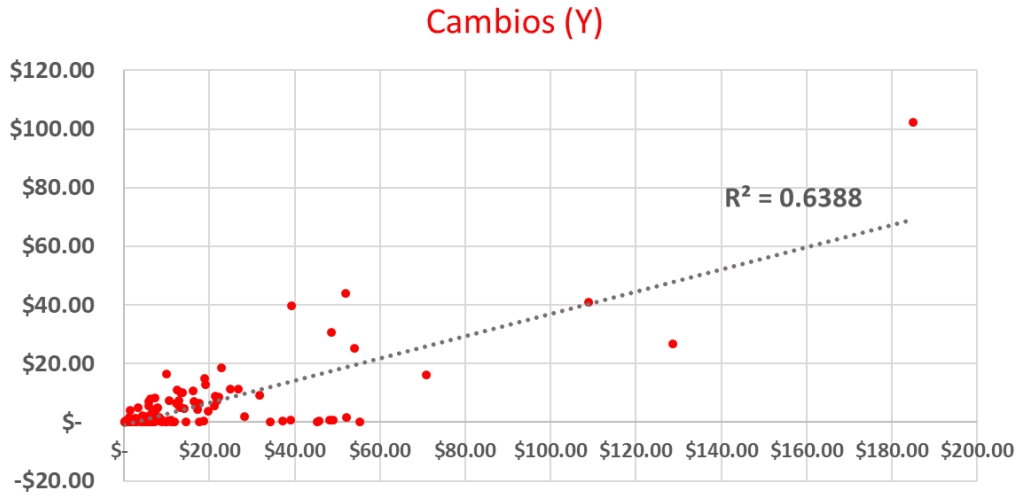


Figura 2. Coeficiente de correlación de Pearson de control entre la merma total y cambios al mercado [20]

Trabajo a futuro

La importancia del control de la merma en la cadena de suministro y dentro del proceso administrativo, es sin lugar a duda, significativa para cualquier empresa. El trabajo e investigación sigue siendo amplio y con un campo vasto que lleva a profundizar en el papel de disciplina operativa y su asociación con la merma para su reducción. De igual manera, en relevancia se abre el compás de realizar un trabajo que involucre al cliente, las rutas de reparto y su relación con el orden operativo en el almacén.

Conclusiones

Aplicar un adecuado control de inventarios y una correcta operación en la cadena de suministros permite reducir notablemente la merma. Además de tener una adecuada trazabilidad en los *SKU* da cuenta de las causas principales que generan la merma; si se gestiona y se da seguimiento al tipo de merma fluctuación y cambios al mercado se influye de manera positiva en la disminución de la merma total. Evitar una disparidad sobre la línea de control obliga a las empresas a ser proactivos y no reactivos mediante la corrección de los procesos y tener que mejorarlos cuando el problema ya está presente, el trabajo preventivo en la mejor recomendación que podría realizarse por medio de la exploración de los datos históricos en la merma para con ello generar una proyección que ayude a anticiparse ante futuros eventos y crear planes de acción. También, es importante conocer la precepción de servicio al cliente, esto da pauta, para saber si la organización está mejorando la diciplina operativa y el nivel de impacto económico en la merma total. Lo anterior fortalece la mejor toma de decisiones y acciones más efectivas en pro de la reducción del costo de la merma.

Referencias

[1] Gošnik, D., Meško, M. y Stubelj, I. (2023). La Relación entre el Liderazgo en BPM y la Rentabilidad de la Empresa. *Ciencias Administrativas (2076-3387) , 13* (3), 77. https://doi.org/10.3390/admsci13030077

[2] CHAO ZHAO Y CANCIÓN DE JIXIANG. (2023). Coordinación de la cadena de suministro de doble canal considerando la fijación de precios diferenciales y la aversión a las pérdidas con base en el control de calidad. *Revista de optimización industrial y de gestión , 19* (4), 2507–2527. https://doi.org/10.3934/jimo.2022053

[3] Zhang, M., Ying, S. y Xu, X. (2023). Coordinación de la cadena de suministro de doble canal con consumidores reacios a las pérdidas. *Dinámica discreta en la naturaleza y la sociedad* , 1–14. https://doi.org/10.1155/2023/3172590

[4] Ralston, P. y Blackhurst, J. (2020). Industria 4.0 y resiliencia en la cadena de suministro: ¿un impulsor de la mejora o pérdida de capacidad? *Revista internacional de investigación de producción , 58* (16), 5006–5019. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1736724

[5] Caner, C., Coşkun, BM y Yüceer, M. (2022). Recubrimientos de quitosano y nanocompuestos de quitosano para mejorar la estabilidad de almacenamiento de los huevos frescos durante el almacenamiento. *Revista de Procesamiento y Conservación de Alimentos , 46* (7), 1–13. https://doi.org/10.1111/jfpp.16642

[6] Julián Choquecota, JL (2023). El control interno para una adecuada gestión de inventarios en un municipio provincial. Dilemas Contemporáneos: *Educación, Política y Valores , 10* (3), 1–19.

[7] Kull, C. y Frauenschuh, E. (2023). Reducción de la merma gracias a la geometría de los tanques y al acabado de las superficies. *Brauwelt Español , 27* (2), 24–27.

[8] Lara Martínez, JJ, Martínez Hernández, L., Rosales Barrales, R., Martínez Orencio, MC, & Meza Rojo, D. (2020). Implementación De Un Sistema De Control De Inventarios En El Área De Almacén. *Revistas del Congreso Internacional de Investigación Académica , 12* (8), 1224–1230.

[9] TRIANA MORA, E. (2023). Optimización Del Manejo De Inventarios De Alimentos Y Bebidas En El Sector Hotelero Por Medio Del Desarrollo De Modelos Econométricos Enfocados En El Pronóstico De Ventas. Caso De Estudio: Hotel Tequendama. *Anuario Turismo y Sociedad , 32* , 51–72. https://doi.org/10.18601/01207555.n32.02

[10] Consuelo Restrepo, M., Chamorro González, C., & Carvajal Serna, D. (2020). El control interno de los inventarios: su incidencia en la gestión financiera de Due Amici Pizzería. *Activos , 18* (2), 137–163. https://doi.org/10.15332/25005278/6264

[11] Pozo Hernández, FM, Rodríguez Lara, AD, & Benalcázar Paladines, ME (2020). Análisis de control y medición de inventarios según el Estándar Internacional de Contabilidad 2 en industrias. Dilemas Contemporáneos: *Educación, Política y Valores , 7* , 1–20.

[12] Martínez, A., Salgado, JF y Lado, M. (2022). Inventarios de personalidad de elección forzada cuasi-ipsativa y el control de la falsificación: los efectos de sesgo del error transitorio. *Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones , 38* (3), 241–248. https://doi.org/10.5093/jwop2022a16

[13] BLEN, E., HUESCA, L., & GUTIÉRREZ, F. (2022). Programa de inventario en bodega planta de acopio con metodología financiera control físico de inventarios. *Revista de Planificación y Control de Microfinanzas , 8* (22), 33–39. https://doi.org/10.35429/JMPC.2022.22.8.33.39

[14] Rueda-Vera, G., Avendaño-Castro, W.-R., & Parada-Trujillo, A.-E. (2022). Sistemas de información y control de inventarios en Micro Pequeñas y Medianas Empresas - Mipymes de la ciudad de Cúcuta, Colombia. Saber, *Ciencia y Libertades , 17* (2), 328–351. https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2022v17n2.9295

[15] Cano Bedoya, J., Sánchez Herrera, L., & Puerta Uribe, E. (2019). Análisis estadístico para la administración del inventario en empresas comerciales aplicando métodos multivariados. *Comunicaciones En Estadística , 12* (1), 71–89. https://doi.org/10.15332/23393076/5292

[16] Pozo Hernández, FM, Almeida Blacio, JH, & Aldaz Bombón, OR (2023). Análisis estadístico neutrósofico sobre el diagnóstico de un Sistema de Control Interno en Inventarios. Caso de estudio: Distribuidora Mc mundo celular. (Español). *Computación neutrosófica y aprendizaje automático , 26* , 21–30.

 ISSN: 2007 8102

[17] Jackson, I. (2022). Enfoque de AutoML para la segmentación de unidades de mantenimiento de existencias. *Revista de investigación de comercio electrónico teórico y aplicado , 17* (4), 1512–1528. https://doi.org/10.3390/jtaer17040076
[18] Cámara de León (2022). *Directorio empresarial*. Recuperado de: https://camaraleon.com/
[19] Obregón Espinoza, EL, Neri Ayala, AC, Ramos y Yovera, SE, Caro Soto, FG, & Muñoz Vilela, AJ (2023). Design Thinking como herramienta para fomentar la innovación y el emprendimiento. Salud, *Ciencia y Tecnología , 3* , 1–6. https://doi.org/10.56294/saludcyt2023368
[20] Fuente propia.

 ISSN: 2007 8102

Modelo estratégico de comercio electrónico basado en herramienta digitalpara la factibilidad en el comercio al por menor de ropa de Torreón

Emmanuel Contreras Medina, Tannya Meraz Aldaba, Eyran Roberto Diaz Gurrola

Universidad Autónoma de Coahuila

RESUMEN

En México el Internet se ha desarrollado enormemente, sin embargo, su uso varía de un lugar a otro, dependiendo del tamaño de las empresas (grandes, medianas, pequeñas y microempresas) según el sector económico (industria, comercio, servicios), etc. Es alarmante el escaso uso de esta tecnología por parte de los micro y pequeños empresarios en el sector del comercio minorista de ropa y accesorios en Torreón Coahuila. El objetivo de este trabajo es crear un modelo estratégico basado en una herramienta digital que sirva de diagnóstico para que los comerciantes sepan si están o no en condiciones de ingresar al comercio electrónico y si es positivo a través de qué aspecto es rentable. Para llegar a la propuesta final, primero se aplica una encuesta y se realiza una investigación documental para generar el contenido de la herramienta y en la que se realizan una serie de preguntas para obtener el diagnóstico de la micro o pequeña empresa.

INTRODUCCIÓN

Uno de los más recientes es de (Alderete, 2019)con el título Electronic commerce contribution to the SME performance in manufacturing firms: A structural equation model en el que plantea ampliar la literatura que existe entre el comercio electrónico y las tecnologías de la información en su metodología utiliza un modelo de ecuación estructural con el que contribuye con la exploración de la relación entre los grados de comercio electrónico y el desempeño de las pymes y termina por concluir que si bien en el año 2019 se ha ido adoptando de manera gradual las TIC (Tecnologías de Información y Comunicación abreviado y nombrado así de aquí en adelante), la evidencia empírica demuestra que es todavía escasa la adopción del comercio electrónico en países en desarrollo y que habría que identificar, el efecto de las percepciones de los gerentes sobre la adopción del comercio electrónico y las decisiones de estos acerca del desempeño de las empresas.

Entonces se observa en base a (Alderete, 2019) que es escaza la adopción en países en desarrollo cabe mencionar que la adopción no viene sola se necesita de ayuda, México es un país en desarrollo como bien lo manifiesta (Morales, 2020) debido a que en su trabajo The digital gaps in México realiza un estudio donde muestra con diversos indicadores (inversión en ciencia, tecnología e innovación) el atraso en el que se encuentra en comparación a otros países y realizando un balance con el aprovechamiento sectorial y social de las TIC, identifica el avance y los retos pendientes en la apropiación y desarrollo de las tecnologías digitales en México, para lograr de manera efectiva el apropiamiento y aprovechamientos de los aspectos digitales en todos los sectores de actividad económica.

Un antecedente más seria el de (Mucha, 2018) es un artículo que se realiza en Perú en la provincia de Trujillo, marca una problemática en la que los empresarios tiene temor de usar el comercio electrónico por el desconocimiento y les falta decisión para unirse a esta herramienta, por cual realiza una investigación cuantitativa de tipo causal y aplico una encuesta, esto lo llevo al resultado, el cual dice que el sistema de ventas de ese rubro no es rentable, por lo que la herramienta del comercio electrónico le sería de mucha utilidad pero requieren de capacitación, ya que les permitiría ahorrar en costos, tiempo e impulsaría más las ventas.

Otro documento esta vez de (María & Cabello, 2020) denota que México y Perú tiene números similares en cuanto a aspectos tecnológicos se refiere como ejemplo la categoría de uso de biga data o algoritmos para la comunicación a México lo marca con el 35.4% y a Perú con el 37.5%.

Ahora un antecedente en México específicamente en Sonora por (Espinoza Zallas & Flores Figueroa, 2018) en este artículo se da conocer y se pone en práctica estrategias del comercio electrónico que realiza por medio de una investigación documental, parte desde el conocimiento si el servicio o producto de la empresa es demandado en el comercio electrónico, es por ello que para este estudio antes de elegir el sector (comercio minorista) y subsector (de venta de ropa y accesorios) se investigó cuáles eran los más demandados, para que los vendedores de comercio al por menor de ropa y accesorios que no están dentro del comercio electrónico entren y demostrarles que si puede haber rentabilidad guiados por la herramienta digital, finalmente concluyen (Espinoza Zallas & Flores Figueroa, 2018) que en las redes sociales hay una área de oportunidad y que al hacerlo mediante estrategias se abre una brecha de oportunidades.

En conclusión, México es un país en desarrollo que necesita ponerse a la vanguardia lo antes posible, en este aspecto se señala el estudio bibliométrico que se presenta más adelante donde se demuestra que China es el primer lugar en

 ISSN: 2007 8102

Comercio Electrónico, seguido por Estados Unidos ambos países fuertes potencias que demuestran que el comercio electrónico es importante.

TEORÍA

Este proyecto tiene como finalidad ofrecer una herramienta con estrategias del comercio electrónico con el ideal de ayudar y capacitar a las micro y pequeñas empresas del comercio al por menor de venta de ropa y accesorios, de tal manera que migren de lo tradicional hacia el comercio electrónico.
Las micro y pequeñas empresas representan algo importante para México según un artículo del periódico El Universal. "Según cifras del INEGI, en México las microempresas (de 1 a 10empleados) representan 95.4% del total de las empresas del país, mientras que las pequeñas empresas conforman 3.6% y las medianas 0.8%. Su contribución total al Producto Interno Bruto (PIB) ronda 52% y generan 72% del empleo formal. Sin embargo, a pesar de su impacto en el PIB y en la generación de empleo, tienen tasas de supervivencia muy bajas." (Reyes, 2019 p.1)
La pandemia del coronavirus generó un impacto negativo debido a las medidas que se debieron tomar y que al momento no todas las empresas estaban preparadas para un cambio radical. Sin embargo, las ventas en línea tuvieron crecimiento, esto lo presenta la (AMVO, 2020) en su estudio sobre venta online en PyMEs 2020 2da. edición el cual podemos ver en la figura 1.



Figura 1: Impacto COVID-19 en el volumen de negocios Fuente: Estudio sobre ventas online en PyMEs 2020(AMVO, 2020)

Podríamos pensar que solo por la pandemia hay que usar este canal, pero este medio año tras año ha ido creciendo en cuestión de usuarios que podemos encontrar como posibles clientes muestra de ella la figura 2.

 ISSN: 2007 8102

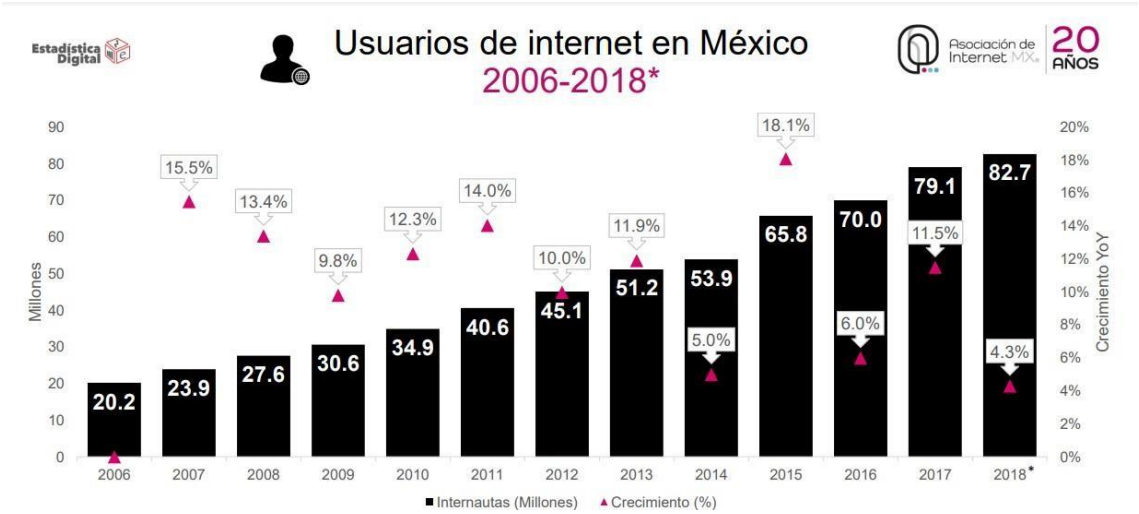


Figura 2 Usuarios de internet en México Fuente: Estudio sobre los hábitos de los usuarios de internet en México (AIMX, 2019)

Es claro según la figura 3 que se está migrando de lo tradicional al comercio electrónico, por lo que las empresas, deben buscar hacerlo de la manera adecuada. En parte en este proyecto es lo que se pretende sobre todo para todos aquellos que aún no venden por internet y para los que ya venden ayudarles a utilizar la herramienta adecuada.

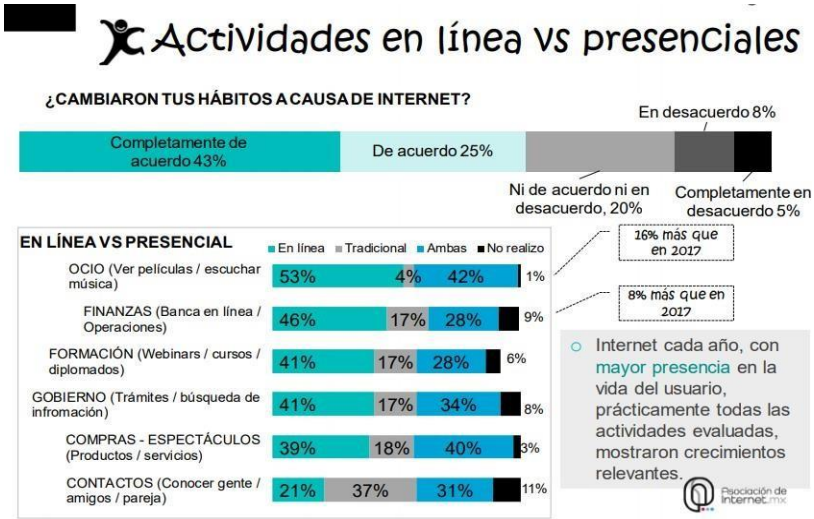


Figura 3 En línea vs tradicional Fuente: Estudio sobre los hábitos de los usuarios de internet en México (AIMX, 2018)

Debido a la contingencia del coronavirus muchas se vieron en la obligación de cambiar, otros tantos no pudieron hacerlo por diversas circunstancias y ahora ya no existen. Para los que realizan ventas en línea de la manera adecuada o no, se les hizo un estudio por parte de la (AMVO, 2020)y dicen que al estar en línea no solo incrementan sus ventas también tienen mayor presencia en el mercado y aun con todo ellos creen que es indispensable la capacitación respecto al comercio electrónico ya que al no saber, los lleva a cometer equivocaciones lo cual los hace aprender a través de la experiencia que en ocasiones puede llevar perdidas monetarias.

Por último, en la figura 4 las ventas de ropa y accesorios es un sector que se mueve de manera fuerte.



Figura 4 Mayor relevancia y clicó de publicidad online Fuente: Estudio sobre los hábitos de los usuarios de internet en México (AIMX, 2018)

METODOLOGÍA

El análisis bibliométrico se basó en un lapso para los artículos científicos de los últimos 5 años de publicación en idioma inglés; se excluyeron los documentos con enfoque diferente a la temática de investigación.

Se realizo la búsqueda de los conceptos e-commerce y model (figura 5) en la base de datos Scopus y para perfeccionar los resultados de búsqueda se utilizó el software de VOS Viewer, la búsqueda arrojo artículos que fueron exportados en formato CSV. La recolección de información fue hecha en octubre 2020.

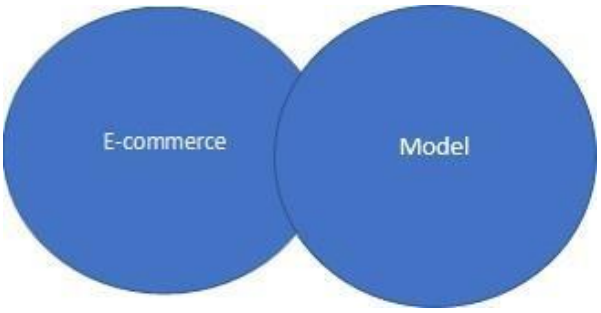


Figura 5 Conceptos Fuente: Elaboración propia

La siguiente figura 6 es la evidencia de la distribución por años de publicaciones relacionadas con la base de estudio, se observa que en el año 2019 hay más publicaciones y en los años anteriores del 2015 al 2018 ha ido en incremento las publicaciones.

 ISSN: 2007 8102

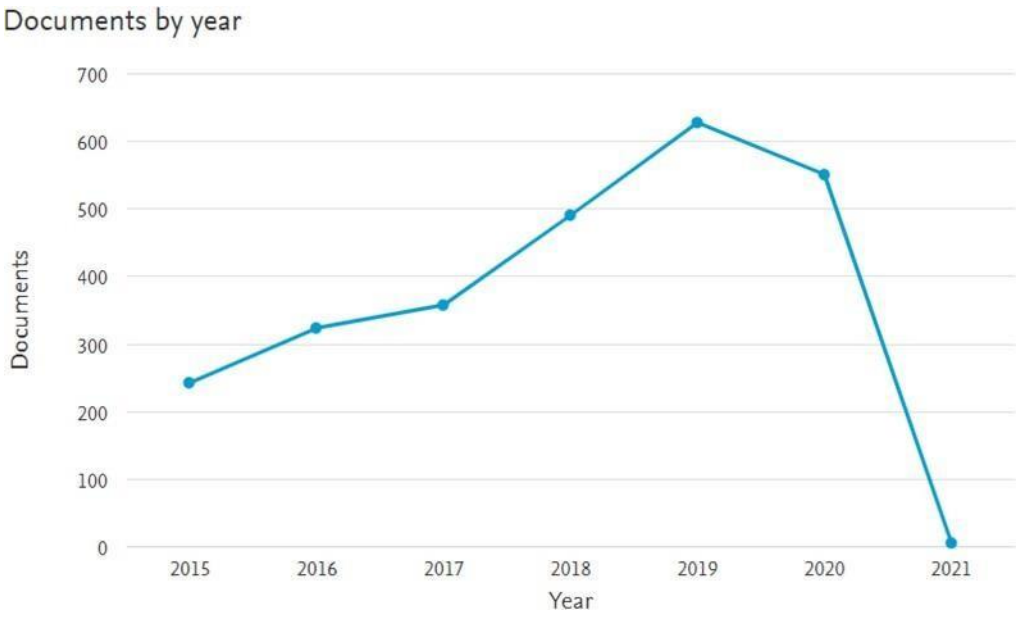


Figura 6 Publicaciones por año Fuente: Scopus

La figura 7 es la participación de los países en el tema de mayor a menor. Lo que se muestra, es que resalta China con 996 seguido por Estados Unidos con 345 e India con 327, México también se encuentra, pero abajo con solo 7.Y se añade según (González García, 2020) China es el líder en comercio electrónico y Estados Unidos también lo menciona como parte de los que liderean en ventas por comercio electrónico.

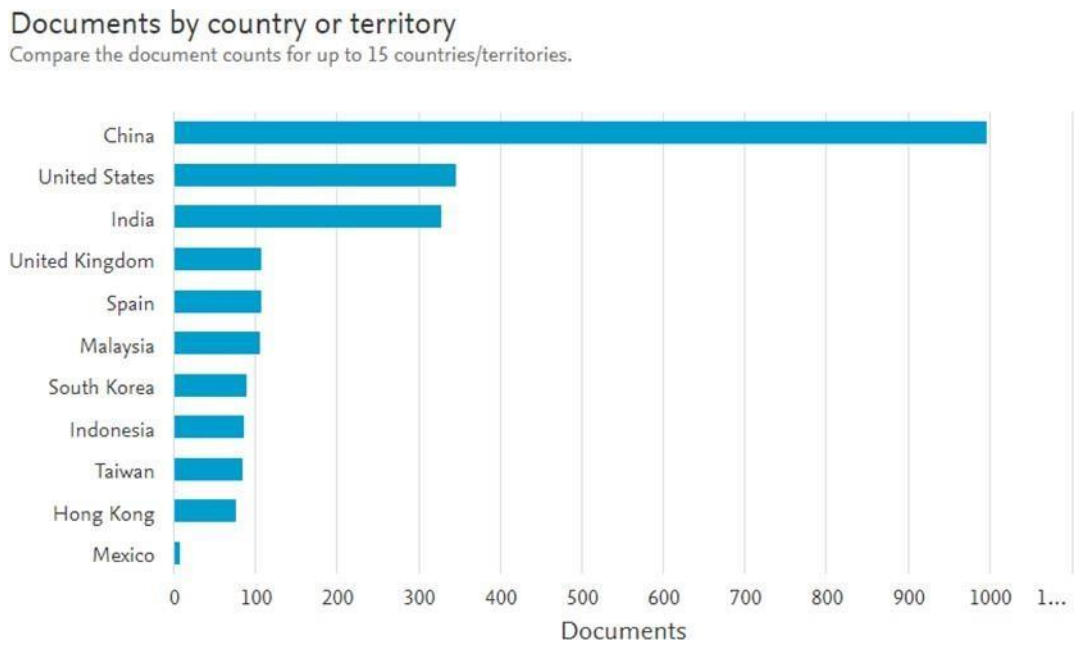


Figura 7 Comparativa de documentos por país de mayor a menor Fuente: Scopus

Se utilizó el software Vos viewer para una mejor búsqueda, es por ello que en la figura 1.1.4 se presenta el resultado del software y en este se utilizó la palabra e-commerce

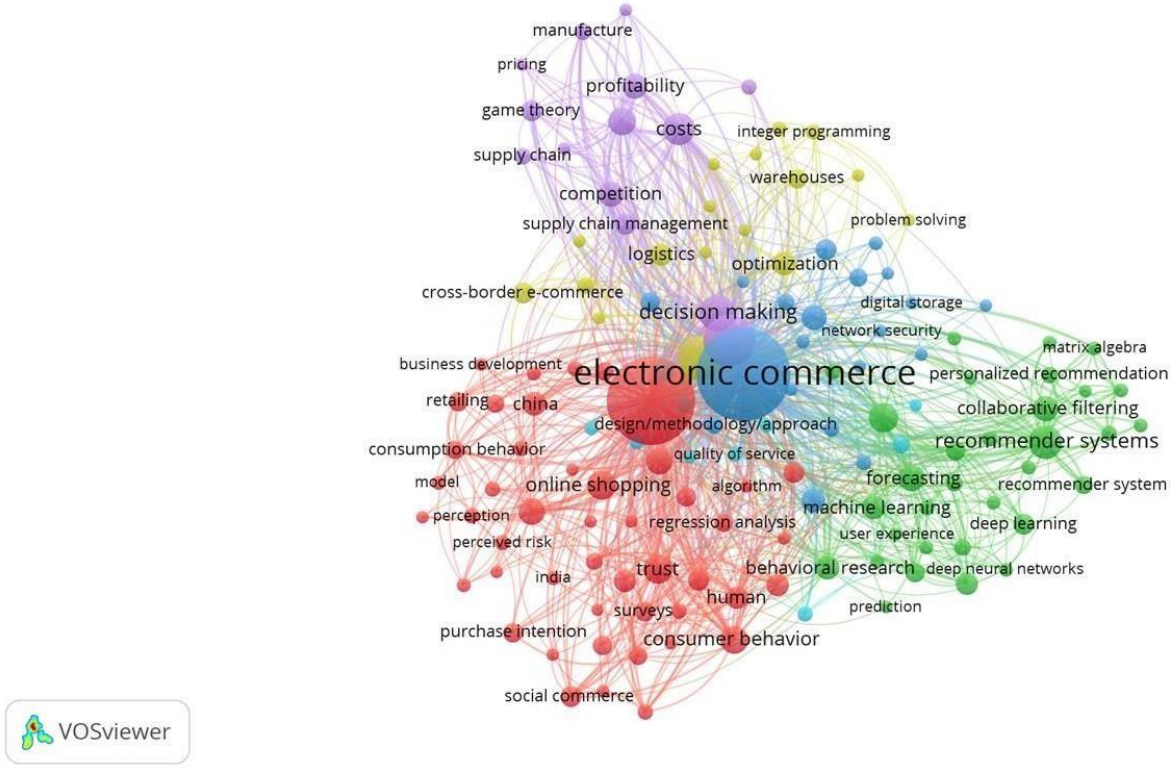


Figura 8 Relación de palabra clave análisis Fuente: VOS viewer

Las palabras en el área rosa son las que van más de acuerdo a lo que se pretende estudiar ejemplo sales, business development, online shopping, design/methodology/approach.

Autor	Numero de Publicaciones
Huang, GQ	9
Wang, Y.	8
Lowry, PB	7
Chai, Y.	6
Wang, YS	6
Ahn, J.	5
Al-Adwan, AS	5
Dwivedi, YK	5

Tabla 1 Relación de autores y publicaciones Fuente: Elaboración propia

En la anterior tabla 1 nos da una muestra de la relación de los autores con la cantidad de publicaciones hechas ordenadas de mayor a menor, solo es una muestra ya que son 161 autores.

Y a continuación algunas de las fuentes de publicación en la tabla 2

Fuente	Numero de publicaciones
Ministerio de Educación China	33
Universidad de Tsinghua	31
Universidad de Ciencia y Tecnología Electrónica de China	26
Universidad de Zhejiang	23
Universidad Politécnica de Hong Kong	23

 ISSN: 2007 8102

Universidad de Tongji	23
Universidad de Bina Nusantara	22

Tabla 2 Fuente de publicaciones Fuente: Elaboración propia

Continuando con el análisis se presenta la tabla 3 en donde se observan las aportaciones de algunos autores en este estudio bibliométrico.

Referencia	**Titulo**	**Aportación**
(Tran, 2021)	Managing the effectiveness of e-commerce platforms in a pandemic.	Demuestra el beneficio económico conforme a la relación de la percepción de un cliente, el consumo sostenible y los niveles de miedo a la pandemia
(Saeidi, 2020)	A new model for calculating the máximum trust in online social networks and solving by artificial bee colony algorithm.	Un algoritmo para la confianza en redes sociales, puesto que es una de las problemáticas más fuerte y existen varios modelos, por lo que propone un modelo basado en el ABC de las colonias de abejas
(Liu, 2020)	3D Block Matching Algorithm in Conceland Image Recognition and E-Commerce Customer Segmentation.	Un modelo de segmentación basado en el algoritmo de bloques 3D que mejora y realiza análisis sobre la segmentación del cliente.
(Jovanovic et al., 2020)	The relationship between E-commerce and firm performance: The mediating of internet sales channles.	Demuestra que anteriores resultados fueron contradictorios con respecto al impacto del comercio electrónico en el desempeño de las empresas. Proporciona conocimientos que contribuyen a la literatura sobre CE y su ejercicio. Muestra que la relación de la empresa y el CE no es directa por lo que los gerentes deben estar conscientes de sus limitaciones y no ignorar los factores mediadores
(Lv et al., 2020)	How can E-commerce business implement discount strategies throungh social media?	Modelo evolutivo para implementar estrategias de promoción por redes sociales, investigó la difusión de los descuentos con respecto a la reputación.

Tabla 3 Tabla de aportaciones Fuente: Elaboración propia

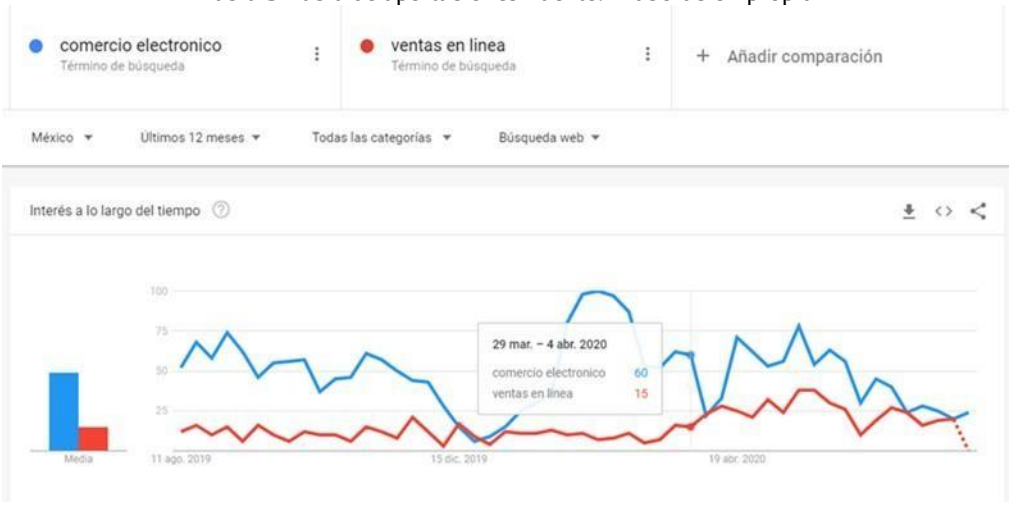


Figura 10 Análisis de tendencia Fuente: Google Trends

La figura 10 es un análisis de tendencia realizado en la página de Google Trends utilizado las palabras comercio electrónico y ventas en línea, con un periodo de tiempo de agosto del 2019 a abril del 2020, se observa que es más fuerte la tendencia de comercio electrónico y que tuvo un repunte entre diciembre del 2019 a abril de 2020.

 ISSN: 2007 8102

Google Trends también nos permite visualizar las tendencias por país, en este sentido el análisis se hizo en español por lo que hace variar el resultado a comparación del obtenido en Scopus mismo que se observa en la figura 11.



Figura 11 Análisis de tendencia en países. Fuente: Google Trends

Google Trends nos permite analizar el país por estados en este caso México por lo que la siguiente figura 12 nos muestra donde se da más la tendencia de las palabras de búsqueda (comercio electrónico y ventas en línea).



Figura 12 Tendencia por Estado Fuente: Google TrendsLa

figura 12 es para saber el lugar de Coahuila con respecto al tema.



Figura 13 Tendencia de Coahuila Fuente: Google Trends

CONCLUSIONES

.

El análisis bibliométrico se basó en un lapso para los artículos científicos de los últimos 5 años de publicación (2021-2015) en idioma inglés y español; se excluyeron los documentos con enfoque diferente a la temática de investigación.

Se realizo la búsqueda de los conceptos e-commerce y model en la base de datos Scopus y para visualizar los resultados de búsqueda se utilizó el software de VOS Viewer,. La recolección de información fue hecha en octubre 2020.

El análisis de tendencia realizado en la página de Google Trends utilizado las palabras comercio electrónico y ventas en línea, con un periodo de tiempo de agosto del 2019 a abril del 2020, se observa que es más fuerte la tendencia de comercio electrónico y que tuvo un repunte entre diciembre del 2019 a abril de 2020.

Google Trends también nos permite visualizar las tendencias por país, en este sentido el análisis se hizo en español por lo que hace variar el resultado a comparación del obtenido en Scopus

Bibliografía

[1] M. V. Alderete, «A structural equation model. Contaduria y Administracion,,» *Electronic commerce contribution to the SME performance in manufacturing firms:,* vol. 4, nº 64, pp. 1-24, 2019.

[2] W. Ávila, « Hacia una reflexión histórica de las TIC.,» *Hallazgos,* vol. 10, nº 19, 2013.

[3] Cristina Manzur, Leticia Rojas, Alejandro Balcázar, P. R. (2020). Choque del paradigma en el uso sobre comercio tradicional vs comercio electronico en México. Revista Dilemas Contemporáneos Educación, Política y Valores, 28(2), 1–43

[4] Espinel Rubio, G. A., Hernández Suárez, C. A., & Rojas Suarez, J. P. (2020). Usos, apropiaciones y nuevas prácticas comunicativas de los usuarios adolescentes de facebook. Saber, Ciencia y Libertad, 15(1)..

[5] M. V. Alderete, «A structural equation model. Contaduria y Administracion,,» *Electronic commerce contribution to the SME performance in manufacturing firms:,* vol. 4, nº 64, pp. 1-24, 2019.

[6] W. Ávila, « Hacia una reflexión histórica de las TIC.,» *Hallazgos,* vol. 10, nº 19, 2013.

 ISSN: 2007 8102

Modelo de Competencias de la Industria 4.0 para la Transformación Digital de las Pymes Manufactureras

N. A. Bello Conde[1], M. R. G. Morales Salgado[2],*
[1,2]Tecnologías de Información, Decanato de Ingenierías, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, 21 sur 1103 Barrio Santiago C.P: 72410, Puebla, México,
[1]normaangelica.bello@upaep.edu.mx, [2]mariadelrocio.morales@upaep.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen
Industria 4.0 y Transformación Digital son las grandes tendencias tecnológicas de los últimos años, su importancia y aplicación en la industria va en aumento al incorporar tecnologías digitales e información inteligente en todos los elementos de la cadena de valor. Se propone un modelo de competencias con propósito específico para las Pymes con enfoque de la Industria 4.0 para la transformación digital; un modelo simple, ágil, que les brinde directrices de cómo lograr un mayor nivel de madurez; formado por una estructura multidimensional de cuadrantes que representan un área general de actividad como la estrategia, la tecnología, la cultura y organización y el talento; desde las cuales se examinan recursos, capacidades y competencias, que deben ser desarrolladas a través de un procedimiento metodológico de inducción, análisis y valoración que las encaucen a ser industrias inteligentes y conectadas. Como trabajo a futuro será evaluado en su concepción, proceso de implementación e impacto.

***Palabras clave**: Industria 4.0, Transformación Digital, Competencias, Pymes.*

Abstract
Industry 4.0 and Digital Transformation are the major technological trends of recent years. Their significance and application in the industry are on the rise as they incorporate digital technologies and intelligent information into all elements of the value chain. A competency model with a specific purpose for Small and Medium-sized Enterprises (SMEs) is proposed, focusing on Industry 4.0 for digital transformation. It is a simple, agile model that provides guidelines on how to achieve a higher level of maturity. The model consists of a multidimensional structure of quadrants representing key areas such as strategy, technology, culture and organization, and talent. These areas are examined for resources, capabilities, and competencies that need to be developed through a methodological process of induction, analysis, and assessment to transform SMEs into intelligent and connected industries. As a future work, it will be evaluated in terms of its conception, implementation process and impact.

***Key words**: Industry 4.0, Digital Transformation, Skills and Competences, SMEs.*

Introducción
Las pequeñas y medianas empresas manufactureras forman una parte importante de la economía mexicana, aportan el 30.7% tanto del personal ocupado como del valor agregado en el país. El Censo Económico 2019 realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), señala que existen en México 579,828 empresas dedicadas a la manufactura, con actividades relacionadas a la producción de alimentos y bebidas, elaboración de maquinaria y productos textiles; de ellas, 33917 corresponden a Pymes [1]. Durante los últimos años y dentro del contexto de la pandemia por COVID-19, enfrentan una situación económica muy complicada debido a paros técnicos, escasez de insumos, pérdida de ingresos y reducción de personal, como lo reporta INEGI en la “Encuesta sobre impacto económico generado por el Covid-19” [2]. Aunado a esto, también se enfrentan a barreras que limitan o impiden su crecimiento tal como modelos de negocio poco innovadores, falta de visión y estrategia de transformación, procesos desintegrados, ausencia de talento, escaso liderazgo, problemas de comunicación, resistencia al cambio, entre otros [3] [4].

 ISSN: 2007 8102

Para que las Pymes manufactureras puedan ser competitivas en un entorno globalizado y sortear exitosamente la problemática a la que se enfrentan, deben tener un claro entendimiento de esta nueva revolución digital. Por un lado valorar los beneficios que les ofrece, tales como, mayor capacidad de producción, calidad operativa, flexibilidad productiva, reducción de costos, integración e impulso al desarrollo sostenible de ellas y de los estados del país donde se encuentran [5]; y por el otro afrontar las implicaciones de su adopción, pues suponen cambios significativos en cuanto a técnicas, materiales, comunicaciones y tecnologías utilizadas en sus procesos de negocio [6], implicando un mayor esfuerzo para las Pymes dadas sus características de tamaño, capital e ingresos. Transformar una industria manufacturera, como las que existen actualmente a una industria inteligente, se requieren modelos de negocio sostenibles, digitalizados, estructuras organizativas eficientes, empoderamiento y participación de los empleados [7]. Implica además estrategias, capacidades y competencias, innovación y colaboración inteligente [8].

Entonces, ¿Cómo encauzar a las Pymes manufactureras a desarrollar las competencias necesarias para emprender un proceso de transformación digital hacia la Industria 4.0?, ¿Cuál es la ruta o manual de instrucciones que deben seguir para implementarla?, ¿Qué tecnologías deben elegir y como saber si se está preparado para utilizarlas?, ¿Es necesario hacer cambios en modelos de negocio y procesos?. Dar respuesta a estas preguntas representan el mayor reto de las organizaciones para abordar su transformación, toda vez que se encuentran en diferentes contextos, diferentes niveles de avance y tienen diferentes capacidades, recursos y competencias.

Tratando de dar respuesta a las preguntas formuladas anteriormente, diferentes autores, instituciones o consultoras, han propuesto modelos de transformación [9], [10], hojas de ruta [11]–[14], tecnologías[15], modelos de gestión [16], [17] y capacidades y competencias [16], [18], [19] que permiten tener una visión integrada de los diferentes componentes de la transformación con actividades encaminadas a lograr un cambio empresarial. De la revisión teórica, se pudo establecer que las propuestas presentan características particulares con respecto a su enfoque, complejidad, aplicación, costo y madurez organizacional; tal es el caso de aquellos que están planteados para organizaciones grandes, de los que contemplan todas o algunas dimensiones de la transformación digital, los que tienen una orientación hacia la industria o abarcan cualquier sector productivo y los que integran o no las competencias, todas tienen alguna de las características anteriormente mencionadas o alguna combinación entre ellas como su principal argumento.

Sin embargo, aun cuando existen soluciones, éstas no integran en su conjunto los conceptos de industria 4.0, transformación digital y recursos, capacidades y competencias; de ahí que se plantea entonces el Modelo de Competencias de la Industria 4.0 para la Transformación Digital de las Pymes Manufactureras conformado por los mejores enfoques de los modelos existentes. El modelo propuesto integra en primer lugar, los conceptos de la Industria 4.0, porque estos suponen oportunidades para la industria a través de sistemas ciber-físicos que mejoran la eficiencia y flexibilidad productiva; en segundo lugar, las dimensiones de la transformación digital, porque engloban e integran los elementos de mayor impacto en la organización y, en tercer lugar, la alineación entre sus recursos, capacidades y competencias, como una modalidad de gestión. Un modelo simple, adaptable a la estructura organizativa de las Pymes, ágil de implementar, que les brinde orientación sobre cómo lograr un mayor nivel de madurez en su dominio específico y sea instrumento detonante de una cultura corporativa de transformación digital.

Metodología

En este apartado se describe la metodología para desarrollar la investigación y dar cauce al punto de resultados y discusión. Se desarrolla en tres pasos descritos a continuación:

1. Análisis de Modelos y soluciones consolidadas como referentes teóricos
2. Diagnóstico del sector industrial en México frente a la Industria 4.0
3. Conceptualización del Modelo de competencias

1. Análisis de Modelos y soluciones consolidadas como referentes teóricos

Como primer paso e inicio de la investigación se realizó una revisión sistémica en bases de datos académicas nacionales e internacionales de los años 2015 al 2022. Se revisaron 135 investigaciones en las cuales se ha tratado de dar respuesta a las necesidades de transformación digital de las empresas. Las diferentes disertaciones y aportaciones con respecto a modelos de transformación digital, índices de madurez, hojas de ruta (roadmap), desarrollo de capacidades, cultura organizacional, entre otras; fueron analizadas, clasificadas y priorizadas con respecto a sus aportaciones, propuestas, impacto y alcances, construyendo así una perspectiva

 ISSN: 2007 8102

teórica en temas de transformación digital, modelos, capacidades y competencias e Industria 4.0 y con ello se definió el marco teórico referente a las áreas de conocimiento de la investigación.

2. Elaboración de diagnóstico

En el segundo paso se elaboró un diagnóstico enfocado a determinar el nivel de madurez de las Pymes manufactureras de la región centro-sur. Para este punto y siguiendo la propuesta metodológica de Hernández-Sampieri, se establecieron el tipo y diseño de la investigación, la descripción del instrumento de medición y la selección de la población [20]. Los resultados, su interpretación y análisis se detallan en el apartado correspondiente.

Tipo y diseño de la investigación

La investigación fue no experimental y transversal debido a que no se realizó una manipulación deliberada de variables y la recolección de los datos se hizo en un solo tiempo [20]. Fue un estudio descriptivo de enfoque cuantitativo dado que se recolectaron datos sobre diferentes aspectos empresariales, tales como el sector económico, tamaño, madurez tecnológica, uso de información, conectividad, habilidades y competencias del personal y estructura organizacional.

Instrumento de Medición/Recolección de datos

El diagnóstico de la presente investigación se basó en el autodiagnóstico de la iniciativa NL4.0 que el Gobierno del Estado de Nuevo León lanzó en 2018, enfocada a determinar el nivel de madurez de las empresas participantes y obtener información relevante alrededor de la Industria 4.0 y su potencial implementación en Nuevo León [21]. Con este cuestionario se complementaron los resultados obtenidos en el norte del país para tener una visión ampliada de las necesidades y detectar nuevas oportunidades. El cuestionario final quedó conformado por 28 preguntas que abarcan 5 dimensiones de evaluación y se codificaron para obtener una respuesta en la escala de Likert.

- Cultura, Estrategia y Organización para Identificar el conocimiento que tiene el encuestado sobre la industria 4.0 y como la incorpora dentro de la organización.
- Uso de datos e incorporación en la cadena de valor
- Proceso/Producto, para conocer el nivel de implementación de las tecnologías relacionadas a la Industria 4.0
- Talento para identificar el nivel de preparación, habilidades y competencias del personal de la organización.
- Información General que permiten elaborar un perfil

Población

Se elaboró un directorio conformado por empresas del ramo industrial; invitándolas de manera directa y a través de las asociaciones de las que son miembros. Pertenecen a los estados de Veracruz, Puebla y San Luis Potosí. Los criterios de selección estuvieron basados en ubicación, presencia, sector, tamaño y disponibilidad. La encuesta la contestaron 15 empresas.

3. Conceptualización del Modelo de competencias

En este último paso de la metodología, considerando los resultados obtenidos en los pasos previos, se planteó el Modelo de Competencias de la Industria 4.0 para la Transformación Digital de las Pymes Manufactureras. En primer lugar, se determinaron las dimensiones del modelo; las dimensiones son las áreas claves dentro de la organización enfocadas en conseguir la eficiencia operacional, dar valor a los datos del negocio, centrarse en el cliente y aplicar tecnologías disruptivas. En segundo lugar, se definieron, las tecnologías disruptivas que son los pilares de la Industria 4.0 para la digitalización de sistemas y procesos industriales, como el internet de las cosas, la nube, el bigdata, inteligencia artificial, robótica y ciberseguridad enfocadas a lograr fábricas inteligentes. En tercer lugar, para cada dimensión se seleccionaron y organizaron los recursos y capacidades que permiten lograr las competencias que dan valor a la organización. Finalmente, se buscó representar gráficamente todos los elementos anteriormente descritos, destacando el logro de las competencias a través de etapas sucesivas que abarcan todas las dimensiones clave de la organización.

Resultados y discusión

Se presentan en este apartado los resultados de la investigación que son: la información obtenida en el autodiagnóstico que revela la situación actual del sector en la zona centro del país con respecto a su conocimiento y participación en temas de innovación industrial; un ejemplo comparativo de los modelos revisados para entender

y destacar la importancia de la propuesta; y la explicación detallada del modelo, su estructura, elementos que lo forman y su proceso de implementación.

Autodiagnóstico organizacional

- Perfil Empresarial

Los perfiles de las empresas que contestaron el cuestionario de autodiagnóstico corresponden en su totalidad a grandes y medianas empresas con 54 y 46% respectivamente, en su mayoría empresas del sector automotriz y las demás de los sectores de energía y petroquímica. El conocimiento y liderazgo en temas y conceptos de la industria 4.0 están concentrados en los mandos medios y altos de la estructura organizacional, los niveles más bajos solo tienen una idea general.

- Cultura, Estrategia y Organización

La mayoría de las empresas están conscientes del cambio tecnológico y tienen un cierto grado de conocimiento de los conceptos de la Industria 4.0. Con respecto a las estrategias digitales, un 26% de las empresas que no cuentan con una estrategia y un 33% está en planes para ello. Los grupos restantes estarían en escalamiento y estarían en solo algunas áreas de la empresa. Sobre la inversión en este tema; la mayoría ya está trabajando en ello, los que no, lo ven a mediano o largo plazo que van desde 2 a 5 años. La mayoría de los encuestados menciona que los retos a enfrentar son los costos, los esfuerzos para la implementación, el cambio cultural necesario en las empresas y la falta de formación y capacitación para los profesionales de la empresa.

- Uso de datos e incorporación en la cadena de valor

Los niveles de conectividad de sistemas son porcentajes bajos, situándolos en niveles básicos o procesos y servicios parcialmente conectados. Los procesos y servicios están conectados al interior de las organizaciones, pero con un porcentaje bajo hacia los demás actores de la cadena productiva como clientes y proveedores. Con casi un 70% las empresas utilizan su información generada para tomar decisiones.

- Proceso/Producto: Nivel de implementación de las tecnologías relacionadas a la Industria 4.0

Tecnologías como Inteligencia Artificial, Realidad aumentada, Blockchain, y Manufactura aditiva no se utilizan en el 70% de las empresas respondientes, solo un porcentaje menor si las utiliza, pero de forma parcial. La tecnología con mayor adopción fue la computación en la nube con un 86%, usada principalmente en el almacenamiento y recuperación de datos de sus procesos. Con respecto al Big Data el 53% utiliza los datos acumulados para llevar a cabo algunos experimentos para análisis. Con un 47% aparece el uso de sistemas ERP, CRM principalmente en procesos de contabilidad, ventas comerciales y logística. Actualmente el 53% de las empresas no utilizan materiales avanzados o inteligentes y 6% lo utilizan solo para prototipos y un 20% si utilizan multilaterales en sus procesos de fabricación.

- Talento: Nivel de preparación, habilidades y competencias del personal

La mayoría del personal de las empresas sólo cuenta con conocimientos generales de la industria 4.0, un 26% ya forma parte de algún proyecto donde se utiliza al menos una tecnología relacionada; sin embargo, también hay un alto porcentaje que no cuenta con estos conocimientos. Dentro de los conocimientos y habilidades detectados, destacan con un 75% en promedio los conocimientos técnicos y la gestión de la información. Los aspectos de trabajo colaborativo, visión estratégica y liderazgo destacan en el personal con un 60%. La capacitación y desarrollo de competencias del personal, el 66% lo harían de forma externa y el resto con un área interna de la organización.

Modelo de Competencias de la Industria 4.0 para la Transformación Digital de las Pymes Manufactureras

El Modelo contiene e integra los siguientes elementos:

A) Dimensiones de la transformación digital para un enfoque sistémico
   Las dimensiones consideradas serán la estrategia, las tecnologías, el talento y la cultura y organización, cada una corresponden a las áreas claves de la organización, que deben considerase cuando se inicia un proceso de transformación para asegurar que éste sea exitoso.
B) Fundamentos de la Industria 4.0
   La industria 4.0 describe la digitalización de sistemas y procesos industriales para conseguir una mayor flexibilidad en los procesos productivos, con la integración de tecnologías disruptivas …

C) Recursos y capacidades organizadas de acuerdo con cada dimensión del modelo.
Etapas secuenciales para obtener las competencias elementales que la organización desea alcanzar. La primera etapa constituye los recursos sobre los que se construyen las capacidades, es la más básica y relativamente fácil de obtener. La segunda etapa son las capacidades que son las habilidades que explotan los recursos, es de mayor complejidad, pero agrega mucho valor a la organización. La tercera y última etapa son las competencias a través de las cuales se realiza un trabajo sistemático formadas por el conocimiento y habilidades compartidas en toda la organización.

Gráficamente las dimensiones están representadas por cuadrantes, las etapas de recursos capacidades y competencias, por círculos concéntricos con líneas de dirección que indican el orden en que se transita a través de ellas, y en el núcleo del modelo el enfoque hacia la Industria 4.0. (Ver Figura 1).



Figura 1. Modelo de Competencias de la Industria 4.0 para la Transformación Digital de las Pymes Manufactureras. Elaboración Propia

En otra vista del modelo se muestran cuáles son esos recursos y capacidades de acuerdo con cada dimensión, con las que al menos la organización debe contar; éstas han sido analizadas, seleccionadas y planteadas dada su importancia y contribución al logro de las competencias ideales para que las pymes industriales se vuelvan inteligentes y conectadas (Ver Tabla 1).

- **Dimensión: Estrategia**

El primer cuadrante corresponde a la dimensión ESTRATEGIA. En este cuadrante se analiza la existencia y definición de estrategias digitales en las organizaciones que les haga ganar eficiencia, productividad, ventaja competitiva y diferenciación estratégica.

Recursos
Hace referencia a todos los recursos que posee la organización y que están definidos como las posesiones que le dan algún tipo de apalancamiento o ventaja en términos de sus actividades comerciales y posicionamiento en su sector.

Capacidades
Las capacidades estratégicas están estrechamente relacionadas con los procesos de planeación, implementación y evaluación del impacto de las estrategias; una capacidad es estratégica, si promueve cambios o tiene la potencialidad de hacerlo.

- **Dimensión: Tecnología**

En esta dimensión se abarca lo relacionado a la implementación de la tecnología en las organizaciones. Se revisan todos los elementos propios de la transformación digital que se deben considerar al implementar algún tipo de tecnologías en las organizaciones.

Recursos
Son todas aquellas tecnologías que para la industria 4.0 son relevantes, como por ejemplo hardware y software, comunicaciones, protocolos y sistemas de aplicación que estén integrados en sus procesos de negocio.

 ISSN: 2007 8102

Capacidades
Son la forma en que las empresas identifican, adoptan, usan, dominan y crean tecnologías, también como hacen uso de conocimiento nuevo o existente para la elaboración o mejora de nuevos productos. Las capacidades tecnológicas para este modelo se dividen en dos grupos principales: Las capacidades de la Industria 4.0 y las capacidades de producción. Las primeras que permiten adoptar los cambios tecnológicos y digitales derivados del avance continuo y progresivo de la industria 4.0. Las segundas van desde las habilidades básicas como control de calidad, hasta la operación y el mantenimiento.

- **Dimensión: Talento**

La dimensión TALENTO, busca la gestión de fuerzas de trabajo que integre intereses, modos de trabajo y fortalezas, aplicados a los procesos de contratación, formación, oportunidades e incentivos. Los talentos deben saber combinar conocimientos, destrezas, habilidades digitales particulares, pero también deben tener un amplio entendimiento de cómo funciona el negocio de la organización.

Recursos
Son los que corresponden específicamente a los recursos humanos de la organización en sus diferentes funciones y niveles de puesto. Como recursos de talento se considera el conjunto de trabajadores.

Capacidades
Son los conocimientos, experiencias y habilidades necesarias para ejecutar actividades o tareas de forma eficaz y eficiente que dan al empleado la oportunidad de realizar mejor sus funciones dentro de la organización. Los elementos esenciales de las capacidades humanas; para este modelo se forman por dos grandes grupos: los conocimientos y cualidades y las habilidades del personal.

- **Dimensión: Cultura y Organización**

Esta dimensión está enfocada hacer que las organizaciones consoliden una “cultura digital” para adaptarse de forma exitosa a la sociedad digital. Se busca promover le existencia de una cultura digital flexible y dinámica, modelos de negocio apropiados que fomenten la innovación y una adecuada adopción de tecnologías que potencien el proceso de transformación organizacional y digital.

Recursos
Están definidos por la forma en cómo se encuentra organizada su estructura laboral y toda la información y documentación de procesos, políticas y reglamentos. Los recursos abarcan toda la cultura organizacional como valores, códigos de conducta y filosofías de trabajo.

Capacidades
Son la principal fuente para la generación y desarrollo de la ventaja competitiva sustentable, por lo que son consideradas como factor crítico de éxito ya que es la acumulación colectiva de habilidades, conocimientos, y experiencias de los empleados dentro de la organización. Aquí se consideran las capacidades administrativas y organizacionales.

Competencias del modelo para la Industria 4.0

Una vez que las capacidades se han desarrollado adecuadamente y existe una sinergia entre ellas, es cuando se generan las competencias que dan valor a las organizaciones. En este nivel, las competencias deben estar integradas y permeadas en toda la organización, existiendo una mentalidad de transformación, en donde se generan capacidades que utilizan los recursos de forma estándar y sostenida. Las competencias obtenidas con la aplicación del modelo serán aquellas cualidades intrínsecas que la impulsan hacia el éxito económico, deben ser valiosas, inimitables e insustituibles y llevarla a un desempeño superior o ventaja competitiva sobre sus competidores (Ver Tabla 1). Las competencias planteadas por el modelo son:

- Experiencias excepcionales al cliente.
  - El cliente en el centro; es decir, existe una adaptación a sus necesidades buscando nichos de especialización en donde los productos ofrecidos les otorgan un mayor valor. La Pyme industrial es competente para adaptar el pensamiento, la actitud y el comportamiento en entornos cambiantes; alcanzando los objetivos de calidad y productividad.
- Alineación a la demanda
  - Orientada a conocer y satisfacer las necesidades de los clientes (internos y externos), con pronósticos claros para estar preparados a satisfacer la demanda presente y futura; implica contar con cadenas de suministro inteligentes, integradas y globales.

 ISSN: 2007 8102

- Visión integral de industria inteligente
  - Organizacionalmente funcionales y de trabajo en equipo, van un paso más delante de la competencia y tienen un seguimiento estricto al cumplimiento a su estrategia. La Pyme transmite esta visión a todos los niveles para que los proyectos sean pensados y diseñados en función de la transformación digital.
- Gestión sostenible
  - Los procesos y las personas son parte de la filosofía empresarial. Mejoran todas las formas de capital para crear valor, potencializan su desempeño e incorporan nuevos valores.
- Innovación
  - Autogestiona su aprendizaje de manera continua, utiliza diversos recursos digitales, para generar aprendizaje y/o transferir el conocimiento a otros.
- Talento Industrial
  - Conjunto de saberes adquiridos de tipo tecnológico (materiales, máquinas, componentes y sistemas) y organizacional (estructuras, valores y procesos). Perfiles de puestos altamente especializados.

COMPETENCIAS	Conocimiento y experiencias excepcionales al cliente, alineación a la demanda, visión integral de las actividades, innovación, gestión sostenible y talento industrial			
RECURSOS	**ESTRATEGIA**	**TECNOLOGIA**	**TALENTO**	**ORGANIZACIÓN**

	• Plan estratégico
	• Activos y Materiales
	• Financieros
	• Socios de negocio
	• Información Digital
		• Software y Aplicaciones de gestión
		• Tecnologías móviles
		• Protocolos de Comunicación
		• Sistemas Ciberfísicos y de Control
		• Servidores
		• Hardware
			• Directores generales y de operaciones
			• Especialistas en:
			  ○ Automatización de procesos
			  ○ Inteligencia artificial y aprendizaje automático
			  ○ Nuevas tecnologías I 4.0
			  ○ Desarrollo organizacional en entornos digitales
			  ○ Cultura organizativa y gestión de personas
			  ○ Capacitación y desarrollo
			  ○ Comercio electrónico y redes sociales
			  ○ Recursos humanos
			• Analistas y científicos de datos
			• Desarrolladores de software y aplicaciones de lenguajes de programación emergentes
			• Profesionales de la innovación
			• Expertos en experiencia de usuario y human-machine
			• Diseñadores de interacción e interfaces
			• Técnicos de la información al cliente y servicio al cliente
				• Estructura Transversal y funcional hacia la I4.0.
				• Reglamentos
				• Políticas
				• Guías
				• Documentación de Procesos
				• Derechos, Patentes y propiedades intelectuales
				• Normas y Estándares
				• Modelos de Madurez
				• Valores
				• Hábitos y costumbres
				• Filosofía
				• Clima Laboral
				• Códigos de conducta
				• Formas de integración y asociación

CAPACIDADES	**ESTRATEGIA**	**TECNOLOGIA**	**TALENTO**	**ORGANIZACIÓN**
	• Visión hacia la Industria 4.0 • Enfoque hacia el cliente y desarrollo de relaciones • Buena gestión de recursos • Adecuado conocimiento del sector manufacturero	• Ciberseguridad • Realidad Aumentada • Manufactura Aditiva • Big Data • Cómputo en la nube • Internet de las Cosas • Robótica • Logística y Distribución • Manufactura	• Procesamiento y análisis de datos • Conocimiento estadístico • Entendimiento organizacional • Conocimiento sobre seguridad y protección de datos • Conocimiento en procesos de fabricación • Programación informática	• Capacidades administrativas y organizacionales (relacionadas con la integración y coordinación de los recursos y las actividades que incluyen a las

 ISSN: 2007 8102

	• Implementación de prácticas de mejora continua • Modelos de negocio hacia la transformación digital • Detección de oportunidades y las amenazas • Reducción de costos • Adopción de estrategias • Adaptación a los cambios del mercado • Proyección de la organización en el futuro • Establecimiento de relaciones comerciales • Cuidado y potenciación de la marca • Innovación • Creación de alianzas y de cooperación • Mitigación de riesgos	• I+D	• Asuntos jurídicos • Ergonomía • Interfaces hombre-máquina • Comunicación y redes de datos • Sistemas de planeación • Orientación al resultado • Orden • Iniciativa • Pensamiento analítico • Pensamiento conceptual • Creatividad, • Espíritu emprendedor • Gestión de proyectos • Liderar con propósito • Moverse con flexibilidad ante los cambios • Aprender y enseñar a otros • Influenciar e impactar en su entorno • Colaborar de forma ágil en los equipos • Comunicar con propósito y respeto	capacidades funcionales)

Tabla 1. Modelo Detallado. Elaboración Propia

Proceso de implementación

Una vez que se ha conceptualizado el Modelo de Competencias de la Industria 4.0 para la Transformación Digital de las Pymes Manufactureras, la siguiente tarea es establecer un procedimiento metodológico para aplicarlo en las industrias de este sector. El procedimiento consiste en una serie de pasos para que las organizaciones reconozcan y adopten sus recursos y capacidades de acuerdo con cada perspectiva o cuadrante del modelo. Es decir, que tengan un instrumento ágil de análisis que los impulse a lograr las competencias necesarias para ser una industria digitalizada y tengan un correcto abordaje de la transformación digital y la industria 4.0.

El procedimiento metodológico contempla tres fases con actividades específicas que se aplicarán por cada cuadrante, recordando que cada cuadrante o dimensión del Modelo es el conjunto de procesos que abordan la misma área general de actividad dentro de una organización.

La primera fase es la inducción, que consiste en explicar el contexto y conceptualización del modelo con respecto al cuadrante en cuestión, su función, su estructura, los elementos que lo forman y sus aportaciones. De igual forma se explica cómo se realiza el análisis y valoración de la Pyme bajo cada enfoque.

La segunda fase es el análisis de la organización con respecto a los planteamientos del modelo para cada cuadrante. En este paso se identifican y reconocen los recursos y capacidades de las Pymes comparándolos contra los recursos y capacidades descritos.

La tercera fase es la construcción de indicadores para mostrar los resultados obtenidos como una primera percepción de la posición de la organización frente a la industria 4.0. Es una valoración otorgada por el modelo con respecto a sus recursos y capacidades, a partir de la cual, la organización puede determinar la mejor forma de abordar la transformación digital, de acuerdo con sus necesidades y prioridades.

Análisis comparativo con otros modelos

Los modelos de transformación digital existentes proponen, en su mayoría, diferentes elementos para conseguirla como fases, conceptos, enfoques, validaciones y hojas de ruta; sin embargo, estos modelos presentan algunas particularidades que los hacen complejos o no son viables para su implementación. Los más conocidos están planteados por consultoras de renombre y generalmente están pensados para grandes organizaciones o para aquellas que tienen muchos recursos financieros y materiales. De igual forma, ciertos modelos se plantean de manera genérica y no para un sector en particular; algunos otros pueden tener las dimensiones de la transformación digital pero no están orientados a la industria 4.0 o no tienen un orden para la identificación de las capacidades y otros tantos proponen una ruta a seguir, pero no contemplan las dimensiones de la transformación

 ISSN: 2007 8102

digital, entre otras diferencias. Sin embargo, se pudieron establecer las características más destacadas para que a partir de ahí se pudieran determinar las particularidades del modelo propuesto. En la Tabla 2 se muestran algunos ejemplos:

Modelo de Competencias de la Industria 4.0 para la Transformación Digital de las Pymes Manufactureras	**Industry 4.0 Maturity Model**	**Digital Operations Self-Assessment (PwC)**	**Digitalization Maturity Model for the Manufacturing Industry**	**Maturity Model for Industrial Internet**
• Cuatro dimensiones • Enfocado a Pymes • Enfocado a la I4.0 • Sin niveles de madurez • Método de evaluación • Abarca todas las áreas de la organización • Contiene recursos, capacidades y competencias • Sencillo	• Nueve dimensiones • Centrado en empresas manufactureras • Principalmente empresas multinacionales • Niveles de madurez para cada dimensión • No hay enfoque específico a la I4.0 • Método de evaluación con cuestionario	• Siete dimensiones • Orientado a grandes empresas • Se centra en la digitalización. • Niveles de madurez • Proceso de implementación piloto • Enfoque I4.0	• Nueve dimensiones • Se centra en la industria manufacturera pero solo a la cadena de suministro • Descripción detallada de • 90 áreas de proceso. • No hay enfoque específico a la I4.0 • No tiene método de evaluación.	• Sin dimensiones • Para la industria manufacturera, pero se centra en la adopción de IoT • Cinco niveles de madurez • No tiene método de evaluación

Tabla 2. Ejemplo de análisis comparativo de modelos. Elaboración propia

Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro queda la evaluación del modelo por parte de las empresas a las que se les hizo el autodiagnóstico que puede realizarse a través de una entrevista y con el apoyo de una encuesta. La evaluación se propone en tres vertientes:

- Conceptualización: es entendible, fácil de interpretar, son correctas las dimensiones evaluadas, etc.
- Proceso de implementación: si es factible, existen riesgos, cuáles son las prioridades, etc.
- Impacto: Es útil para la organización, responde a las necesidades de su transformación digital, oportuno

Conclusiones

Con la realización de esta investigación se pueden destacar los siguientes aspectos:

El análisis autodiagnóstico complementa y aporta información importante acerca las diferencias y coincidencias con respecto al estado que guarda la Transformación Digital e Industria 4.0 en los diferentes estados del país. El ejercicio amplió el conocimiento con respecto al acceso, utilización y capacidad de aprovechamiento de las tecnologías de información por parte de las Pymes manufactureras de los estados de Veracruz, Puebla y San Luis Potosí, sirviendo de base para para tener un correcto dimensionamiento de sus necesidades y a partir de ahí hacer el planteamiento del modelo.

Con respecto al modelo, se propone como un marco de trabajo ágil y sencillo para este sector, que les permita reconocer, analizar y desarrollar los recursos, capacidades y competencias presentes en su organización y apoyarlos en la implementación de su proceso de adopción de la Industria 4.0. Es una orientación de los esfuerzos necesarios a realizar para cada dimensión planteada en temas de profesionalización de colaboradores, adopción de estructuras organizativas innovadoras, un manejo eficiente de las funciones de trabajo, mayor capacidad de acción en la toma de decisiones, trabajo colaborativo, entre otras. Como se dijo anteriormente, transformarse digitalmente implica grandes esfuerzos, especialmente para las pequeñas y medianas empresas; sin embargo, el Modelo de Competencias de la Industria 4.0 para la Transformación Digital de las Pymes manufactureras les permite un reconocimiento y aplicación de todos los factores que les aseguran una implementación exitosa.

Sin duda, La Industria 4.0 es una de las grandes tendencias tecnológicas de los últimos años cuya importancia y aplicación va en aumento al incorporar a la industria tecnologías digitales habilitadoras para lograr que todos los elementos de la cadena de valor -proveedores, procesos de producción, clientes y logística-, se encuentren automatizados e interconectados. Toda iniciativa o propuesta de transformación e innovación de procesos, servicios, productos, cadenas de valor, estructuras, cultura y talento vale la pena desarrollarlas.

 ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] I. N. de E. y Geografía (INEGI), «Censos Económicos 2019. CE», *Censos Económicos 2019. CE*, 2020. https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/ (accedido 4 de julio de 2023).
[2] «Encuesta sobre el Impacto Económico Generado por COVID-19 en las Empresas (ECOVID-IE)». https://www.inegi.org.mx/programas/ecovidie/#Documentacion (accedido 4 de julio de 2023).
[3] P. Agrawal, R. Narain, y I. Ullah, «Analysis of barriers in implementation of digital transformation of supply chain using interpretive structural modelling approach», *JM2*, vol. 15, n.º 1, pp. 297-317, oct. 2019, doi: 10.1108/JM2-03-2019-0066.
[4] M. Esteller-Cucala, V. Fernandez, y D. Villuendas, «Towards data-driven culture in a Spanish automobile manufacturer: A case study», *JIEM*, vol. 13, n.º 2, p. 228, may 2020, doi: 10.3926/jiem.3042.
[5] G. Büchi, M. Cugno, y R. Castagnoli, «Smart factory performance and Industry 4.0», *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 150, p. 119790, ene. 2020, doi: 10.1016/j.techfore.2019.119790.
[6] A. I. Peña Montes de Oca, «Modelo de Innovación Administrativa como estrategia para el mejoramiento en PyMES», Coloquio de Investigación Multidisciplinaria 2022: Journal CIM, oct. 2022.
[7] A. Jerman, M. Pejić Bach, y A. Aleksić, «Transformation towards smart factory system: Examining new job profiles and competencies», *Syst Res Behav Sci*, vol. 37, n.º 2, pp. 388-402, mar. 2020, doi: 10.1002/sres.2657.
[8] B. Valderrama, «Transformación digital y organizaciones ágiles», *Revista Científica Internacional*, vol. Vol. VI, n.º Número 1, 2019.
[9] D. Sehlin, M. Truedsson, y P. Cronemyr, «A conceptual cooperative model designed for processes, digitalisation and innovation», *IJQSS*, vol. 11, n.º 4, pp. 504-522, dic. 2019, doi: 10.1108/IJQSS-02-2019-0028.
[10] A. Schumacher, T. Nemeth, y W. Sihn, «Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises», *Procedia CIRP*, vol. 79, pp. 409-414, 2019, doi: 10.1016/j.procir.2019.02.110.
[11] A. T. Sufian, B. M. Abdullah, M. Ateeq, R. Wah, y D. Clements, «A Roadmap Towards the Smart Factory», en *2019 12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)*, Kazan, Russia: IEEE, oct. 2019, pp. 978-983. doi: 10.1109/DeSE.2019.00182.
[12] F. Zaoui y N. Souissi, «Roadmap for digital transformation: A literature review», *Procedia Computer Science*, vol. 175, pp. 621-628, 2020, doi: 10.1016/j.procs.2020.07.090.
[13] F. Ponsignon, S. Kleinhans, y G. Bressolles, «The contribution of quality management to an organisation's digital transformation: a qualitative study», *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 30, n.º sup1, pp. S17-S34, sep. 2019, doi: 10.1080/14783363.2019.1665770.
[14] W. Reim, J. Åström, y O. Eriksson, «Implementation of Artificial Intelligence (AI): A Roadmap for Business Model Innovation», *AI*, vol. 1, n.º 2, pp. 180-191, may 2020, doi: 10.3390/ai1020011.
[15] E. L. Alvarez-Aros y C. A. Bernal-Torres, «Technological competitiveness and emerging technologies in industry 4.0 and industry 5.0», *An. Acad. Bras. Ciênc.*, vol. 93, n.º 1, p. e20191290, 2021, doi: 10.1590/0001-3765202120191290.
[16] J. González-Varona, A. López-Paredes, D. Poza, y F. Acebes, «Building and development of an organizational competence for digital transformation in SMEs», *JIEM*, vol. 14, n.º 1, p. 15, ene. 2021, doi: 10.3926/jiem.3279.
[17] J. Miranda Torrez, «El Modelo de las Capacidades Dinámicas en las Organizaciones», *IA*, vol. 44-2, pp. 1-19, jul. 2015, doi: 10.35426/IAv44n116.05.
[18] A. García Velázquez, A., D. P. Pineda Domínguez, D., y M. A. Andrade Vallejo, M. A., «Las capacidades tecnológicas para la innovación en empresas de manufactura», *rev.univ.empresa*, vol. 17, n.º 29, pp. 257-278, mar. 2016, doi: 10.12804/rev.univ.empresa.29.2015.11.
[19] I. J. González-Hernández y R. Granillo-Macías, «Competencias del ingeniero industrial en la Industria 4.0», *REDIE*, vol. 22, pp. 1-14, dic. 2020, doi: 10.24320/redie.2020.22.e30.2750.
[20] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, y P. Baptista Lucio, *Metodología de la investigación*, 6a ed. México: McGraw-Hill., 2014.
[21] «Nuevo León 4.0 | Gobierno del Estado de Nuevo León». https://www.nl.gob.mx/publicaciones/nuevo-leon-40 (accedido 17 de julio de 2023).

ISSN: 2007 8102

Bioenergía urbana viable: pellets de muérdago a partir de podas de árboles en León, Guanajuato

A. Guerrero Barranco[1], A. Aguilar Ortega[1], D. Orona Tamayo[1] , E. Quintana Rodríguez[1], J. de J. Esparza Claudio[1],*
[1]Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC), León, Guanajuato.
**aguerrero@ciatec.mx*

Área de participación: *Ingeniería Administrativa*

Resumen

Ante una demanda creciente de fuentes de energía procedentes de combustibles sustentables, los biocombustibles sólidos, obtenidos a partir de biomasa, representan una alternativa razonable para satisfacer dicha demanda. El presente trabajo evalúo la factibilidad económica de producir un biocombustible en forma de pellets, elaborados a partir de la poda de árboles urbanos infectados con muérdago. Ello para una capacidad operativa de procesamiento de podas de 700 kg/día. Para lo cual, se determinaron los indicadores financieros: valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR), periodo de retorno y punto de equilibrio. Los resultados mostraron un VPN de $13,859, TIR de 12.6%, periodo de retorno de 3.18 años y punto de equilibrio de 295 costales mensuales, equivalente a $ 36,880.50. Los indicadores financieros obtenidos ofrecen datos favorables sobre la viabilidad de la producción de pellets a partir de podas de muérdago a pequeña escala.

Palabras clave*: Factibilidad financiera, factibilidad económica, pellets energéticos, podas de muérdago.*

Abstract

In light of the growing demand for energy sources which are based on sustainable fuels, solid biofuels derived from biomass represent a reasonable alternative to meet such a need. This work aimed to evaluate the economic feasibility of producing a biofuel in the form of pellets, which were produced from the residues of the pruning of urban trees that exhibit signs of infection with mistletoe. This analysis was carried out considering an operational capacity for processing 700 kg/day. Financial indicators such as net present value (NPV), internal rate of return (IRR), return period and break-even point were determined. The results showed positive numbers: NPV: $13,859, IRR: 12.6%, return period: 3.18 years, and break-even point: 295 sacks per month (equivalent to $36,880.50). The obtained values of the financial indicators offer favorable data on the feasibility of pellet production from this type of biomass on small scale production capacity.

Key words*: Financial feasibility, economic feasibility, energetic pellet, mistletoe pruning.*

Introducción

En las ciudades, los espacios verdes son un componente de la estructura urbana que provee servicios ambientales importantes a la población como son la generación de oxígeno, reducción de contaminantes y la regulación de la temperatura. Por ello, es deseable que las zonas urbanizadas cuenten con amplios espacios dedicados a parques y jardines. El arbolado urbano es un elemento fundamental de los espacios verdes de una ciudad. Los árboles ofrecen grandes beneficios como excelentes filtradores de polvo y partículas contaminantes: humo y diversos materiales generados por la actividad en la ciudad y el desgaste de su infraestructura (polvo urbano). También, absorben gases contaminantes, enfrían el aire 2 a 8 °C [1] (reducen la necesidad de aire acondicionado), amortiguan la precipitación pluvial y regulan el flujo del agua, aumentan el valor de las propiedades y mejoran la salud física y mental de las personas.

 ISSN: 2007 8102

Así, resulta razonable la creciente preocupación de la sociedad por cuidar los espacios verdes y, especialmente, los árboles urbanos (ciudades sustentables). Ello a través de grupos de personas y asociaciones civiles que, en sus esfuerzos por cuidar el arbolado de las ciudades, han identificado enfermedades de los árboles que pueden dejarlos sin agua y nutrientes. El muérdago es un tipo de plaga que consiste en plantas parásitas que afectan progresivamente a los árboles hasta causarles la muerte [2]. En la Ciudad de León, Guanajuato, se estima que el arbolado ha sido afectado por la plaga de muérdago hasta en un 60% [3].

Para controlar dicha plaga (infección), las asociaciones civiles locales realizan trabajos de poda, a través de los cuales, corta las ramas infectadas de los árboles para evitar la expansión del muérdago. Dicha tala selectiva de las partes dañadas de los árboles genera cantidades considerables de residuos de podas, que se pueden aprovechar (revalorizar) mediante su utilización como materia prima para la producción de un biocombustible sólido; lo cual, ha sido demostrado mediante ensayos experimentales y medición de variables de respuesta [4].

El biocombustible sólido obtenido a partir de los residuos de poda (ramas infectadas con muérdago) se conforma de una masa de cilindros milimétricos formados mediante el triturado, compactado y secado de los residuos de poda (pellets). Estos pellets energéticos, son considerados como un biocombustible sustentable que representa una alternativa de características renovables. Si bien, en México el mercado de venta de pellets en muy bajo, las tendencias en otros países muestran una aplicación extendida. Tal es el caso de la comunidad europea, donde el uso de estos biocombustibles presenta una demanda enorme en diversas aplicaciones como en calefacción, en la industria, en estufas y hasta en combustible para alimentar centrales termoeléctricas [5] [6] [7]. De igual forma, se observa una tendencia creciente en la demanda de este tipo de productos energéticos, provenientes de residuos de biomasa, en países que se encuentran en vías de desarrollo, como Ghana [8] e India [9]. En el caso de México, esta alternativa energética se identifica como un mercado en proceso de desarrollo y con un amplio potencial para la implementación de las múltiples aplicaciones citadas [10].

En este contexto, se puede considerar que México es un mercado joven para este tipo de productos, pues en todo el país existen, actualmente, sólo dos empresas que producen pellets. Así, ante los beneficios evidentes de dicho biocombustible y, en contraste, su incipiente aprovechamiento, surge la necesidad de conocer los retos económicos y financieros de un emprendimiento de tal naturaleza. Por ello, el presente estudio tiene por objeto verificar la viabilidad económica de la fabricación de un producto energético en forma de pellet, a partir del residuo de podas urbanas de muérdago, y validar su rentabilidad.

Metodología

El estudio de factibilidad para la evaluación de la viabilidad de inversión del proyecto propuesto se realizó, habiendo determinado los costos, con un enfoque centrado en la aplicación de las principales herramientas de evaluación de proyectos, como son: Flujo de efectivo, Valor presente neto, Tasa interna de retorno, Periodo de recuperación y Punto de equilibrio, que se describen a continuación.

Estimación de la inversión fija (CAPEX)

La estimación del costo de inversión (CAPEX) se determinó por medio de la cotización directa de proveedores de equipos. La cotización se realizó únicamente para los equipos principales del procesamiento del pellet. Para los equipos y accesorios menores, se aplicaron valores de precios de lista.

Estimación del costo de operación (OPEX)

Previo a realizar el estimado de costo de operación, inicialmente, se determinó el rendimiento por kilogramo de residuo procesado a través de pruebas de producción del pellet a nivel laboratorio, aplicando la siguiente formula:

$$R = \frac{MP}{PT} * 100$$

Donde:

R = Rendimiento
MP = Materia prima ingresada (kg)
PT = Producto terminado (kg)

 ISSN: 2007 8102

Para el caso de análisis, la materia prima corresponde al residuo de las podas de muérdago, y el producto terminado, al biocombustible en forma de pellet.

En el proceso de peletizado, se determinó el consumo de energía por kilogramo mediante la medición directa del tiempo de procesamiento, y de la energía consumida en un lapso de tiempo determinado. Para el consumo de energía de los demás equipos involucrados, se realizó una estimación basada en el consumo energético nominal del equipo.

Una vez determinado el consumo de energía, se calculó el costo de energía tomando como base el costo de energía eléctrica reportado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) que es de 1.8023 $/kwh para una tarifa de Gran Demanda Media Tensión Horaria de la zona del Bajío mostrada en la tabla1 [11]. El calculó de la energía se realizó para el procesamiento de 100 kilogramos diarios de podas de muérdago.

Tabla 1. Tarifa energía eléctrica GDMTH del Bajío (Enero 2023) [11]

Concepto	Unidad	Tarifa
Consumo intermedio	$kw/h	1.8023
Fijo	$/mes	304.99
Distribución	$/kw	101.35
Capacidad	$/kw	376.68

Se determinó el costo de mano de obra considerando que para realizar todo el proceso de producción se requiere de dos operadores, y de dos vendedores para la venta y distribución del producto.

No se consideró gastos administrativos, ya que el modelo de negocios contempla la actividad principal de los podadores y esta inversión una operación adicional a su actividad.

Evaluación económico - financiera

La evaluación económica se realizó por medio de proyecciones a cinco años de los ingresos y los egresos. Con estos valores, se realizó la estimación del flujo neto de efectivo para cada año. Los resultados se tabularon en un formato de estado de resultados.

La evaluación financiera fue realizada con base al cálculo de indicadores financieros: Valor presente neto (VPN), Tasa interna de retorno (TIR) y Periodo de recuperación de la inversión (PRI).

El valor presente neto (VPN) fue determinado tomando como base las proyecciones de los flujos de efectivos estimadas y la inversión fija (CAPEX) determinada previamente, para lo cual, se utilizó la siguiente formula [12] [13]:

$$VPN = \sum_{n=1}^{t} \frac{Fn}{(1+i)^n} + I_0$$

Donde:

VPN = Valor presente neto
Fn = Flujo neto de efectivo para el periodo t
i = tasa de descuento
t = periodo
I_0 = Inversión inicial, es un término que se resta por ser salida de recursos

La tasa interna de retorno (TIR) fue calculada tomando como tasa referencia la tasa mayor consultada el día 28 de junio del 2023, que fue la tasa interna interbancaria (TIIE) a 26 semanas, que estaba pagando un interés de 11.5675 porcentual [14]. Con este valor se determinó la TIR con la siguiente formula [13]:

 ISSN: 2007 8102

$$0 = \sum_{n=1}^{t} \frac{Fn}{(1+TIR)^n} + I_0$$

Donde:

TIR = Tasa interna de retorno
Fn = Flujo neto de efectivo para el periodo t
t = periodo
I_0 = Inversión inicial, es un término que se resta por ser salida de recursos

Periodo de retorno de la inversión

El periodo de retorno de la inversión y del capital de trabajo inicial se determinó sumando los ingresos netos actualizados al periodo cero hasta igualar la inversión [12] [13].

Nivel mínimo de ventas

El nivel mínimo de ventas fue determinado con base en el concepto del punto de equilibrio. Éste determina cual es el mínimo de producto a vender para no tener ni perdidas ni ganancias. Así, se realizó el cálculo para determinar la cantidad mínima de pellets que se requiere vender, mediante la siguiente formula:

$$Qu = \frac{CF}{P - CV}$$

Donde:

Qu = Punto de equilibrio
CF = Costos fijos
P = Precio de venta
CV = Costo variable unitario

El punto de equilibrio, también, se determinó como su equivalente en ingresos económicos. Ello mediante la multiplicación de las unidades determinadas por la formula anterior por el precio de venta.

Resultados y discusión

Estimación de la inversión fija (CAPEX)

Para una capacidad de procesamiento de 100 kilogramos por día de residuos de podas de muérdago, se estimó una inversión inicial en adquisición de maquinaria de $ 445,856.00, desglosado como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Inversión fija (CAPEX)

Conceptos	Cantidad	Costo unitario	Costo equipo	Instalación	Total
Trituradora	1	$ 134,863	$ 134,863	$ 13,486	$ 148,349
Molino	1	$ 196,284	$ 196,284	$ 19,628	$ 215,912
Pelletizadora	1	$ 66,838	$ 66,838	$ 6,684	$ 73,522
Báscula	1	$ 4,176	$ 4,176	$ 418	$ 4,594
Cerrador de sacos	1	$ 3,480	$ 3,480		$ 3,480
Total			$ 405,640	$ 40,216	$ 445,856

 ISSN: 2007 8102

Estimación del costo de operación (OPEX)

Bajo el supuesto de que el tiempo máximo de operación de los equipos es un lapso de tiempo de 8 horas, y solo se trabajara en un solo turno de producción, se determinó un costo de energía variable de $1,100.00. Cabe señalar que, al estar procesando un residuo, se considera que éste, no tiene un valor económico actualmente. Así, se estimó un valor de costos variables de $18,269.00 mensuales, desglosados como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Costos variables

Concepto	Cantidad		Costo unitario	Unidad	Total mensual
Podas de muérdago	700	Kg/d	0	$/kg	$ 0
Costo de electricidad	8.0	Hr	1.80	$/kwh	$ 1,100
Costal	491	Pza	35.00	Pza	$ 17,185
Total					$ 18,269

Dado que la capacidad de operación es para procesar 700 kg diarios de materia prima (residuos), se considera que sólo se requiere de dos operadores para realizar todo el proceso de producción, y dos personas más para realizar la venta (tomando en cuenta que la cantidad de producto a vender es poca). También se contempló un gasto por servicios, donde se incluye la parte de la tarifa fija por costo de energía. Estos costos están desglosados como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Costos fijos

Concepto	Costo mensual
Vendedores	$ 12,446
Operadores (2 por turno)	$ 12,446
Servicios	$ 1,000
Costo total	$ 25,893

Flujos netos de efectivo

Las proyecciones de flujo de efectivo que se obtuvieron resultaron positivas, como se muestra en la Tabla 5. Para dicha proyección, se consideró como referencia el precio de venta del pellet en Europa el cual ronda los 6.00 euros el costal de 15 kg ($124.68 MXN) [15] por lo que se fijó un precio de venta de $ 125.00 por 15 kg en la presentación en forma de costal. Sólo para efectos de estimación, se consideró como porcentaje fijo el ISR en 30% y el PTU en 10%.

Tabla 5. Proyección de la estimación de flujos de efectivo

Conceptos	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos por ventas	$ 696,792	$ 731,631	$ 768,213	$ 806,623	$ 846,955
Costos de producción	$ 357,143	$ 371,429	$ 386,286	$ 401,738	$ 417,807
Utilidad bruta	$ 339,648	$ 360,202	$ 381,926	$ 404,886	$ 429,147
Gastos de administración, ventas y otros	$ 161,357	$ 167,811	$ 174,524	$ 181,504	$ 188,765
Utilidad de operación	$ 178,291	$ 192,391	$ 207,403	$ 223,381	$ 240,383
Gastos financieros	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
Depreciación	$ 44,586	$ 46,815	$ 49,156	$ 51,613	$ 54,194
Utilidad antes de impuestos	$ 133,706	$ 145,576	$ 158,247	$ 171,768	$ 186,189
PTU (10%)	$ 13,371	$ 14,558	$ 15,825	$ 17,177	$ 18,619
ISR (30%)	$ 40,112	$ 43,673	$ 47,474	$ 51,530	$ 55,857

 ISSN: 2007 8102

Utilidad neta después de impuestos	$ 80,223	$ 87,346	$ 94,948	$ 103,061	$ 111,713
Depreciación	$ 44,586	$ 46,815	$ 49,156	$ 51,613	$ 54,194
Flujo neto de efectivo	$ 124,809	$ 134,161	$ 144,104	$ 154,674	$ 165,907

Como se observa en los resultados de las proyecciones de flujo de efectivo, los valores encontrados son positivos, lo que indica que, si se alcanza la venta total del producto, se tendrán ganancias. Esto es un primer indicador que muestra que la operación genera un margen de rentabilidad.

Indicadores financieros

Los principales indicadores para evaluar la factibilidad del proyecto y la rentabilidad son la determinación del valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR). En el primer caso, se obtuvo un valor positivo de $13,859. Para la TIR un valor de 12.6%.

El valor positivo del VPN indica que la inversión inicial será recuperada dentro de los cinco años considerados en la realización de la proyección. Con respecto a la TIR, se observa que es mayor que la tasa de descuento, 11.56%. Con la cual se realiza la comparación. Ello indica que la realización del proyecto es rentable.

Estos resultados indican que la evaluación del proyecto es positiva, pues ambos indicadores cumplen el criterio de aceptación para un proyecto de inversión.

La determinación del periodo de retorno de la inversión resultó en un periodo de 3.18 años, como se muestra en la tabla 6. Este resultado representa un valor de tiempo de recuperación de la inversión que es aceptable, y que respalda la viabilidad del proyecto de inversión.

Tabla 6. Periodo de retorno de la inversión (PRI)

Concepto	Ingreso actualizado	Acumulado de ingreso
Inversión inicial	-$ 505,473	
Año uno	$ 124,809	$ 124,809
Año dos	$ 134,161	$ 258,970
Año tres	$ 144,104	$ 403,074
Año cuatro	$ 154,674	$ 557,748
Año cinco	$ 165,907	$ 723,655

Punto de equilibrio

Si bien no es un indicador propiamente para la evaluación de un proyecto, el conocimiento de la meta mínima de venta es un factor relevante que puede indicar si el objetivo de mantener este nivel de venta es alcanzable con los recursos disponibles. Para este caso, el valor determinado corresponde a la venta de 295 costales mensuales, equivalente a un ingreso de venta mensual de $ 36,880.50.

 ISSN: 2007 8102

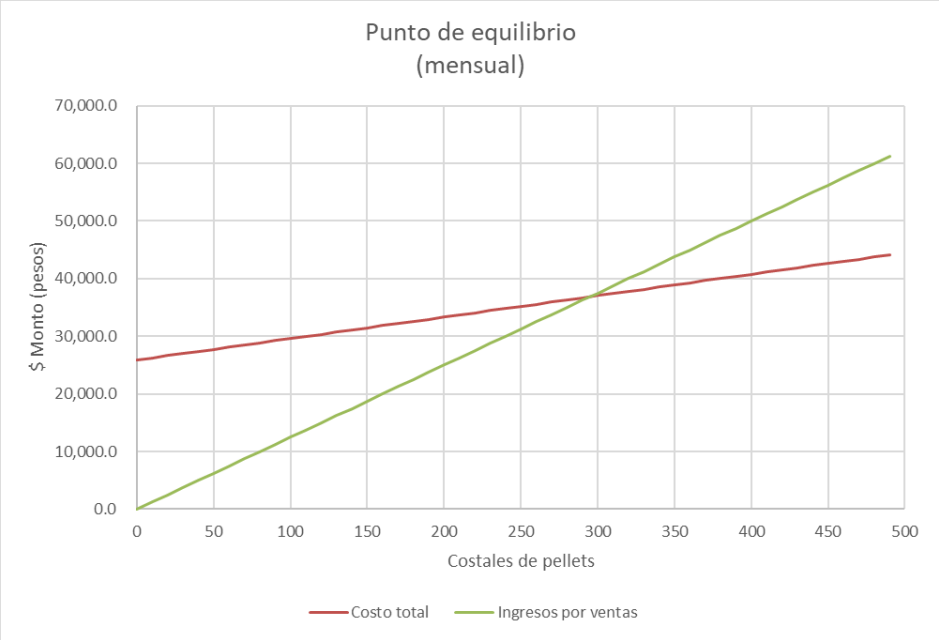


Figura 1. Punto de equilibrio

Discusión

El periodo de retorno obtenido de 3.18 años para el tamaño de la escala de producción se considera un resultado aceptable (700 kg/d). Ello porque, en comparación, por ejemplo, con la producción de pellets a partir de residuos de canola, se obtuvo un periodo de retorno de entre 2.7 – 3.1 años, que es menor pero dependiente de una escala notablemente superior, 120 toneladas por día [16]. También, respecto de otros residuos de talas y cortezas, que no resultaron viables financieramente por el alto costo de producción del pellet [6], el residuo de podas de muérdago ofrece una clara ventaja competitiva, pues su uso como materia prima ofrece resultados positivos del VPN y del TIR. Ello por ser un residuo que no tiene costo de adquisición. En contraste, los pellets fabricados de residuos agrícolas, que presentan un costo por la biomasa, significan el 54% del costo de producción [17].

Trabajo a futuro

Si bien los resultados son positivos e indican que la viabilidad del proyecto es aceptable, uno de los principales factores para que esto suceda es alcanzar los niveles de venta indicados en las proyecciones. Por eso, el siguiente paso es evaluar el mercado de tal forma que se pueda identificar con claridad el segmento de clientes y validar la existencia de una demanda del producto.

En complemento, se considera necesario desarrollar un modelo de negocios que ayude a identificar todos los factores involucrados en la generación de un nuevo negocio. Esto es, definir adecuadamente la propuesta de valor y los canales de distribución, entre otros factores determinantes del éxito de este proyecto.

Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos, se puede identificar que la revalorización de residuos de podas de muérdago, como un biocombustible energético en forma de pellet, tiene el potencial de ser un producto que puede generar valor económico con su venta. Lo cual favorece la generación recursos económicos que ayuden a financiar el trabajo de podas de muérdago del arbolado urbano de la ciudad de León, Guanajuato, y contribuir a salvar más árboles y, en consecuencia, generar un impacto positivo en el ambiente urbano.

La conclusión del estudio es que los resultados de factibilidad económica-financiera del proyecto son satisfactorios. Por lo cual, se recomienda su implementación para producir pellets energéticos a partir de un residuo urbano, como una oportunidad para generar ingresos y preservar el arbolado urbano de la ciudad con una perspectiva de sostenibilidad.

Agradecimientos

Agradecemos al Instituto de Innovación, Ciencia y Emprendimiento para la Competitividad del Estado de Guanajuato (IDEA-GTO) por el apoyo financiero para la realización de este trabajo (proyecto: IDEAGTO/CONV/044/2021) y al Arquitecto Antonio Abúndez Chávez, fundador de la asociación “Mezquite sin Muérdago A.C. por su apoyo y colaboración en los muestreos de muérdago.

Referencias

[1] ONU Habitat, «ONU Habitat por un mejor futuro urbano,» Mayo 2019. [En línea]. Available: https://onuhabitat.org.mx/index.php/siete-grandes-beneficios-de-los-arboles-urbanos. [Último acceso: 26 Julio 2023].

[2] M. Fernandez Aparicio, P. Delavault y M. P. Timko, «Management of infection by parastitic weeds: A review,» *Plants,* vol. 9, p. 1184, 2020.

[3] C. Chagoya, «Plaga de muérdago afecta entre un 50 y 60% de los árboles en León,» *El Heraldo,* 26 Junio 2023.

[4] P. Aguilar Hernández, E. Quintana Rodríguez, A. Guerrero Barranco, L. Amaya Delgado y D. Orona Tamayo, «Pellets energéticos obtenidos de podas de muérdago Struthanthus interruptus,» *Coloquio de Investigación Multidisciplinaria 2022,* vol. 10, nº 1, pp. 1082 - 1089, 2022.

[5] L. Stofova, P. Szaryszova y B. Mihalcova, «Testing the bioeconomic options of transitioning to solid recovered fuel: A case study of a thermal power plant in Slovakia,» *Energies,* vol. 14, 2021.

[6] A. Pantaleo, M. Villarini, A. Colantoni, M. Carlini, F. Santoro y S. Rajabi Hamedani, «Techno-Economic modeling of biomass pellet routes feasibility in Italy,» *Energies,* vol. 13, 2020.

[7] F. J. Pacheco Román, M. G. Ortiz Gallardo, G. M. Gómez Alvarado, M. E. Padilla Reyes, C. Rivera Villa y M. Reséndiz Cerón, «Reporte de inteligencia tecnológica - Biocombustibles sólidos,» IMP - SENER - Fondo de Sustentabilidad Energética, CDMX, 2017.

[8] S. Kosi Mawusi, P. Shrestha, C. Xue y G. Liu, «A comprehensive review of the production, adoption and sustained use of biomass pellets in Ghana,» *Heliyon,* vol. 9, 2023.

[9] P. Purohit y V. Chaturvedi, «Biomass pellet for power generation in India a techno-economic evaluation,» *Environmental Science and Pollution Research,* 2018.

[10] C. Rivera Villa, M. Ortiz Gallardo, H. Moreno Vásquez, G. Gómez Alvarado, A. González Ortiz y M. Reséndiz Cerón, «Cartera de necesidades de innovación y desarrollo tecnológico - Biocombustibles Sólidos,» IMP-SENER-Fondo de Sustentabilidad Energética, CDMX, 2017.

[11] CFE, «Industria - Tarifas,» [En línea]. Available: https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCREIndustria/Tarifas/GranDemandaMTH.aspx. [Último acceso: 30 Enero 2023].

[12] M. Córdoba Padilla, Formulación y evaluación de proyectos, Bogotá, D.C.: ECOE Ediciones, 2011.

[13] J. Carbonel Valdivia, Formulación y evaluación de proyectos de inversión, Lima: Macro, 2015.

[14] Banxico, «Portal del mercado de valores,» [En línea]. Available: https://www.banxico.org.mx/tipcamb/main.do?page=tas&idioma=sp. [Último acceso: 28 Junio 2023].

[15] E-ficiencia, «Pellets precio 2023 según asociación AVEBIOM,» 06 Septiembre 2022. [En línea]. Available: https://e-ficiencia.com/precio-de-pellets-actualizado/. [Último acceso: 23 Junio 2023].

[16] S. Tumpa R., G. Cataneda S., B. Venu Babu, M. Venkatesh y D. Ajay K., «Techno-economic analysis of torrefied fuel pellet production from agricultural residue via integrated torrefaction and pelletization process,» *Heliyon,* vol. 9, 2023.

ISSN: 2007 8102

[17] M. Ebadian, S. Sokhansanj, D. Lee, A. Klein y L. Townley-Smith, «Evaluating the economic viability of agricultural pellets to supplement the current global wood pellets supply for bioenergy production,» *Energies,* vol. 14, 2021.

ISSN: 2007 8102

Factores de riesgo psicosocial en una dependencia de la Universidad Veracruzana, región Coatzacoalcos-Minatitlán

B. Antonio Pacheco[1], M. B. Ordaz Hernández[2], C.M. Mis Linares[3], A. Alonso Guillén[4]*
Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Veracruzana, Av. Universidad Km 7.5, Col. Santa Isabel, C.P. 96538, Coatzacoalcos, Veracruz, México
[1]antpacheco@uv.mx, [2]mordaz@uv.mx, [3]cmis@uv.mx, [4]amalonso@uv.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

El presente trabajo de investigación buscó identificar el nivel de los factores de riesgo psicosocial desde la percepción de los docentes del Área de Formación Básica General (AFBG) de la Universidad Veracruzana (UV) región Coatzacoalcos-Minatitlán activos en el periodo febrero-julio 2023. Se trató de un estudio con un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y de corte transversal. Se encuestó a 40 docentes de un total de 47 usando la guía de referencia II de la NOM-035-STPS-2018. Los resultados generales indican la presencia de un nivel medio de los factores de riesgo psicosocial por lo que se requiere revisar la política de prevención de riesgos psicosociales y programas para la prevención de los factores de riesgo psicosocial, así como la promoción de un entorno organizacional favorable.

***Palabras clave**: identificación, factores de riesgo psicosocial, docentes, universidad.*

Abstract

The present research work sought to identify the level of psychosocial risk factors from the perception of the teachers of the General Basic Training Area (AFBG) of the Universidad Veracruzana (UV) Coatzacoalcos-Minatitlán region active in the period February-July 2023. It was a study with a quantitative, descriptive and cross-sectional approach. 40 teachers out of a total of 47 were found using the reference guide II of NOM-035-STPS-2018. The general results indicate the presence of a medium level of psychosocial risk factors, so it is necessary to review the psychosocial risk prevention policy and programs for the prevention of psychosocial risk factors, as well as the promotion of a favorable organizational environment.

***Key words**: identification, psychosocial risk factors, teachers, university.*

Introducción

En un mundo de constantes cambios, las organizaciones buscan estrategias para sobresalir en el mercado y lograr una ventaja competitiva a partir de la innovación de los productos y/o servicios, implementación de tecnología de punta en los procesos productivos, calidad en el servicio para cubrir las necesidades de los consumidores, por solo mencionar algunos; sin embargo, muchas compañías se llegan a olvidar del bienestar de los colaboradores que es fundamental para que todas las operaciones sean posibles. De acuerdo con “datos del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) indican que, previo a la pandemia, México ya figuraba como uno de los países con mayor fatiga por estrés laboral. Al menos el 75% de sus trabajadores padecía esta condición, superando los niveles de China (73%) y Estados Unidos (59%)” [1, párr. 4].

El estrés es un “conjunto de reacciones físicas y mentales que la persona sufre cuando se ve sometida a diversos factores externos que superan su capacidad para enfrentarse a ello” [2, párr. 3]. El estrés laboral se relaciona con la creciente presión en el entorno laboral que puede provocar la saturación física y/o mental del colaborador, generando consecuencias en la salud y en el entorno próximo, debido al desequilibrio que genera entre lo laboral y personal [2]. Entre los síntomas más predominantes del estrés se pueden identificar desde cuatro vertientes: emocionales, como la ansiedad, miedo, irritabilidad, mal humor, frustración, agotamiento y desmotivación;

ISSN: 2007 8102

conductuales, como la disminución de la productividad, errores frecuentes en el trabajo, reportarse enfermo, dificultades al hablar, risa nerviosa, trato brusco en las relaciones sociales y aumento del consumo de tabaco y/o alcohol u otras sustancias; cognitivas, como la dificultad en la concentración, confusión, olvidos, reducción de la capacidad de solución de problemas y de aprendizaje; y fisiológicas, como tener los músculos contraídos, dolores de cabeza, problemas de espalda y/o cuello, malestar estomacal, infecciones, palpitaciones, aumento de la presión sanguínea, mayor riesgo de obesidad, problemas cardiovasculares y problemas de sueño [2]. El sometimiento constante del colaborador al estrés puede provocar enfermedades graves de salud.

En el 2013 la Organización Internacional del Trabajo (OIT), señaló el alza de las enfermedades profesionales para las cuales no existían normatividad, entre ellos se encontraba los riesgos emergentes de carácter psicosocial. En el 2016 la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) a través del Programa Nacional de Bienestar Emocional y Desarrollo Humano en el Trabajo (PRONAVET), impulsó un proyecto de norma con el objetivo de establecer los elementos para identificar, analizar y prevenir los Factores de Riesgo Psicosocial (FRP), así como para promover un entorno organizacional favorable en los centros de trabajo [3]. Es así como la NOM-035-STPS-2018 fue publicada oficialmente el 23 de octubre de 2018 y entró en vigor en una primera fase a partir del 23 de octubre del 2019. Para el 23 de octubre de 2020 ya toda la norma debió de haber sido cumplida en su totalidad [4].

El FRP es cualquier condición psicosocial presente en el área de trabajo, mismos que si son inadecuados, pueden afectar la salud, bienestar y desempeño del trabajador [5]. Los FRP pueden provocar alteraciones que implican tensiones, miedos o hasta pánico que comúnmente se le conoce como trastorno de ansiedad, así mismo la falta de sueño o mantenimiento del mismo, ocasionando una fuerte necesidad de dormir en situaciones o momentos inapropiados, también aquellos que pueden provocar estados de tensión que generen problemas físicos o emocionales derivados del entorno laboral como: estar expuesto a violencia, amenazas e intimidación, trabajar en condiciones inseguras, jornadas de trabajo excesivas, la falta de posibilidad de armonizar la vida familiar con la laboral, falta de control en las actividades labores, liderazgo y relaciones negativas en el campo laboral, entre otros [6]. La NOM-035-STPS-2018 rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo considerando los supuestos que esta marca [6]. Entre los beneficios que obtiene una empresa cuando adopta medidas preventivas en materia de riesgo psicosocial se encuentran la reducción de costos económicos y sociales [7].

El objetivo del presente estudio busca identificar el nivel de los factores de riesgo psicosocial desde la percepción de los docentes del Área de Formación Básica General (AFBG) de la Universidad Veracruzana (UV) región Coatzacoalcos-Minatitlán activos en el periodo febrero-julio 2023. La UV es una institución ubicada en el estado de Veracruz con sedes a lo largo y ancho del estado a través de cinco regiones: Xalapa, Veracruz, Orizaba-Córdoba, Poza Rica-Tuxpan y Coatzacoalcos-Minatitlán y que por su matrícula se ubica entre las cinco universidades públicas estatales de educación superior más grandes de México [8]. El Modelo Educativo Integral y Flexible (MEIF) es el marco en el que se encuentra construido el plan de estudios de los Programas Educativos que oferta la UV, donde se desarrollan las competencias profesionales integrales del estudiante. El plan de estudios está conformado por cuatro áreas: la básica general que se subdivide a la vez por el AFBG e iniciación a la disciplina, área disciplinar, Área de Formación de Elección Libre (AFEL) y el área de formación terminal. Las Experiencias Educativas (EE) que comprende el AFBG son: Lengua I y II, Lectura y escritura de textos académicos, Literacidad digital y Pensamiento crítico para la solución de problemas, objeto de análisis de los profesores que imparten estas EE en los campus de Coatzacoalcos, Minatitlán y Acayucan [9].

Metodología

El presente estudio tiene un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y de corte transversal, su desarrollo estuvo conformado por tres etapas; la primera al análisis del marco teórico que gira en torno a los FRP, si bien es cierto, existen diversos instrumentos que miden estos riesgos, también es indiscutible que en el contexto nacional se cuenta con los instrumentos propuestos por la NOM-035-STPS-2018. La población de profesores activos en el AFBG en la región Coatzacoalcos-Minatitlán fue de 47, por lo que se hizo uso de la guía de referencia II denominado: Identificación y Análisis de los Factores de Riesgo Psicosocial, debido a que la norma recomienda que este sea utilizado por aquellos centros de trabajo que tengan hasta 50 trabajadores [6]. En la Tabla 1, se aprecia las categorías, dominios, dimensiones e ítems de los FRP.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 1. Guía de referencia II. Grupos de ítems por dimensión, dominio y categoría. Tomada de [6]

Categoría	Dominio	Dimensión	Ítem
Ambiente de trabajo	Condiciones en el ambiente de trabajo	Condiciones peligrosas e inseguras	2
		Condiciones deficientes e insalubres	1
		Trabajos peligrosos	3
Factores propios de la actividad	Carga de trabajo	Cargas cuantitativas	4, 9
		Ritmos de trabajo acelerado	5, 6
		Carga mental	7, 8
		Cargas psicológicas emocionales	41, 42, 43
		Cargas de alta responsabilidad	10, 11
		Cargas contradictorias o inconsistentes	12, 13
	Falta de control sobre el trabajo	Falta de control y autonomía sobre el trabajo	20, 21, 22
		Limitada o nula posibilidad de desarrollo	18, 19
		Limitada o inexistente capacitación	26, 27
Organización del tiempo de trabajo	Jornada de trabajo	Jornadas de trabajo extensas	14, 15
	Interferencia en la relación trabajo-familia	Influencia del trabajo fuera del centro laboral	16
		Influencia de las responsabilidades familiares	17
Liderazgo y relaciones en el trabajo	Liderazgo	Escasa claridad de funciones	23, 24, 25
		Características del liderazgo	28, 29
	Relaciones en el trabajo	Relaciones sociales en el trabajo	30, 31, 32
		Deficiente relación con los colaboradores que supervisa	44, 45, 46
	Violencia	Violencia laboral	33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40

Respecto a la categoría del ambiente de trabajo, se refiere al conjunto de factores que influyen en el bienestar físico y mental de los colaboradores; los factores propios de la actividad enfatizan en las cargas de trabajo y falta de control de este; la organización del tiempo del trabajo se refiere a las jornadas de trabajo y su interferencia con la relación trabajo-familia en la que el colaborador se ve envuelto al poner en práctica sus actividades laborales. Por último, en la categoría del liderazgo y relaciones, se considera el liderazgo, las relaciones en el trabajo y la violencia que se experimenta en el desarrollo del puesto [10]. A continuación, se describe cada uno de los dominios [6]:

- **Condiciones en el ambiente de trabajo.** Se refiere a todas aquellas condiciones que implican un peligro o riesgo en el que está expuesto el trabajador en el lugar en el que presta sus servicios, también incluye condiciones insalubres.
- **Carga de trabajo.** Hace referencia a la cantidad de actividades que un trabajador ejecuta durante una jornada laboral, cuando esta carga excede las capacidades del trabajador, puede afectar de manera negativa el bienestar físico y mental de este.
- **Falta de control sobre el trabajo.** Implica la falta de independencia del trabajador para tomar decisiones en las actividades que debe poner en práctica en el puesto adscrito; no cuenta con la autonomía y la iniciativa para ejecutar actividades por sí solo, ya que estos son asumidos por otros colaboradores del mismo nivel o de un nivel superior, lo que genera frustración y niveles importantes de estrés.
- **Jornada de trabajo.** Se refiere al intervalo de tiempo en que un trabajador debe prestar sus servicios en un puesto de trabajo. Cuando estos servicios son extensas o prolongadas sin ninguna pausa o descanso, puede convertirse en un factor de riesgo, debido a que el trabajador no se da el tiempo suficiente para recuperarse física y/o mentalmente lo que conlleva al agotamiento.
- **Interferencia en la relación trabajo-familia.** Cuando un trabajador tiene sobrecarga de trabajo y/o extensas jornadas de trabajo provoca un desequilibrio en el bienestar de la familia y esto representa un factor de riesgo. En este sentido, es importante la participación de todos los trabajadores en el desarrollo de sus actividades para evitar la sobrecarga de trabajo en otros.

- **Liderazgo.** Está relacionado con el estilo de dirección de las personas que tienen personas a cargo, mismo que influye en el bienestar de los colaboradores y de la empresa cuando se ejerce de manera inadecuada. El reconocimiento a los resultados, una comunicación eficaz, la retroalimentación, la capacitación, la participación de los colaboradores en la toma de decisiones, son algunos factores positivos que considerar.
- **Relaciones en el trabajo.** Enfatiza en la forma en que se relacionan los trabajadores en el ejercicio de sus funciones; cuando esta relación es negativa genera estrés en los trabajares, debido a la ausencia del trabajo colaborativo.
- **Violencia.** La NOM-035-STPS-2018, identifica dos tipos de acoso: el psicológico y el sexual; la primera daña la personalidad y dignidad del trabajador, entre ellos se encuentran los insultos, humillaciones, amenazas, entre otros; por su parte, el acoso sexual hace referencia al hostigamiento del poder de un trabajador a un subordinado que se expresa en malos tratos, conductas verbales y físicas inadecuadas.

En la segunda etapa, se capturaron los 46 ítems de los FRP en “Google Forms”, para ser canalizados a los docentes del AFBG; se debe mencionar que se agregaron 4 preguntas de datos generales como el género, edad, campus en donde imparte la EE y la antigüedad. Se utilizó el método de muestreo no probabilístico y como técnica la de conveniencia, obteniendo una respuesta de 40 docentes de un total de 47. La tercera etapa de este estudio corresponde al diseño de las tablas a partir de la base de datos, interpretación de los resultados generales, por categoría y dominio en donde se determina el nivel de los FRP, la discusión, trabajo a futuro y conclusiones.

Resultados y discusión

En la Tabla 2, se aprecian los porcentajes de los datos generales, el 65% de los docentes participantes corresponden al género femenino y el resto masculino. La edad que más predominó es el de 51 años o más, posicionándose en segundo lugar el de 41 a 45 años con una diferencia del 20% respecto al primero. El campus con más participación corresponde al de Coatzacoalcos, lo cual es coherente, debido a que es donde se concentra un mayor número de programas educativos. El 30% lleva impartiendo las EE del AFBG con una antigüedad que oscila entre 16 a 20 años, quedando empatado en un 25% los de 6 a 10 años y 21 años o más.

Tabla 2. Datos generales de los docentes participantes en la encuesta activos en el periodo febrero – julio 2023 del AFBG región Coatzacoalcos-Minatitlán.

Datos demográficos		Porcentaje
Género	Femenino	65%
	Masculino	35%
Edad	31 a 35 años	5%
	36 a 40 años	5%
	41 a 45 años	25%
	46 a 50 años	20%
	51 años o más	45%
Campus en donde imparte la EE	Coatzacoalcos	70%
	Minatitlán	15%
	Acayucan	15%
Antigüedad laboral	Menor a 5 años	5%
	De 6 a 10 años	25%
	De 11 a 15 años	15%
	De 16 a 20 años	30%
	21 años o más	25%

Para obtener los puntajes de cada categoría, dominio y calificación final general, se usó como referencia la distribución de los ítems de la Tabla 1 considerando lo siguiente [6]:

- La calificación del dominio (Cdom), se obtuvo sumando el puntaje de cada uno de los ítems que integran el dominio de las respuestas otorgadas por los 40 docentes. Por ejemplo, para el dominio “Condiciones en el ambiente de trabajo”, se sumaron las respuestas de los 40 docentes correspondientes a los ítems 1, 2 y 3, lo que arrojó un puntaje de 172 (ver Tabla 3).
- La calificación de la categoría (Ccat), se obtuvo sumando el puntaje de cada uno de los ítems que integran la categoría de las respuestas otorgadas por los 40 docentes. A manera de ejemplo, para la categoría

"Factores propios de la actividad" se sumaron las respuestas de los 40 docentes correspondientes a las categorías de "Carga de trabajo" y "Falta de control sobre el trabajo" que integra los ítems 4, 9, 5, 6, 7, 8, 41, 42, 43, 10, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 18, 19, 26 y 27 respectivamente, lo que arrojó un puntaje de 1,286 (ver Tabla 4).

- La calificación final del cuestionario (Cfinal), se obtuvo sumando el puntaje de todos y cada uno de los ítems (del 1 al 46) que integran el cuestionario de las respuestas otorgadas por los 40 docentes lo que arrojó un resultado de 2,474 (ver Tabla 5).

En las Tablas 3, 4 y 5 se aprecian los resultados de evaluación por dominio, categoría y general de la evaluación aplicada al personal docente del AFBG de la Universidad Veracruzana, región Coatzacoalcos-Minatitlán. Si bien, se aprecian los rangos que establece la NOM-035-STPS-2018 para evaluar a un trabajador, para efectos de este estudio la evaluación de los resultados se obtuvo multiplicando los rangos de la primera fila (establecidos por la norma) por los 40 participantes, para obtener el puntaje de los intervalos. A manera de ejemplo, para el caso del dominio "Condiciones de trabajo" se multiplicó 3 (definido por la norma) por 40 (número de docentes participantes en la encuesta) dando como resultado 120 (ver Tabla 3), siguiendo esta misma operación para cada rango.

En la Tabla 3, se visualiza el nivel de los FRP por dominio, en donde las relaciones en el trabajo y la violencia presentaron resultados nulos o despreciables lo cual es muy satisfactorio; por su parte, las condiciones en el ambiente de trabajo un nivel bajo. La falta de control sobre el trabajo, la jornada de trabajo, interferencia en la relación trabajo-familia y liderazgo se posicionaron en un nivel medio; sin embargo, la carga de trabajo sobresale con un nivel alto de FRP.

Al resultar un nivel nulo en el dominio de las relaciones en el trabajo y la violencia, indican que, en el AFBG existe una buena interacción entre los docentes para solucionar problemas de índole académico, así como la presencia del trabajo colaborativo, armonía, respeto, aceptación, buenos tratos, por solo resaltar algunas características. Al resultar las condiciones de trabajo en un nivel bajo, indica una presencia baja de un ambiente peligroso, inseguro o deficiente, mismo que es fundamental para el bienestar físico del académico.

Respecto a la falta de control sobre el trabajo, la jornada de trabajo, interferencia en la relación trabajo-familia y liderazgo; el dominio de la falta de control sobre el trabajo hace referencia a la presencia media de la posibilidad que tiene el colaborador para influir y tomar decisiones en la realización de las actividades, estos resultados seguramente se deben a que existen normativas de trabajo en la universidad, ejemplo claro de ello es el Estatuto del Personal Académico [11] y el Reglamento de Academias por Área de Conocimiento, por Programa Académico y de Investigación [12]. En las academias se definen las planeaciones de las estrategias didácticas a nivel estatal por áreas de conocimiento que tiene que poner en práctica el docente con los estudiantes; sin embargo, no está excepto la libre cátedra. Respeto a la jornada de trabajo, representa una exigencia de tiempo laboral, que seguramente se debe a que los docentes atienen a un total de 50 estudiantes en los primeros semestres, lo que implica un esfuerzo de estos en la revisión de las cada una de las actividades de educando, adicional a ello, las comisiones asignadas en las diversas facultades en donde imparte cátedra.

Cabe agregar también que los docentes del AFBG regularmente tienen dos o más trabajos con instituciones externas para complementar sus ingresos económicos, por lo que se podría inferir que todas esas actividades podría ser también un factor por que el dominio carga y jornada de trabajo resultase elevado; por supuesto, esto estaría afectando en mediana medida la relación con su familia, pues al existir alta demanda de actividades, se reduce el tiempo de convivencia familiar. Por su parte, al resultar en un puntaje medio el dominio del liderazgo, indica la falta de claridad de las funciones en las actividades, bajo reconocimiento y retroalimentación del desempeño. Por último, el dominio de carga de trabajo resulta con un nivel alto y está relacionado con la jornada de trabajo, al existir una carga de trabajo considerable, se extiende la jornada laboral.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 3. Calificación por dominio del cuestionario, adaptado de la Guía de Referencia II Factores de riesgo psicosocial en el trabajo-Identificación, análisis y prevención de la NORMA Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, de la STPS, 2018 [6].

Resultado del cuestionario	Rango				
	Nulo o despreciable	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Condiciones en el ambiente de trabajo	Cdom<3	3≤Cdom<5	5≤Cdom<7	7≤Cdom<9	Cdom≥9
	Cdom<120	120<Cdom<200 Total: 172	200≤Cdom<280	280≤Cdom<360	Cdom≥360
Carga de trabajo	Cdom<12	12≤Cdom<16	16≤Cdom<20	20≤Cdom<24	Cdom≥24
	Cdom<480	480≤Cdom<640	640≤Cdom<800	800<Cdom<960 Total: 886	Cdom≥960
Falta de control sobre el trabajo	Cdom<5	5≤Cdom<8	8<Cdom<11	11≤Cdom<14	Cdom≥14
	Cdom<200	200≤Cdom<320	320<Cdom<440 Total: 400	440≤Cdom<560	Cdom≥560
Jornada de trabajo	Cdom<1	1≤Cdom<2	2≤Cdom<4	4≤Cdom<6	Cdom≥6
	Cdom<40	40≤Cdom<80	80<Cdom<160 Total: 150	160≤Cdom<240	Cdom≥240
Interferencia en la relación trabajo-familia	Cdom<1	1≤Cdom<2	2≤Cdom<4	4≤Cdom<6	Cdom≥6
	Cdom<40	40≤Cdom<80	80<Cdom<160 Total: 126	160≤Cdom<240	Cdom≥240
Liderazgo	Cdom<3	3≤Cdom<5	5≤Cdom<8	8≤Cdom<11	Cdom≥11
	Cdom<120	120≤Cdom<200	200<Cdom<320 Total: 288	320≤Cdom<440	Cdom≥440
Relaciones en el trabajo	Cdom<5	5≤Cdom<8	8≤Cdom<11	11≤Cdom<14	Cdom≥14
	Cdom<200 Total: 182	200≤Cdom<320	320≤Cdom<440	440≤Cdom<560	Cdom≥560
Violencia	Cdom<7	7≤Cdom<10	10≤Cdom<13	13≤Cdom<16	Cdom≥16
	Cdom<280 Total: 270	280≤Cdom<400	400≤Cdom<520	520≤Cdom<640	Cdom≥640

En el análisis del nivel de los FRP por categoría, se encontró que el ambiente de trabajo resultó con un nivel bajo; mientras que la organización del tiempo en el trabajo, el liderazgo y relaciones en el trabajo resultaron con niveles medios, lo que indica la presencia media de las cargas de trabajo y falta de control de este; en contraparte, los factores propios de la actividad resultaron con un nivel alto, mismo que se precia en la Tabla 4.

Tabla 4. Calificación por categoría del cuestionario, adaptado de la Guía de Referencia II Factores de riesgo psicosocial en el trabajo-Identificación, análisis y prevención de la NORMA Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, de la STPS, 2018 [6].

Resultado del cuestionario	Rango				
	Nulo o despreciable	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Ambiente de trabajo	Ccat<3	3≤Ccat<5	5≤Ccat<7	7≤Ccat<9	Ccat ≥9
	Ccat<120	120<Ccat<200 Total: 172	200≤Ccat<280	280≤Ccat<360	Ccat ≥360
Factores propios de la actividad	Ccat<10	10≤Ccat<20	20≤Ccat<30	30≤Ccat<40	Ccat ≥40

 ISSN: 2007 8102

Organización del tiempo de trabajo	Ccat<400	400≤Ccat<800	800≤Ccat<1,200	1,200≤Ccat<1,600 Total: 1,286	Ccat ≥1,600
	Ccat<4	4≤Ccat<6	6≤Ccat <9	9≤Ccat<12	Ccat ≥12
	Ccat<160	160≤Ccat<240	240≤Ccat<360 Total: 276	360≤Ccat<480	Ccat ≥480
Liderazgo y relaciones en el trabajo	Ccat<10	10≤Ccat<18	18≤Ccat <28	28≤Ccat<38	Ccat ≥38
	Ccat<400	400<Ccat<720	720≤Ccat<1,120 Total: 740	1,120≤Ccat<1,520	Ccat ≥1,520

En la Tabla 5, se aprecia el nivel de los factores de riesgos psicosociales final del cuestionario, mismo que se posiciona en un rango medio. Esto indica que “se requiere revisar la política de prevención de riesgos psicosociales y programas para la prevención de los factores de riesgo psicosocial y la promoción de un entorno organizacional favorable” [6].

Tabla 5. Calificación final del cuestionario, adaptado de la Guía de Referencia II Factores de riesgo psicosocial en el trabajo-Identificación, análisis y prevención de la NORMA Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, de la STPS, 2018 [6].

Resultado del cuestionario	**Rango**				
	Nulo o despreciable	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Calificación final del cuestionario Cfinal	Cfinal<20	20≤Cfinal<45	45≤Cfinal<70	70≤Cfinal<90	Cfinal≥90
N° Trabajadores	40 Cfinal<800	40 800≤Cfinal<1,800	40 1800≤Cfinal<2,800 **Total: 2,474**	40 2,800≤Cfinal<3,600	40 Cfinal≥3,600

Trabajo a futuro

Tomando en consideración los resultados del cuestionario de los FRP obtenidos en los docentes del AFBG de la UV en la región Coatzacoalcos-Minatitlán, entre las acciones futuras a implementar se sugieren:

- Con relación al dominio de carga de trabajo y falta de control sobre el trabajo, resulta interesante replantear las estrategias didácticas puestas en práctica, sin afectar el desarrollo de las competencias del estudiante, mismo que será analizado, propuesto y avalado por las academias estatales por áreas de conocimiento. Así como involucrar la participación de todos los docentes para una distribución estándar de las actividades adicionales que integran diversas comisiones académicas, lo que implica un compromiso de cada uno de los académicos.
- Ofertar en los periodos intersemestrales a los docentes del AFBG, cursos sobre la administración del tiempo y de estrategias para combatir el estrés laboral.
- Evaluar al menos cada dos años la identificación y análisis de los factores de riesgo psicosocial y la evaluación del entorno organizacional en el AFBG [6].

 ISSN: 2007 8102

Conclusiones

Toda organización pretende tener éxito en el mercado a partir de la innovación de sus productos y/o servicios, uso de las herramientas tecnológicas, calidad en el servicio, entre muchos otros; sin embargo, para lograrlo necesita de las personas, quienes aportaran conocimientos, habilidades y actitudes para el cumplimiento de los objetivos del puesto que abonarán a la planeación estratégica; en este sentido, se vuelve necesario mejorar el bienestar de estas, mismas que si son cubiertas, podrán ofrecer un servicio de calidad a los clientes. Para ello, es necesario crear un ambiente de trabajo armónico, de colaboración, distribución de actividades de manera estándar y un estilo de liderazgo que mejor se adapte al contexto de la institución. Si bien es cierto, toda actividad que involucre un esfuerzo físico o intelectual puede implicar un factor de riesgo para el colaborador, también es innegable que depende de la cultura de trabajo de cada organización. En el AFBG de la UV en la región Coatzacoalcos-Minatitlán, se encontró un nivel de FRP medio, lo que indica que “se requiere revisar la política de prevención de riesgos psicosociales y programas para la prevención de los factores de riesgo psicosocial y la promoción de un entorno organizacional favorable” [6] para evitar que este pudiera incrementarse a un nivel alto o muy alto.

Referencias

[1] Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Global Revista. (2023, abirl, 23). “México: alarmantes cifras de estrés laboral”, https://unamglobal.unam.mx/global_revista/mexico-alarmantes-cifras-de-estres-laboral/

[2] Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). (2023, junio). Estrés Laboral. http://www.imss.gob.mx/salud-en-linea/estres-laboral#:~:text=M%C3%BAsculos%20contra%C3%ADdos%2C%20dolor%20de%20cabeza,memori%20a%2C%20problemas%20de%20sue%C3%B1o

[3] Normalizacion y Certificacion NYCE S.C. (2023). “NOM-035-STPS-2018, Factores de Riesgo Psicosocial en el Trabajo – Identificación, Análisis y Prevención”. https://www.sige.org.mx/nom-035-stps-2018-factores-de-riesgo-psicosocial-en-el-trabajo-identificacion-analisis-y-prevencion/#:~:text=La%20NOM%2D035%2DSTPS%20es,favorable%20en%20los%20centros%20de

[4] Gobierno de México. (2022, octubre, 22). Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, Factores de riesgo psicosocial en el trabajo-Identificación, análisis y prevención. https://www.gob.mx/stps/articulos/norma-oficial-mexicana-nom-035-stps-2018-factores-de-riesgo-psicosocial-en-el-trabajo-identificacion-analisis-y-prevencion

[5] Soliz Baldomar, R. L. (2022). El impacto de los factores de riesgo psicosocial en trabajadores del sector industrial. *Trascender, contabilidad y gestión* 7 (20), 71-81. https://doi.org/10.36791/tcg.v8i20.162

[6] Secretaría de Gobernación. Diario Oficial de la Federación. (2018, octubre, 22). NORMA Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, Factores de riesgo psicosocial en el trabajo-Identificación, análisis y prevención. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5541828&fecha=23/10/2018#gsc.tab=0

[7] Muñoz Rojas, D., Orellano, N. y Hernández Palma, H. (2018). Riesgo psicosocial: tendencias y nuevas orientaciones laborales. *Psicogente* 21(40), 532-544. https://doi.org/10.17081/psico.21.40.3090

[8] Universidad Veracruzana (UV). (2023, abril, 19). Presentación. https://www.uv.mx/universidad/presentacion/

[9] Universidad Veracruzana (UV). (2023, julio 06). ¿Qué es el MEIF?. https://www.uv.mx/estudiantes/modelo-educativo-institucional/

[10] Millanes Laguna, L. ., y Erro Salcido, L. (2021). Factores psicosociales presentes en una industria maquiladora artesanal ubicada en el sur de Sonora. *Revista de Investigación Académica sin Frontera: División de Ciencias Económicas y Sociales* (36). https://doi.org/10.46589/rdiasf.vi36.389

[11] Universidad Veracruzana (UV). (2021, mayo 28). Legislación Universitaria. Estatuto del Personal Académico. https://www.uv.mx/legislacion/files/2021/06/Estatuto-Personal-Academico-28-05-2021.pdf

[12] Universidad Veracruzana (UV). (2000, junio 30). Legislación Universitaria. Reglamento de Academias por Área de Conocimiento, por Programa Académico y de Investigación. https://www.uv.mx/legislacion/files/2017/07/Academias-por-area-de-conocimiento-Universidad-Veracruzana.pdf

 ISSN: 2007 8102

Análisis diagnóstico para determinar el branding en las micro y pequeñas empresas de los Tuxtlas

M. del C. David Miros[1], P. E. David Miros[2], R. M. Berea Gutierrez[3], L. O. Reyes Chapol[4], M. de J. Gallardo Polito[5],
[1] Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla y mariadavid@itssat.edu.mx, [2]Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla y patriciadavid@itssat.edu.mx, [3]Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla y rosaberea@itssat.edu.mx, [4]Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla y Luis.reyesch@alumno.itssat.edu.mx, [5]Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla y Mariade.gallardo@alumno.itssat.edu.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen
La presente investigación surgió por la necesidad de conocer cómo implementan el branding las micro y pequeñas empresas de la región de los Tuxtlas. Para lo cual se realizó un análisis diagnóstico a través de un instrumento de recolección de datos. Se empleó un diseño de investigación de tipo no experimental, con enfoque mixto y alcance correlacional, dado que existe una hipótesis de trabajo. Los resultados obtenidos de la estadística descriptiva, demuestran que los microempresarios estudiados, lo que cambiarían de su logotipo es, su eslogan en un 43.1%, son sus colores en un 32.8% y el tipo de letra en un 24.1%. El 60.3% comentó que, en los últimos cinco años, no ha modificado su logotipo y el 39.7% si lo ha hecho. El 100% respondió que si le gustaría tener un mejor posicionamiento de su marca.

***Palabras clave**: Branding, microempresarios, logotipo, marca.*

Abstract
The present investigation arose from the need to know how micro and small companies in the Tuxtlas region implement branding. For which a diagnostic analysis was carried out through a data collection instrument. A non-experimental research design was used, with a mixed approach and correlational scope, because there is a working hypothesis. The results obtained from descriptive statistics show that the microentrepreneurs studied what they would change about their logo is 43.1% of their slogan, 32.8% of their colors and 24.1% of their font. The 60.3% commented that, in the last five years, they have not modified their logo and 39.7% if they have. 100% answered that they would like to have a better positioning of their brand.

***Key words:** Branding, microentrepreneurs, logo, brand.*

Introducción
Indudablemente, el éxito y sostenimiento de las empresas requiere de una transformación en todas sus operaciones apegadas a un sistema empresarial tecnológico. Los aprendizajes que dejó la pandemia COVID-19, fueron indudablemente muy importantes, en incorporar las tecnologías de la información y comunicación en los negocios para su desarrollo empresarial y financiero [1]. Dentro del marco tecnológico-digital, una de las actividades principales en los negocios emprendedores, es dar a conocer la marca. Las personas que construyen su marca personal, solas o a través de un experto en personal branding y personal marketing, son capaces de convertirse en marcas personales poderosas, modélicas, relevantes, transformadoras [2].
Hoy en día el branding es fundamental para construir una identidad de marca que distinguirá y elevará por encima de otros productos y servicios otorgados en los mercados. De esta forma se consigue identificar que, la marca le sea más familiar al usuario y además lo vincule a determinadas ideas con las ventajas que esto supone. Las organizaciones cada vez dan mayor valor al branding como un intangible dentro de sus activos que, resulta imposible de emular o imitar por su competencia.
Por lo anterior, el presente proyecto tiene como objetivo, realizar un análisis diagnóstico para determinar cómo se emplea el branding en las micro y pequeñas empresas de la zona de los Tuxtlas, con la intención de coadyuvar

ISSN: 2007 8102

a su fortalecimiento a través de una aplicación profesional del branding. Para que este ideal pueda ser posible, se necesitará una identidad visual sólida que refleje los valores de la marca y se comunique de forma efectiva con el cliente; que los procesos que se apliquen sean creativos, según la comunicación y diálogo con el público objetivo; incluir el rediseño del logotipo; crear un nuevo sistema de compra digital; diseñar con colores corporativos inspirados en las corrientes estéticas actuales y la búsqueda de una tipografía acorde con los negocios.

Metodología

La presente investigación se realizó en la región de los Tuxtlas, la cual se encuentra localizada dentro del estado de Veracruz, México. Abarcando los municipios de Santiago Tuxtla, San Andrés Tuxtla, Catemaco y Hueyapan de Ocampo.

Sujetos de estudio

- La unidad muestral fue la región de los Tuxtlas.
- Las unidades de análisis fueron las Micro y Pequeñas Empresas de la región de estudio.

Diseño de investigación

El tipo de la investigación es aplicada debido a que se realizó un análisis diagnóstico para determinar la aplicación del branding en las micro y pequeñas empresas de la zona de los Tuxtlas. El enfoque de la investigación es de naturaleza mixta, dado que, el instrumento de investigación utilizado fue una encuesta, la cual está estructurada por veintitrés ítems, de los cuales veinte son de opción múltiples y tres de opción abierta. Dicho instrumento de medición cumplió con los tres requisitos de: confiabilidad, validez y objetividad [3]. La confiabilidad se realizó por medio de la prueba del Coeficiente de Alfa de Cronbach, dando un resultado aceptable.
El diseño de investigación es de tipo transeccional o transversal, debido a que la aplicación del instrumento de recolección de datos se realizó en un sólo momento, el cual fue en el mes noviembre de 2022 a través de la plataforma de Google Form.
Las fuentes de información que se aplicaron fueron de tipo documental y de campo. Documental como son libros, revistas científicas y datos estadísticos, los cuales darán soporte a la investigación. De campo, al aportar información de primera mano de las unidades de análisis.

Cálculo de la muestra

De acuerdo a las caraterísticas de la investigación, para aplicar el cuestionario, se seleccionó una muestra no probabilística o dirigida de 58 microempresarios de la región de los Tuxtlas [4]. De estos emprendedores algunos fueron conocidos y otros recomendados. De esta manera se les aplicó una encuesta que, permitió contestar libremente sobre cómo desarrollan el branding en sus negocios.

Análisis de datos

Para la realización del análisis de los datos, fue por medio de la estadística descriptiva, porque era necesario ordenar los datos a través de tablas y figuras que ayudarán a interpretar los cuestionarios contestados. Se determinó la frecuencia de cada categoría para emitir las opiniones.

Resultados y discusión

A continuación, se muestran las figuras relevantes de la investigación que ayudaron a comprobar la hipótesis de trabajo, la cual es: A través de un análisis diagnóstico, se podrá determinar cómo aplican el branding las micro y pequeñas empresas de la región de los Tuxtlas.

 ISSN: 2007 8102

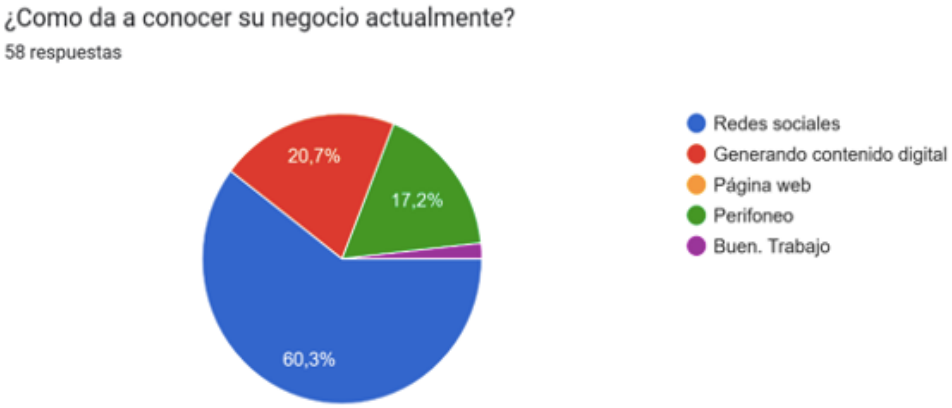


Figura 1. Perfil del negocio.

Como se puede observar en la figura anterior, de una muestra de 58 microempresarios, el 60.3% contestó que da a conocer su empresa por redes sociales, el 20.7% lo hace generando contenido digital, un 17.2% a través del perifoneo y el resto por su buen trabajo. Con lo anterior, se deduce que, los encuestados si promocionan a sus negocios, pero no de una forma profesional.



Figura 2. Elementos que cambiaría de su logotipo.

De la presente figura, los dueños de los negocios contestaron en un 43.1% que cambiarían el eslogan, un 32.8% los colores y el resto cambiarían el tipo de letra de su logotipo. Es importante comprender que los cambios en ciertos periodos de tiempo son buenos y máxime si esto repercute en la marca.



ISSN: 2007 8102

Figura 3. Modificación del logotipo.

Se muestra que, de los 58 microempresarios encuestados, el 60.3% respondió que no ha modificado su logotipo y el resto, que son 39.7% contestó que sí lo ha hecho en los últimos 5 años. Es importante el rediseño del logotipo en un periodo de tiempo, para asegurar una comunicación efectiva con el cliente meta.

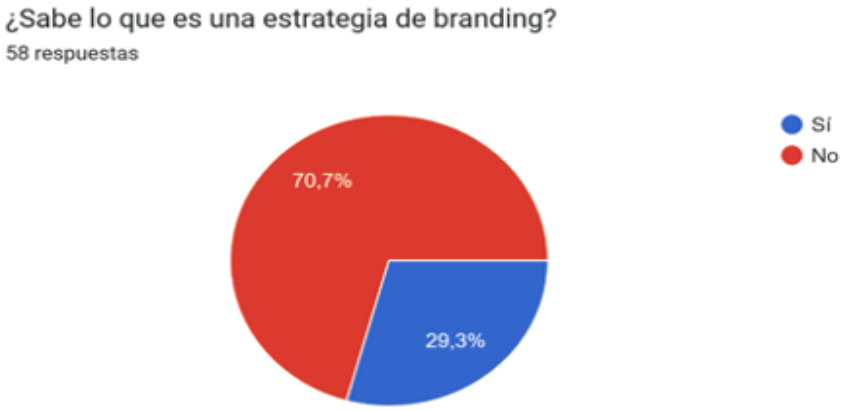


Figura 4. Conoce las estrategias de branding.

Se observa de la figura anterior que, los microempresarios respondieron en un 70.7% que no saben qué es una estrategia de branding y el resto contestó que sí sabe. Cabe mencionar que uno de los objetivos de implementar estrategias de branding, es buscar mejor posicionamiento en los mercados e incremento en ventas.



Figura 5. Conoce los beneficios de branding.

De la figura anterior se visualiza que, los encuestados comentaron en un 87.9% que no conocen los beneficios de branding y sólo el 12.1% respondió que sí saben. Estos resultados son coherentes a lo que mencionaron los microempresarios en la figura número cuatro. Estas debilidades se deben de convertir en oportunidades para un crecimiento y posicionamiento en los mercados.

 ISSN: 2007 8102



Figura 6. Aplicar branding en su empresa.

Como se observa en la anterior figura, el 100% de los encuestados comentaron que sí aplicarían el branding en sus empresas. Implementar branding extenderá la marca en el mercado, ubicándola en la mente de los consumidores de forma directa o indirecta.

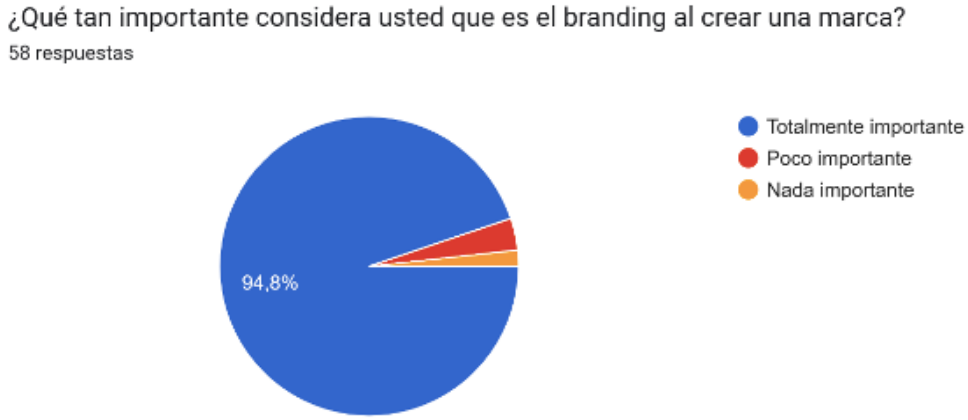


Figura 7. Importancia del branding al crear una marca.

Se visualiza en la presente figura que, el 94.8% de los microempresarios respondieron que sí es importante considerar la herramienta de branding para la creación de la marca, en un 3.3% contestaron que es poco importante y en un 1.9% comentaron que es nada importante. Pero como se muestra en las figuras anteriormente, no conocen las estrategias y los beneficios del branding. De lo anterior se desprende, que los encuestados sí quieren conocer y aplicar el branding en sus negocios con la finalidad de contar con una marca sólida, importante para el crecimiento en sus ventas.

 ISSN: 2007 8102



Figura 8. Herramientas que usa para la publicidad.

En esta figura se puede observar, qué herramientas utilizan los empresarios para diseñar su propia publicidad con lo cual, el 24.1% respondió que no utiliza ninguna herramienta, el 22.4% contestó que usa PhotoRoom, el otro 22.4% utiliza PicsArt, un 17.2% usan TikTok y el resto emplean Canva. Los expertos comentan que sí es necesario contar con herramientas digitales en publicidad que, impulsen al negocio en el logro de los objetivos.

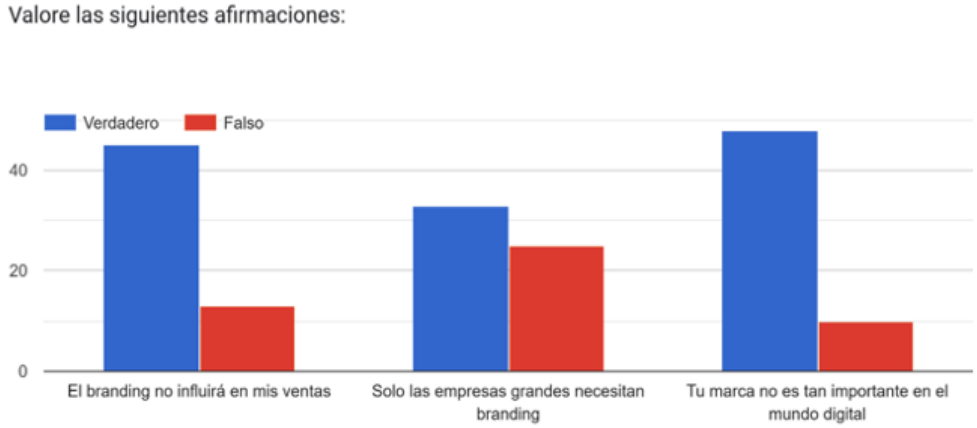


Figura 9. Valoración de tres afirmaciones.

De la muestra estudiada, más de 40 encuestados respondieron como verdadera las siguientes afirmaciones: “el branding no influirá en mis ventas” y “tu marca no es tan importante en el mundo digital”. Por otro lado, menos de 40 encuestados asignaron como verdadero: “sólo las empresas grandes necesitan del branding”. Es notorio que las micro y pequeñas empresas de la región en estudio, necesitan comprender la aplicación profesional del branding en sus negocios.

 ISSN: 2007 8102

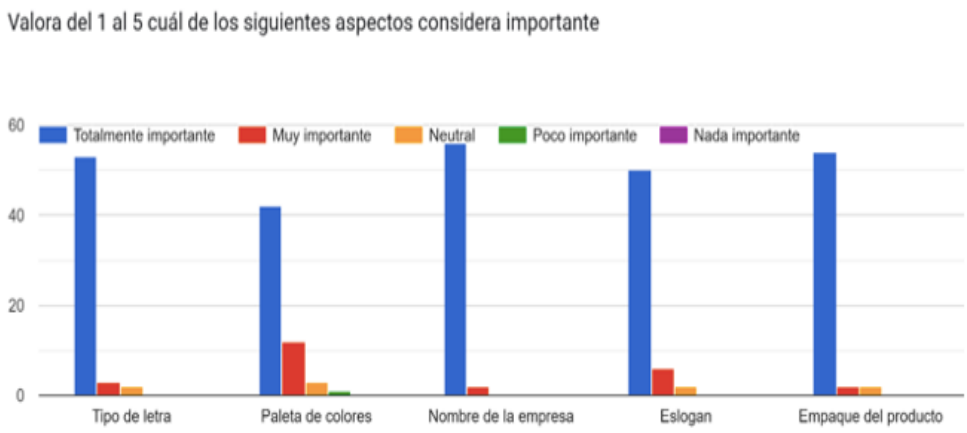


Figura 10. Aspectos importantes en su negocio.

Como se puede observar de los cinco aspectos que se mencionan en esta figura, se tiene que, para la *categoría totalmente importante*, contestaron: 51 personas por tipo de letras; para la paleta de colores 41; 56 por nombre de la empresa; para el eslogan 50 y 53 por el aspecto empaque del producto.

Discusión

De acuerdo a los resultados del análisis de datos, se debe de tomar en cuenta lo que mencionan los siguientes autores ya que, como se puede observar los sujetos de análisis estudiados, carecen de una visión profesional sobre la aplicación de la herramienta del branding y del uso de la tecnología para darse a conocer.

En el entorno de intensa competencia que las organizaciones enfrentan hoy en día, una marca fuerte es una fuente probada de ventaja competitiva (Barney, 2014; Becerra *et al.*, 2016) [5]. De ahí la preocupación de las empresas por influir en el significado que tinen sus marcas para los consumidores, aplicando la gestión estratégica de marca.

En el mundo existen innumerables marcas, las empresas hacen todo lo necesario para lograr la diferenciación en relación con la competencia, por ello implementan acciones diversas para buscar su posicionamiento [6]. Según Ríos (2014), el branding es el arte de concebir, edificar y posicionar una marca, interactuando con el público meta, con el propósito de conseguir un vínculo emocional.

El creciente y competitivo mercado global obliga a las empresas a diferenciarse de mejor manera y crear vínculos duraderos con sus clientes, es así que entra en acción el Branding. En este sentido las empresas se ven obligadas a la utilización y puesta en práctica de lo que es el Branding, para poder primero, crear una marca, y posteriormente construirla con base a valores y una personalidad, propia de cada empresa [7].

Trabajo a futuro

Una vez obtenida la información del presente estudio, se sugiere dar continuidad con el diseño de estrategias para mejorar la aplicación del branding y así hacer que las micro y pequeñas empresas de los Tuxtlas, se desarrollen en un entorno más sólido y sustentable.

Conclusiones

Con base al análisis de los datos obtenidos, se pudo saber cómo implementan el branding las micro y pequeñas empresas de la región de los Tuxtlas, destacando los siguientes puntos clave: a) desconocimiento del branding y sus estrategias; b) el branding y su influencia en las ventas, y c) la relación del branding con las marcas. Por lo anterior, es conveniente que los microempresarios valoren la aplicación profesional del branding en sus negocios para generar más conciencia de sus marcas, estimular el incremento en sus ventas, atraer nuevos segmentos de clientes, entre otros.

Agradecimientos

Al instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla por todo su apoyo, al igual que a las MiyP de la región de los Tuxtlas que participaron en contestar la encuesta.

ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] L. Mantalla, Retos empresariales tras el Coronavirus COVID-19, Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Programa de Economía, Especialización en Administración Financiera, 2020.

[2] F. Melchor, E. Márquez y V. Estrada, "Personal branding y personal marketing: procesos complementarios centrados en la marca personal," *The Anáhuac journal,* vol. 21, no. 2, pp. 104-129, 2021.

[3] C. Tamayo e I. Silva, Técnicas e instrumentos de recolección de datos, Documento académico, Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote, Ciencias de la educación, Perú, s/f

[4] R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, Metodología de la investigación, México: McGraw Hill, 2006.

[5] E. Murillo, “Brandig interno en organizaciones de comercio minorista: un estudio en una cadena de farmacias,” *Mercados y Negocios*, vol. 21, no. 42, pp. 27-50, 2020.

[6] R. Fernández, A. Cutipa, W. Aragón, R. Mamani y E. Puma, “El branding interno y posicionamiento en una Universidad Pública de Puno-Perú,” *Investigación y Negocios*, vol. 13, no. 22, pp. 127-134, 2020.

[7] M. López, V. Revilla, A. Daza, “Branding para el sostenimiento de emprendimientos y futuras empresas,” *Investigación y Negocios*, vol. 12, no. 20, pp. 7-18, 2019.

ISSN: 2007 8102

Importancia y diseño de un plan estratégico en la promoción de las carreras de Ingeniería

Dra. L.A Viñas Meza[1], Mtra. P. Ochoa Trujillo[2], Mtro. E. Degante Aguilar[3], Mtro. E. Vázquez Benito[4]*

[1]División de Ingeniería en Gestión Empresarial [2 3 4]División de Ingeniería en Informática, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II S/N 73960 Teziutlán, Pue, México

[1]luisa.vm@teziutlan.tecnm.mx, [2] patricia.ot@teziutlan.tecnm.mx, [3] edgar.da@teziutlan.tecnm.mx, [4] emmanuel.vb@teziutlan.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

En este proyecto de investigación se presenta un plan estratégico diseñado con la expectativa de que se minimice la tendencia a la baja de los alumnos inscritos de nuevo ingreso en las carreras de ingeniería ofertadas en la Institución, para lo cual se realizó primeramente un plan de marketing para todas las carreras, posteriormente se llevó a cabo el análisis de tendencias en el que se identificaron las oportunidad del mercado, nuevas tendencias en educación, en ingenierías, las competencias que requieren los futuros ingenieros y los desarrollos tecnológicos que impactan el mundo de hoy.

Así mismo se realizó un diagnóstico utilizando las herramientas metodológicas MEFE, MEFI, DOFA, lo que permitió identificar las debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas. Como resultado de estas metodologías se definieron los objetivos, estrategias, responsables, recursos e indicadores que permitirán que las carreras que la institución ofrece vuelvan a posicionarse como las más atractivas de la región.

***Palabras clave**: Macroentorno, Microentorno, Estrategias, Promoción*

Abstract

This research project presents a strategic plan designed with the expectation that the downward trend of newly enrolled students in the engineering careers offered at the Institution is minimized, for which a marketing plan was first carried out. For all majors, a trend analysis was subsequently carried out in which market opportunities, new trends in education and engineering, the skills required by future engineers, and technological developments that impact the world today were identified.

Likewise, a diagnosis was made using the MEFE, MEFI, SWOT methodological tools, which allowed the identification of weaknesses, strengths, opportunities and threats. As a result of these methodologies, the objectives, strategies, managers, resources and indicators were defined that will allow the careers that the institution offers to once again position themselves as the most attractive in the region.

Key words

Macroenvironment, Microenvironment, Strategies, Promotion

ISSN: 2007 8102

Introducción

La planeación estratégica es una herramienta de gestión que admite y apoya a la toma de decisiones en las organizaciones para el beneficio de los fines previstos, asumiendo los cambios que se dan en su contexto. Para Druker la planeación estratégica es el procedimiento constante, apoyado en el conocimiento más desarrollado y viable del futuro, que se utiliza para la toma de decisiones en la actualidad, las cuales involucran riesgos futuros debido a los efectos deseados; es levar a cabo una organización de las actividades necesarias para poner en práctica las decisiones y para medir, con una reevaluación integral, los resultados conseguidos frente a las perspectivas que se hayan forjado. [1]

En este sentido la planeación estratégica facilita a las organizaciones tener directrices que la guíen, teniendo claro los objetivos que se esperan tener en el futuro. Sin embargo, es muy importante tener en cuenta que el objetivo fundamental de la formulación estratégica no es la elaboración del plan estratégico, el propósito fundamental es lograr que la organización pueda establecer una ventaja competitiva y que esta pueda ser perdurable en el tiempo [2].

Es importante entender hoy en día que las organizaciones pertenecen a entornos dinámicos que se encuentran inmersos en constantes cambios cada día más acelerados, ya que deben de ajustarse a las necesidades actuales de los consumidores o los competidores y al el uso de las TIC´S (Tecnologías de Información y Comunicación), lo que exige un ajuste en ellas para poder seguir siendo competitivas por lo que al interior de estas resulta necesario formular estrategias en cada una de las áreas, ya que esto permite establecer metas más claras para poder aprovechar las oportunidades del contexto que las rodea y afrontar las amenazas procedentes de los señala

Por lo tanto, la Planeación Estratégica es un proceso organizacional que busca que la empresa se adapte permanentemente a su entorno, según Chiavenato la planificación consiste en decidir hoy lo que va a hacerse en el futuro", es decir, comprende la determinación de un futuro deseado y las etapas necesarias para realizarlo". Es importante mencionar que la planeación estratégica se debe de llevar a las escuelas de nivel superior, así como es llevada a las empresas, lo que permite que las universidades respondan a sus oportunidades y amenazas que se generan en su entorno ya sean de carácter tecnológico, nuevas áreas profesionales, etc. [1].

El Instituto Tecnológico como líder en Educación Superior de la Región Nororiental siempre ha estado a la vanguardia en todos los aspectos de la educación y en la formación de sus profesionistas como agentes de cambio que promueven el desarrollo integral de la sociedad, así como en la implementación de planes estratégicos, lo que le ha permitido tener un crecimiento organizado y consolidarse como una de las mejores Instituciones.

Sin embargo, en los últimos años el Tecnológico ha enfrentado una tendencia hacia la baja en el número de alumnos de nuevo ingreso, de igual manera que lo están viviendo todas las Universidades en México. Por lo que de acuerdo con la estadística 911 del Tecnológico Nacional de México y los datos proporcionados por el Departamento de Estadística y Evaluación del Instituto del año 2019 al 2022 se presentó una baja del 7.14%, en los alumnos de nuevo ingreso a pesar de la existencia de objetivos planteados e indicadores institucionales que guían las estrategias de oferta educativa, de promoción y difusión en los distintos medios de comunicación y redes sociales [3]. Es importante mencionar que cada División de Ingeniería de las carreras ofertadas poseen necesidades propias, ya que el perfil del estudiante varía de acuerdo con su campo de aplicación por lo que al no contar con un plan estratégico diseñado especialmente para cada ingeniería hace que no se tengan en cuenta las características del entorno actual y la proyección futura de las tendencias tecnológicas, mercado laboral, lo que puede ocasionar perdida en la ventaja competitiva y de oportunidades.

Después de evaluar las estrategias que el instituto utiliza para la oferta educativa y verificar que no están impactando en la superación de las metas establecidas que se tienen para alumnos de nuevo ingreso, se hace pertinente el desarrollo de este proyecto en el que se plantea la realización de una planeación estratégica de mercado para el impulso de las carreras ofertadas por el instituto, teniendo como apoyo información de la situación educativa por la que atraviesa México en estos momentos, así como el estudio de las tendencias que existen en relación a las tecnologías, mercado laboral, entre otras. Con esta información se identificarán las Oportunidades y Fortalezas que el Instituto Tecnológico de Teziutlán tiene en sus ingenierías ofertadas, lo que le permitirá hacer frente a las Amenazaras del ambiente.

 ISSN: 2007 8102

El proceso metodológico inicia con la descripción detallada de la problemática y sus antecedentes, de la misma, posteriormente se plantean la justificación, los objetivos, resultados que se esperan obtener con el desarrollo e implementación del nuevo plan estratégico y metodología aplicada para el desarrollo de los objetivos propuesto y finalmente se exponen los alcances y las limitaciones de este.

Metodología

Descripción general del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, atento a las demandas de la sociedad, y a los principios de la Ley de Educación del Estado de Puebla, se consolida como una Institución cuyo objetivo es lograr una educación de calidad, moderna y eficaz, orientada al servicio, acercándola a las necesidades e intereses de la población, que promueva el uso transparente y eficiente de los recursos humanos, materiales y financieros de que disponga, y que cumpla puntualmente con sus programas de trabajo. Las carreras que se ofrecen actualmente en el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán son: Ingeniería en Gestión Empresarial, Ingeniería en Industrias Alimentarias, Ingeniería en Sistemas Computacionales, Ingeniería Industrial, Ingeniería Informática, Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería en Animación y Efectos Visuales y Licenciatura en Turismo. [4]

Planteamiento del Problema

En el año 2022 el periódico la Jornada publica el artículo “Cae a menos de la mitad cifra de ingresos a universidades” escrito por Laura Poy Solano, en el que explica que a pesar de que la matrícula universitaria se extendió a 66 mil 428 alumnos para el ciclo escolar 2021-2022, el impacto del covid-19 mantiene, por segundo año consecutivo, en un crecimiento moderado el número de quienes logran ingresar a las aulas universitarias en México. Sin embargo, hace incapie en el reporte que emite la Subsecretaría de Educación Superior (SES) donde señala que, en contraste del año 2019-2020, cuando se inscribieron 225 mil 800 alumnos universitarios, en los dos últimos ciclos escolares sumaron apenas 111 mil, es decir, menos de la mitad. [5]

Los Resultados Preliminares de Matrícula y Cobertura de Educación Superior, 2021-2022, con fecha 20 de febrero, muestran que la matrícula ha pasado de 4 millones 685 mil 199 estudiantes matriculados en el ciclo 2020-2021 a 4 millones 751 mil 627 estudiantes para el presente ciclo escolar, lo que supone un aumento de 66,428 alumnos. Las cifras de matrículas de las Instituciones de Educación Superior (IES) muestran un aumento de 6,679 alumnos, mientras que las universidades privadas incrementaron su matrícula a 59 mil 749 estudiantes. [5]

Las IES públicas con mayor reducción de matrícula son el Tecnológico Nacional de México y las Universidades Tecnológicas y Politécnicas, mientras que las Universidades Públicas Estatales y Federales reportan mayor aumento de su matrícula. [5]

El informe dado a conocer durante el tercer periodo ordinario de sesiones del Consejo Nacional para la Coordinación de la Educación Superior (CONACES), señala que el alza en la matrícula profesional viene acompañada de un incremento en la tasa bruta de cobertura, que se estima en 42.4 %, pero la diferencia real es solo por .4 décimas respecto al el ciclo anterior. La modalidad escolar se redujo en 0.25 puntos porcentuales, mientras, que el formato no escolarizado se elevó 0.7 puntos porcentuales [5].

La SES destaca que la tasa de deserción escolar para el curso 2020-2021 fue de 8.9 %, con 336 mil 552 alumnos, abandonaron las aulas, lo que supone un aumento de 0.5 %, respecto al ciclo anterior, donde existió un abandono de 321 mil 239 jóvenes. Por tipo de institución, señala que “el abandono en las IES públicas se incrementó de 1.9 a 8.6 %, mientras que en las privadas fue del 9.5 %”, advierte el documento [5].

El Tecnológico de México Campus Teziutlán, (Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán), no es ajeno a esta realidad, ya que al revisar el número de matriculados nuevos en las diversas carreras que ofrece (ver Figura 1) se encontró que en el Ciclo Escolar 2020-2021 ingresaron 900 alumnos, para el Ciclo Escolar 2021-2022 778 alumnos y en el Ciclo Escolar 2022-2023 806 alumnos.

 ISSN: 2007 8102

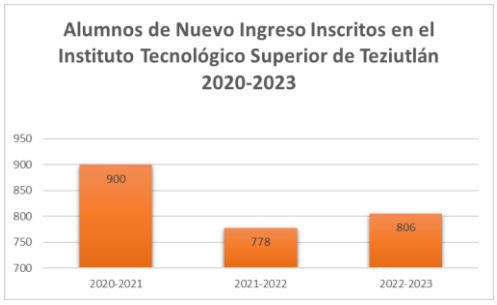


Figura 1. Estadísticas generales, alumnos inscritos en el ITST/2020-2023
Fuente: Estadística 911 TecNM

De alguna manera y a pesar de la situación antes mencionada en el ITST se generó una zona de confort en la que a pesar de los cambios del mismo entorno tales como: cambios en los intereses de la población estudiantil, reducción de la pirámide sociodemográfica, cambios en la situación económica del país, auge en la educación a distancia o virtual, etc. El ITST no tomó acciones para hacer frente a dichas amenazas y se continuaron implementando las mismas estrategias para el impulso de la oferta educativa
.
Así mismo se revisaron las escuelas de nivel medio superior de donde provienen los estudiantes de nuevo ingreso encontrándose una disminución de alumnos procedentes de bachilleratos o preparatorias que usualmente ingresaban a la institución, lo que da como evidencia que existe un porcentaje de la población estudiantil que no está tomando como primera opción para su desarrollo profesional al ITST, como sucedía en años pasados.

La División de Ingeniería en Gestión Empresarial en este momento no cuenta con un plan estratégico alineado a los esfuerzos del Instituto, por el contrario, solo se están realizando estrategias reactivas, es decir estrategias que aminoran los efectos ocasionados por los cambios en el ambiente actual.

Justificación

La realización de esta investigación se hace necesaria debido a como se menciona anteriormente en la problemática y en los antecedentes del problema, que en la actualidad se presenta una disminución de los alumnos matriculados de nuevo ingreso y se están tomando acciones como respuesta a este comportamiento de los alumnos de nivel medio superior, sin un análisis real de la situación actual, por lo que no es posible determinar si estas estrategias son las pertinentes para minimizar la problemática.

Así mismo es importante señalar que cada División de Carrera ha implementado acciones que consideran pertinentes para impactar en los jóvenes prospectos incurriendo en reprocesos e ineficiencias.

Es relevante, el desarrollo de un plan de marketing para el impulso de cada una de las carreras que se ofertan en el ITST, ya que permitirá sincronizar los quehaceres en distintas áreas involucradas relacionadas con la promoción de los programas de ingeniería y de esta manera lograr un impacto mayor al realizar la implementación de cada una de las estrategias. Adicionalmente, será posible identificar oportunidades que cada División pueda aprovechar para consolidar su ventaja competitiva y las áreas de mejora que se deben mejorar para lograr el objetivo planteado.

Objetivo General

Diseñar un plan estratégico de marketing para los programas educativos del ITST, basado en el análisis de tendencias, con la finalidad de incrementar la población estudiantil de nuevo ingreso.

Fases Metodológicas del Proyecto

El desarrollo del plan estratégico se realiza en cuatro etapas las cuales se describen a continuación:

 ISSN: 2007 8102

Fase I. Análisis de Tendencias

La Tabla 1 Plantea la recopilación de información de fuentes documentadas relacionadas con el comportamiento de la educación superior en el entorno local y nacional, con la finalidad de entender el mercado actual. Así mismo se consultan de igual manera en fuentes de información las características de los estudiantes de las nuevas generaciones, lo que incide en ellos y lo que los motiva al momento de la búsqueda de una carrera profesional, así como las tendencias en tecnologías de la Información, educación en ingenierías y en el mercado laboral.

Tabla 1. Etapa Metodológica. Recolección de Información. Fuente: Elaboración Propia

Etapa Metodológica	Descripción	Objetivo	Resultado	Herramientas
Recolección y Revisión de Información	-Consultar Fuentes Primarias Consultar Fuentes Secundarias -Consulta con expertos en el área Análisis y Documentación de la Información	Realizar un análisis de las tendencias en tecnología, educación en ingeniería y en el mercado laboral, con la finalidad de evaluar la situación actual.	Documentación con los hallazgos de la información relevante para el desarrollo del proyecto	Base de Datos Fuentes de Información

:

Fase II. Diagnóstico

En la Tabla 2 se presenta la fase para implementar la Matriz MEFE y poder realizar un análisis de los factores Internos y Externos, adicionalmente en esta fase, se realiza un análisis del sector educativo mediante el Diamante de Porter para el análisis de las 5 fuerzas competitivas y por último se identifican las Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas del ISTS con ayuda de la Matriz DOFA.

Tabla 2. Etapa Metodológica. Diagnóstico. Fuente: Elaboración Propia

Etapa Metodológica	Descripción	Objetivo	Resultado	Herramientas
Diagnóstico	- Obtención de la información para el análisis del entorno externo o interno de cada una de las divisiones de carrera - Análisis del sector educativos, selección de las variables del sector más relevante en la problemática y realización del análisis del sector a través de las 5 Fuerzas de Porter. Análisis del Macroentorno y Microentorno, selección de las variables y realizar el análisis de la Matriz MEFE y MEFI	Realizar un estudio de los principales factores externos e internos que inciden en el número de matriculados de nuevo ingreso de cada una de las carreras ofertadas, que permita identificar las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de cada una de ellas.	Informe con el análisis interno y externo, donde se especifiquen las debilidad, fortalezas, oportunidades y amenazas de cada una de las carreras.	-Contacto vía correo y whasApp con las áreas involucradas. -Matriz MEF MEFI, Análisis PESTEL, Análisis de las 5 fuerzas de Porter y matriz FODA:

Fase III. Desarrollo del plan de Marketing

En esta fase como se observa en la Tabla 3, se tienen como elementos las oportunidades y amenazas derivadas del entorno, así como las fortalezas y debilidades internas lo que conlleva a realización de la matriz DOFA, la cual nos permite reconstruir estrategias. Se evaluará la factibilidad de estas teniendo en cuenta los recursos físicos, económicos y de personal con que se cuenta para la ejecución. Finalmente se establece un documento donde se plasme el plan estratégico del ITST y de la División de IGE, con cada una de las dimensiones que se consideran relevantes.

Tabla 3. Etapa Metodológica. Desarrollo del Plan de Marketing. Fuente: Elaboración Propia

Etapa Metodológica	Descripción	Objetivo	Resultado	Herramientas
Definición de Estrategias e Indicadores	- Definición de los Objetivos de Marketing. -Diseño de las estrategias de marketing -Elaboración del Plan de mercadeo	Definir los objetivos del plan de marketing de acuerdo con las estrategias institucionales	Plan de mercadeo con estrategias e indicadores para impulso de las carreras ofertadas	-Grupos focales con las divisiones de cada carrera. -Análisis PESTEL

ISSN: 2007 8102

Fase IV. Plan de Implementación

La Tabla 4, corresponde a la última fase del proyecto, en la que se realiza un documento con la estructura de implementación del plan, con la finalidad de tener una guía para la puesta en marcha de este. Así mismo, en esta fase se socializará el plan de marketing diseñado junto con el plan de implementación a todas las personas involucradas directamente con su ejecución de este.

Tabla 4. Etapa Metodológica. Documentación y Cierre del Proyecto. Fuente: Elaboración Propia

Etapa Metodológica	Descripción	Objetivo	Resultado	Herramientas
Documentación y Cierre del Proyecto	Diseño y documentación de la estructura de implementación del plan, donde se dan las pautas necesarias para la puesta en marcha en conjunto con los responsables.	Diseñar la estructura de implementación para el plan de marketing	Informe final del proyecto	Base de Datos

Alcance y Limitaciones

El diseño del plan de marketing orientado al impulso de los programas de ingeniería del ITST se inicia su implementación en el mes de agosto de 2022 hasta junio 2023. Este estudio se limita a las tendencias en TIC´s en educación y en el mercado laboral.

Una vez presentadas cada una de las fases los resultados más significativos relacionados con las tendencias en educación e ingeniería donde actualmente la educación se encuentra en una etapa de transformación fundamental influenciada por la cuarta revolución industrial (4RI), la cual ha sido denominada revolución por el impacto y los cambios que está trayendo consigo la implementación de la llamada industria 4.0, entendiendo a esta como un sistema socio-técnico que reconfigura la relación entre personas y organizaciones tecnológicas y sistemas de producción y consumo, proponiendo una nueva relación entre la sociedad e industria basada en el proceso de digitalización [6].

Algunas de las tecnologías sobre las que se fundamenta la industria 4.0 ya se están implementando en algunas empresas, sin embargo, aún de manera aislada y no de forma integrada como propone la propia industria 4.0. Dentro de las tecnologías empleadas se encuentran: Big Data y Analítica de Datos, Robots Autónomos, Simulación en 3D y Vertical de sistemas, Internet de las cosas, Cloud Comupting (la nube), Ciberseguridad, Realidad Aumentada, Impresión 3D.

Nos enfrentamos a un mundo hiperconectado, en el que es un gran reto para las empresas captar la atención de sus clientes, en este panorama no es suficiente con poseer productos o servicios de calidad, sino que los usuarios esperan tener una comunicación rápida directa con sus proveedores de bienes o servicios, por tanto, aquellas empresas que logren establecer un canal de comunicación ágil con sus clientes actuales y potenciales son aquellas que sobrevivirán. Por lo que para la educación es una era de mayores cambios ya que los avances tecnológicos actuales exigen de los futuros profesionistas una serie de habilidades y conocimientos específicos, por lo tanto es importante menciona que se requieren cambios sustanciales en los planes de estudios de ciencia y tecnología para permitir que los estudiantes desarrollen capacidades en las áreas rápidamente emergentes de ciencias de datos, IA (Inteligencia Artificial), robótica, nanomateriales, entre otras más.

Por lo anterior también los avances tecnológicos están transformando las ocupaciones actuales, en este sentido existen diversos estudios que estiman el impacto de las tecnologías en el mercado laboral teniendo en cuenta su posición frente al futuro de las ocupaciones, donde algunos plantean un escenario pesimista y otros bosquejan una visión positiva del futuro.

Las tareas menos afectadas por esta transformación digital serán aquellas que necesitan obligatoriamente las habilidades de un humano, tales como la creatividad, la motivación, la innovación, la cooperación, la intuición, la capacidad de comunicar y emprender, la persuasión y la originalidad.

 ISSN: 2007 8102

Otro hallazgo importante es que los jóvenes actuales no dan prevalencia a los rankings para seleccionar la institución donde desean realizar sus estudios, sino que buscan aquellas que les permita desarrollar sus habilidades y seleccionar sus intereses.

Las instituciones de educación superior identificadas como lideres actuales de acuerdo con el Ranking QS Latin America University, y que son las Universidades de México mejor posicionadas en Latinoamérica a nivel general son: UNAM (#4), Tecnológico de Monterrey (#6), Instituto Politécnico Nacional (#23), Universidad Autónoma Metropolitana (#29), Universidad Iberoamericana (#39), ITAM (#42), Universidad de Guadalajara (#47), Universidad Autónoma de Nuevo León (#55), UDLAP de Puebla (#56), Universidad Anáhuac (#63. [7]

Sin embargo, al enfocarse únicamente en las carreras de Ingeniería, las posiciones cambian tomando como referencia datos relevantes como sus campus, carreras, servicios y calificaciones promedio que obtienen según la apreciación de estudiantes, profesores, encuestas online, la comunidad en general y por sobre todo de rankings oficiales. El Ranking queda de la siguiente manera #1 Universidad Autónoma de México. #2 Tecnológico de Monterrey, #3 Instituto Politécnico Nacional, #7 Universidad de Guadalajara, #8 Universidad de Nuevo León. [7]

Otro de los aspectos importantes a considerar en este proyecto corresponde al estudio y análisis de las características de las nuevas generaciones, es por ello por lo que se agregan las características más relevantes de los centennials grupo generacional de los nacidos entre 1995 y 2000, también conocidos con el nombre de generación Z, Postmillenial o Generación Copo de Nieve, dentro sus características principales se encuentran: Son mucho más con reflexivos del cuidado del medio ambiente, son la generación que más especies naturales ha visto desaparecer en el mundo, la que ha visto mayor escasez de agua y mayor cambio climático. Tienen una mentalidad más global. Interactúan con el entorno digital con gente de todas partes del mundo, ellos sienten que ya no hay fronteras. Están desilusionados de la enseñanza tradicional prefieren opciones más prácticas, rápidas y trasladadas a la vida real. Les gusta aprender de forma autónoma. Las redes sociales que más usan son YouTube, Snapchat, Instagram, Tik Tok y por último Facebook. Para comunicarse prefieren WhatsApp por lo que correo electrónico está en el pasado.

Diagnóstico

En este apartado se realiza el análisis de la situación actual, el cual facilita la detección de Debilidades y Fortalezas, al interior del ITST que permitirán desarrollar las estrategias del plan estratégico de marketing. Para la elaboración del análisis externo fue necesario obtener y analizar la información relaciona con el Macro y Microentorno para ellos se utilizó las Matriz MEFE.

Dentro del contexto actual en le ITST las labores de promoción y publicidad son realizadas en conjunto por distintos departamentos, entre los que se encuentran: Subdirección de Vinculación, Oficina de Admisiones, Departamento de Becas, Departamento de Actividades Extraescolares y cada una de las Divisiones de las diversas carreras, quienes desde las coordinaciones del programa apoyan a la implementación de estrategias establecidas por la Dirección General, realizando la promoción de las diversas ingenierías ofertadas con los estudiante de colegios, padres de familia y colegios de la región, a través de actividades como ferias, rondas profesionales y charlas informativas.

Teniendo en cuenta lo anterior se selecciona un grupo focal con la finalidad de analizar las variables que afectan la promoción, analizando diversos aspectos que se consideran relevantes para el análisis interno. En el grupo focal participaron los jefes de división de cada una de las carreras, así como un representante de cada departamento o área involucrada en el proceso de oferta educativa. Posteriormente se analizaron cada una de las áreas propuestas por la metodología MEFI (logística interna, operaciones, logística externa, mercadeo y ventas, servicio postventa) y se definieron las variables para cada una de ellas, a las cuales se les asigno una calificación, de acuerdo con la siguiente escala: 1- Debilidad importante, 2- Debilidad menor, 3- Fortaleza menor, 4-Fortaleza mayor.

La matriz MEFI permitió identificar que si bien los procesos de admisión e inscripción están estandarizados la coordinación entre las oficinas encargadas no tienen claro cuando intervienen cada una de ellas lo que puede repercutir en la perdida de posibles estudiantes. Como mayor debilidad se encontró el uso inadecuado de los canales de comunicación con los interesados (prospectos, colegios, padres de familia) así como la falta de métrica de evaluación de las estrategias inadecuadas y existe una falta de trazabilidad clara del proceso y quién debe realizar el contacto en cada fase.

ISSN: 2007 8102

Para el análisis externo se realizó un estudio del Macroentorno y el Microentorno, con la ayuda de la matriz MEFE, evaluando la información económica, ambiental, política, gubernamental, social, jurídica, tecnológica y competitiva en la que se encuentra inmersa el ITST, así mismo, se realizó una encuesta al grupo focal con el fin de analizar aspectos de cada uno de los entornos que plantea la perspectiva de PESTEL (Político, Económico, Sociocultural, Tecnológicos, Ecológico. Legal-Jurídico. Las variables que arrojaron mayor ponderación corresponden a la del entorno social y económico, en las cuales se encontraron como amenazas relevantes los cambios en los hábitos e intereses de las nuevas generaciones, quienes no asocian el éxito profesional y personal necesariamente con un título ya que han visto que existen otras alternativas para genera ingresos, además de que la forma de comunicarse se encuentra medida por las tecnologías.

Resultados

Inicialmente, se realizó un análisis de las tendencias tecnológicas en el mercado laboral y en educación de las cuales se obtiene como factor importante que de acuerdo con las dinámicas actuales es necesario ajustar los canales de comunicación, es decir reforzar la presencia de las diferentes carreras ofertadas en redes sociales con la finalidad de generar mayor interacción con los prospectos.

De acuerdo con los análisis realizados mediante las diversas herramientas de planeación estratégica se establecen objetivos y estrategias claras que guiarán el diseño e implementación de las actividades de promoción 2023, lo que permitirá fortalecer el posicionamiento de las ingenierías ofertadas e implementar mejoras en los procesos para brindar información oportuna a cada uno de los prospectos y sus familias, logrando de esta manera un mayor número de estudiantes matriculados en cada una de las carreras.

El análisis del entorno refleja que el sector de la educación superior actualmente se encuentra en un entorno amenazante, ya que en el desarrollo de las TIC´s han ingresado nuevos competidores que ofrecen programas académicos 100% virtuales debido a la influencia del internet y las redes sociales por lo que los jóvenes han perdido el interés en el sistema educativo tradicional, lo que conlleva a replantear las estrategias de promoción y comunicación.

En el análisis interno se detectó que existen Debilidades en el proceso de inscripción del prospecto matriculado, destacando que existe una actualización en la realización de su preinscripción la cual es mediante la página web, sin embargo, el proceso posterior es muy tardado ya que los prospectos tienen que pasar por varias áreas administrativas para los diversos trámites.

En lo que respecta a sus Fortalezas del ITST se puede destacar principalmente que 6 de la 8 carreras que ofrece se encuentran acreditadas ante una casa certificadora como CACEI, cuenta con 2 Posgrados uno en el área de sistemas y el otro para ingeniería industrial y gestión empresarial, sus docentes pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores (SIN), así como a Cuerpos Académicos y han sido reconocidos como Profesores Investigadores por PRODEP por otra parte la infraestructura física y tecnológica con la que cuenta le permite hacer frente a las Amenazas de sus competidores.

Adicionalmente se encontraron tres tipos de perfiles de estudiantes los cuales permitieron agrupar el segmento de mercado seleccionado en 3 grupos de acuerdo con las características de estos, lo que permitió el establecimiento de estrategias y actividades que generaran mayor empatía con los futuros estudiantes para lograr una mayor fidelización de estos.

Para garantizar la funcionalidad de las estrategias se diseñará un sistema de indicadores que permitirán hacer medición y control de las actividades garantizando el cumplimiento de los objetivos e identificar las falencias en las estrategias establecidas para tomar medidas correctivas.

Derivado de lo anterior se describieron a detalle cada una de las actividades y estrategias, así como los responsables y los recursos que se requerirán para la implementación del plan de marketing.

 ISSN: 2007 8102

Trabajo a Futuro

Es importante hacer mención que para que para que se puedan alcanzar cada uno de los objetivos estratégicos del plan de marketing se necesita la participación y compromiso de los directivos, personal administrativo y docentes, ya que para la ejecución de las estrategias se requiere una alineación entre todos los involucrados en el proceso de promoción de los programas académicos.

Así mismo es necesario realizar constantemente un monitoreo del mercado para poder anticiparnos a las posibles amenazas del entorno, así como evaluar a través de los indicadores establecidos la efectividad de las estrategias diseñadas ya que esto permitirá determinar si estás están acercando a la institución al cumplimiento de sus objetivos.

Se sugiere abordar a futuro un proyecto de análisis detallado del currículo de los programas académicos ya que, de acuerdo con los hallazgos encontrados luego de los estudios de tendencias se encontró que es necesario que los planes de estudio se adapten a las dinámicas actuales ofreciendo a los estudiantes la posibilidad de seleccionar sus intereses e intercambiar ideas y experiencias con estudiantes de otras disciplinas.

Conclusiones

Si bien el ITST se ha caracterizado por ser una institución líder ya que su crecimiento ha sido resultado de la planeación consciente en todas las áreas de la institución tal como se describe en el planteamiento del problema particularmente en las estrategias de promoción, el ITST no contaba con un plan estratégico de marketing que orientara cada una de las actividades para la promoción de sus carreras, sino que estas se realizaban de manera aislada, además de que dichas estrategias han permanecido constantes en el tiempo pese a los cambios en los hábitos e intereses de los estudiantes potenciales y como consecuencia se ha presentado una disminución en el número de inscritos y matriculados de nuevo ingreso.

De acuerdo con lo anterior se establecieron los indicadores que permitieron evaluar el cumplimiento de los objetivos, metas y estrategias. Teniendo como objetivo 1. Dar a conocer las ventajas competitivas de cada una de las carreras a los diversos públicos objetivos con la finalidad de apoyar el posicionamiento de cada una de ellas. La estrategia consistió en dar atención personalizada y diferenciada a cada una de las instituciones donde mas se ha perdido participación. Las actividades establecidas fueron; visitas académicas a los laboratorios una vez al mes de acuerdo al perfil de la especialidad que están cursando los alumnos en su bachillerato durante los meses de septiembre, octubre, noviembre 2022 y febrero, marzo, abril y mayo 2023, así mismo se realizaron platicas con alumnos egresados y estudiantes destacados. Se llevó a cabo un foro de experiencias internacionales donde participaron alumnos y egresados que realizaron algún tipo de movilidad internacional.

Objetivo 2. Mejorar el filtro de transformación para aumentar el número de alumnos inscritos y admitidos para que sea oficial la matricula. La periodicidad de medición fue semestral. Para el cumplimiento de este objetivo se establecieron 2 indicadores, el primero que tuvo que ver con el porcentaje de prospectos interesados en finalizar su proceso de inscripción y el segundo con el porcentaje de alumnos inscritos en alguna de las carreras ofertadas por el instituto. La meta fijada fue del 10% con respecto al semestre inmediato anterior. Las estrategias consistieron en una atención personalizada a estudiantes, padres de familia e Instituciones de Nivel Medio Superior, correo de bienvenida personalizado para los aspirantes aceptados por parte de Dirección General y jefe de Carrera.

Finalmente es importante mencionar que hasta el 30 de julio de este año el proceso de admisión se ha logrado un incremento del 20% de alumnos interesados en estudiar en el instituto, superando la meta establecida.

Referencias

[1] C. Idalberto, Planeación Estratégica fundamentos y Aplicaciones, México D.F: Mc Graw Hill, 2016.

[2] T. R. D., Dirección estratégica El nuevo enfoque hacia la competitividad, Medellin, Col.: EIA, s.f..

ISSN: 2007 8102

[3] «https://teziutlan.tecnm.mx/index.php/departamento-de-estadistica-y-evaluacion/,» [En línea]. Available: https://teziutlan.tecnm.mx/index.php/departamento-de-estadistica-y-evaluacion/.

[4] I. T. S. d. Teziutlan, «Tec de Teziutlan,» [En línea]. Available: https://teziutlan.tecnm.mx/. [Último acceso: 15 07 2023].

[5] L. Jornada, «La Jornada,» 20 03 2022. [En línea]. Available: https://www.jornada.com.mx/notas/2022/03/20/politica/cae-a-menos-de-la-mitad-cifra-de-ingresos-a-universidades/. [Último acceso: 15 07 2023].

[6] G. B. D. C. P. G. Ana Inés Basco, «Industria 4.0 Fabricando el Futuro,» *Banco Ineramericano de Desarollo Buenos Aires Argentina ,* vol. I, nº 12, p. 123, 2018.

[7] Q. L. America, «QS Latin America University Rankings 2023,» [En línea]. Available: https://www.topuniversities.com/university-rankings/latin-american-university-rankings/2023. [Último acceso: 15 07 2023].

 ISSN: 2007 8102

Desarrollo Tecnológico para el mejoramiento de comandas y su optimización de tiempos en restaurante “PEPE’S”

R. I. Castro Capistrán[1], D. del C. Gamboa Olivares [2], V. L. Hernández Guzmán [3], A. Torreblanca Zorrilla [4], E. E. Corona Mayoral [5].*
[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz, L20020204@veracruz.tecnm.mx
[2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz, delia.go@veracruz.tecnm.mx
[3]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz, L20020224@veracruz.tecnm.mx
[4]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz, adalberto.tz@veracruz.tecnm.mx
[5]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz, elsa.cm@veracruz.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

En este artículo se presentan los resultados en base a la implementación de herramientas tecnológicas, para la optimización del registro de ordenes en el restaurante PEPE´S. De esta manera se demostrará el impacto al implementar el uso de un software y sustituir el uso del menú físico por un código QR para tener fácil acceso al menú digital logrando un efecto minoritario en el tiempo de tomarle la orden a los comensales. Con el objetivo de analizar el sistema de toma de ordenes actual, se utiliza la metodología 8D, para posteriormente proponer dichas mejoras en el área de recepción, identificada como área de oportunidad. Con la implementación de ambas propuestas, y comparación de tiempos con el sistema de comandas actual, considerando que se atienden 25 mesas al día, se obtiene con dichas implementaciones una reducción de los tiempos en la toma de órdenes del 53.78%, equivalente a 69.25 minutos/día.

***Palabras clave**: Optimización, código, implementación.*

Abstract

This article presents the results based on the implementation of technological tools, for the optimization of order registration in the PEPE'S restaurant. In this way, the impact will be demonstrated by implementing the use of software and replacing the use of the physical menu with a QR code to have easy access to the digital menu, achieving a minority effect in the time it takes to take the order from diners. In order to analyze the current order taking system, the 8D methodology is used, to later propose said improvements in the reception area, identified as an area of opportunity. With the implementation of both proposals, and comparison of times with the current order system, considering that 25 tables are served per day, a reduction in order taking times of 53.78% is obtained with said implementations, equivalent to 69.25 minutes. /day.

***Key words**: Optimization, code, implementation.*

Introducción

Toda empresa u organización, tiene como principal objetivo el lograr cumplir las expectativas de sus clientes y a su vez, lograr sobre salir del resto de las empresas, por lo que buscan alcanzar altos niveles de productividad. En este contexto, la tecnología se ha convertido en una herramienta fundamental para lograr ofrecer productos o servicios de calidad. Por ende, la mayoría de las empresas, dirigen parte de su inversión a herramientas tecnológicas y de esta manera lograr la optimización de los procesos, ya que a medida que el ser humano evoluciona con la tecnología que va emergiendo, busca implementarla para dar solución a aquello que limita su desarrollo y al detectarse aspectos que entorpecen una labor en la vida cotidiana o dentro de una empresa, se hace uso de herramientas que den respuesta a sus exigencias [1]. Siendo así, que actualmente la tecnología se ve involucrada en todos lados, los restaurantes no son la excepción, puesto que han buscado innovar la manera en que se toman los pedidos y al mismo tiempo brindar un servicio de la más alta calidad [2]. Justamente, es aquí donde nace la propuesta de llevar a cabo el desarrollo de esta investigación en un restaurante de carnes y mariscos conocido como “Restaurante PEPE’S”. Esta investigación estará enfocada específicamente en el área de recepción, teniendo como finalidad proponer acciones para abordar las inconformidades de los comensales

 ISSN: 2007 8102

las cuales se evidencia por los tiempos de espera, es por ello que se considera de gran importancia implementar mejoras dentro de esta área de oportunidad. Para llevar a cabo la investigación, se utilizó la metodología 8D (8 Disciplinas para la solución de problemas), una herramienta que ayuda a identificar, corregir y eliminar problemas de una forma rápida y efectiva, permitiendo de esta manera desarrollar ventajas competitivas, como el mantener clientes por brindar tanto servicios como productos de calidad. Esta metodología se considera sistemática, ya que está conformada por 8 “disciplinas” las cuales están divididas individualmente, como primera disciplina tenemos la D1: formar un equipo para la solución del problema, D2: definir el problema, D3: desarrollar acciones de contención, D4: identificar la causa raíz, D5: determinar las acciones correctivas permanentes, D6: implementar y validar las acciones correctivas permanentes, D7: prevenir la recurrencia del problema, D8: cerrar el problema y reconocer los esfuerzos del equipo [3]. Además, se aplicarán otras herramientas como las 5W+1H, lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto y actividades que deberán de ser llevadas a cabo por el equipo de trabajo establecido en la D1. Una vez identificada la causa raíz, se establece como objetivo de la investigación minimizar los tiempos en el proceso de registro de órdenes para la optimización de los mismos dentro del sistema de comandas, ya que con el sistema actual, se tiene un tiempo total de 128.75 min/día, considerando que se atienden 25 mesas bajo el mando de dos meseras y que el sistema está conformado por menús físicos, lo cual genera tiempos de espera por parte de los comensales, al igual que en el proceso de registro de órdenes, puesto que se realizan de manera manual en hojas de papel.

Al ser indispensable la tecnología dentro del sector empresarial sin importar el tamaño de la empresa, ya que todas tienen un mismo objetivo, cumplir las expectativas del cliente, se busca implementar un menú digital al cual los comensales podrán acceder desde el momento en el que lleguen al restaurante, únicamente tendrán que escanear un código QR, las cuales sus siglas significan Quick Response, este tipo de código es el sucesor del código de barras, la diferencia es que estos son capaces de alojar más de 7,000 caracteres, lo cual lo hace más útil y eficiente para cumplir con las necesidades actuales [4]. Mientras tanto, esta no será la única propuesta dentro del área de recepción, también la utilización de un software el cual facilitará el registro de órdenes.

Metodología

Para poder llevar a cabo la implementación de herramientas tecnológicas dentro del restaurante PEPE´S, se realizó un análisis sobre las posibles problemáticas que limitan el incremento de la optimización de tiempos dentro del área de recepción del establecimiento, así también como sus posibles soluciones. A continuación, la figura 1 muestra los pasos necesarios para el desarrollo de esta investigación.

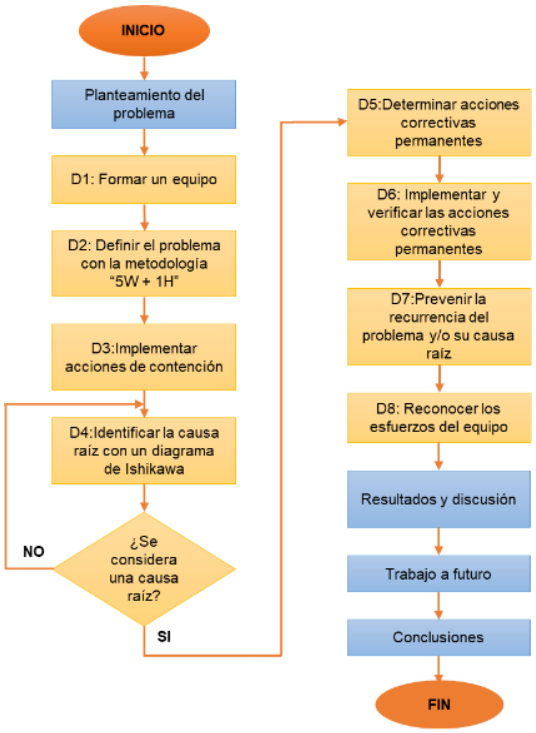


Figura 1.Diagrama de flujo de la metodología utilizada. Fuente: Elaboración propia.

 ISSN: 2007 8102

Como se pudo observar dicha investigación será desarrollada con la metodología 8D (8 Disciplinas para la solución de problemas) o también denominada como Global 8D, publicada como una nueva versión por FORD. El éxito de esta metodología se basa en el cumplimiento organizado de las 8 disciplinas, sin embargo, se deberá planificar para buscar la información necesaria respecto a la problemática [5].Las ventajas de esta metodología influyeron en la selección de esta herramienta para la resolución del problema, ya que aumentan las habilidades para poder solucionar problemas en equipo de manera eficaz e implementar cambios sistémicos necesarios, se obtiene un historial de problemáticas pasadas para evitarlas, permitiendo a su vez tener conocimiento del avance logrado, además con esta metodología se lleva a cabo un análisis de causa raíz y se tiene una mejor comunicación para la gestión y resolución del problema [6].

Planteamiento del problema

PEPE'S es un restaurante familiar dedicado a la preparación de carnes y mariscos, es considerado como uno de los mejores en cuanto a calidad e higiene, ubicado en la carretera Federal Tlapacoyan-Martínez de la Torre y está bajo el mando del señor José Luis Guzmán Vega. No obstante, la realidad competitiva dentro del sector restaurantero supone una oportunidad de crecimiento de la empresa por lo cual es necesario optimizar, siendo una estrategia clave la implementación de herramental tecnológico. Al desconocer la causa principal del problema se optó por desarrollar la investigación con ayuda de la metodología 8D (8 Disciplinas para la solución de problemas), una herramienta que tiene diferentes aplicaciones, puede ser utilizada para conocer el origen de alguna situación, cuando se necesita un equipo de trabajo para abordar el problema o cuando se tienen recursos que pueden ser brindados por la alta dirección [7]. Mientras tanto, el área de oportunidad dentro de la cual se desarrollará esta metodología es, el área de recepción. Dado que, no cuenta con herramientas tecnológicas que optimicen el proceso de registro de órdenes y es el área donde se tiene contacto con el comensal, al buscar brindarle un excelente servicio. Con la aplicación de la metodología 8D y herramientas como las 5W+1H, diagrama de Ishikawa, entre otras, se identificará y analizará la causa raíz para posteriormente dar solución a ella y alcanzar el cumplimiento de la total satisfacción de los comensales.

D1: Formar un equipo

Como fase inicial, se deberá formar un equipo de expertos integrado por miembros centrados en el proyecto y áreas de soporte, lo cual permitirá obtener un buen análisis y determinar las mejores acciones correctivas [8]. Con el propósito de obtener información relevante del área de recepción, los nombres y puesto de las personas seleccionadas para formar parte del equipo de trabajo de esta investigación son mencionados en la figura 2.

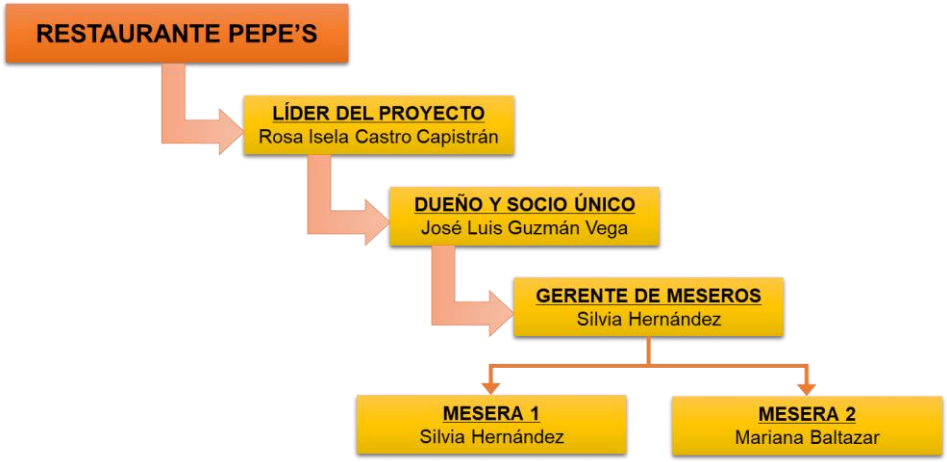


Figura 2.Esquema del equipo de trabajo para la elaboración de soluciones. Fuente: Elaboración propia.

D2: Definir el problema

Dentro del área de recepción se han mostrado inconformidades por parte de los comensales debido a los tiempos de espera presentados desde el momento en el que llega y solicita el menú hasta el momento en el que recibe su platillo. Ahora bien, con el propósito de definir el alcance del problema y acotarlo para posteriormente implementar acciones de contención, la herramienta propuesta para esta disciplina es las 5W+1H, presentada en la tabla 1. Las 5W+1H es una metodología creada por Lasswell (1979), la cual nos ayuda a determinar el problema a través de las siguientes cuestiones en inglés: qué (What), por qué (Why), cuándo (When), dónde (Where), quién

 ISSN: 2007 8102

(Who) y cómo (How), mediante esta lista es posible desarrollar estrategias para la implementación de mejoras [9].

5W+1H	Respuesta
What?/ ¿Qué?	Se detectan tiempos de espera por parte de los comensales, generando inconformidades.
Why?/ ¿Por qué?	Se presentan tiempos de demora al proporcionar el menú, de igual manera antes y durante el registro de las ordenes, para las cuales utilizan hojas de papel.
When?/ ¿Cuándo?	Esta situación se presenta desde el momento en el que llega el comensal y no es atendido de inmediato, haciendo notoria su inconformidad.
Where?/ ¿Dónde?	Se presenta en el restaurante PEPE'S, específicamente en el área de recepción.
Who?/ ¿Quién?	Como gerente de meseros y mesera 1 tenemos a Silvia Hernández y como mesera 2 a Mariana Baltazar, quienes son las responsables del área de recepción.
How? / ¿Cómo?	Las inconformidades y quejas de los comensales son expuesta al no ser atendidos de inmediato, después de solicitar el menú y el registro de su orden.

Tabla 1. Metodología "5W+1H". Fuente: Elaboración propia.

D3: Implementar acciones de contención

Una vez que el equipo de trabajo ha definido el problema, se desarrollaran acciones de contención con el objetivo de contener el problema y evitar que el cliente final sea afectado [5].Con la definición del problema se concluye que la aparición del evento depende de la atención inmediata que reciba el comensal, es por ello que la gerente de meseros la señora Silvia Hernández a cargo del área de recepción, mostro tener una mejor comunicación con la mesera 2 Mariana Baltazar, al asignar el número de mesas las cuales estarán bajo el cargo y supervisión de cada una, de este modo se observó mayor organización para poder atender todas las mesas, evitando a su vez descuidos, aclarando que esta acción será efectiva hasta encontrar la causa raíz.

D4: Identificar la causa raíz

En esta cuarta disciplina se describe el problema, a partir de ello se realiza una lluvia de ideas para encontrar la causa raíz. Se deberá tener en consideración ciertos aspectos como el establecer los pasos para medir y analizar, las herramientas que se utilizaran y una lista de comprobación para el registro de datos [10]. Al ser la lluvia de ideas una herramienta principal dentro de la metodología 8D, ya que tiene el fin de generar ideas tanto rápidas como efectivas para lograr la optimización de tiempos de algún proceso o la mejora continua [11], se optó por llevarla a cabo para el desarrollo de un diagrama de causa-efecto o espina de pescado (Ishikawa) presentado en la figura 3. La cual es una de las herramientas básicas de la calidad, con la cual se ilustra la relación entre la causa y efecto, bajo una estructura integradora de todos los puntos involucrados, puesto que cada causa genera una rama dentro del diagrama que a su vez tienen sub causas [12].



Figura 3.Diagrama espina de pescado (Ishikawa). Fuente: Elaboración propia.

 ISSN: 2007 8102

Con base al diagrama de Ishikawa se identificaron 5 factores los cuales afectan directamente el tiempo de espera por parte de los comensales, estos son: el contar con un sistema de comandas ambiguo, la cantidad de menús es insuficiente, alta demanda, el realizar el registro de órdenes de forma arbitraria y la falta de organización entre las meseras. Teniendo esta información se decidió preguntar a 50 comensales, de los 5 factores mencionados ¿cuál es la causante principal de su inconformidad al realizar su orden? En base a la información obtenida, se realizó un diagrama de Pareto en la figura 3. Es un gráfico que nos muestra los porcentajes acumulados de las causas de mayor importancia que originan el problema, las cuales un 20% de ellas producen un 80% de afectaciones [13]. Donde se puede observar que el factor principal que influye en las inconformidades de los clientes es tener un sistema de comandas ambiguo con un 36%.

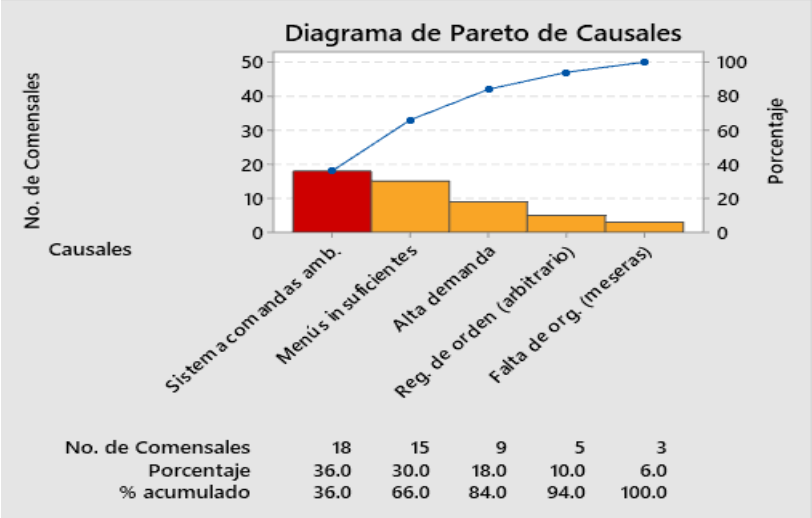


Figura 4.Diagrama de Pareto de Causales. Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificado que la causa raíz es el contar con sistema de comandas ambiguo, se le pregunto nuevamente a 50 comensales ¿cuál era el tiempo total adecuado para el registro de órdenes de una mesa de 4 personas?, en base a los resultados se espera que la orden sea registrada en un tiempo promedio de 2.3 minutos, considerando este valor como objetivo a alcanzar.

D5: Determinar las acciones correctivas permanentes

Visto que la causa raíz del problema es la falta de un sistema de comandas actualizado, se determina que una medida correctiva permanente es la implementación de un código QR el cual se encuentra representado en la figura 5, este permitirá al comensal tener fácil acceso al menú del restaurante PEPE'S desde el momento en que llegue al establecimiento, eliminando de esta manera el tiempo de espera por un menú físico. Un lugar estratégico para la colocación de los códigos QR son los servilleteros de cada una de las mesas, como se muestra en la figura 6, lo que incidirá que el comensal lo vea de inmediato.

Figura 5. Código QR del menú con ayuda de Adobe Express. Fuente: Elaboración propia.



Figura 6. Mesa del restaurante PEPE'S. Fuente: Proporcionada por restaurante PEPE'S.

 ISSN: 2007 8102

Un segundo aspecto por mejorar dentro del sistema es la forma de registro de las ordenes, las cuales se realizan sobre hojas de papel, por este motivo se propone la implementación de un software, representado en la figura 7 y 8, el cual permitirá a las meseras realizar el registro de manera fácil y rápida. Además, es importante aclarar que este software deberá ser instalado en tabletas, puesto que los celulares de las meseras no se consideran lo suficientemente aptos para llevar a cabo el registro.

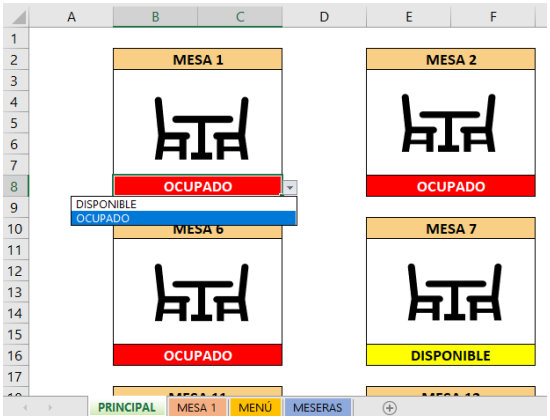


Figura 7. Página principal del sistema de comandas. Fuente: Tomado/Adaptado [14].

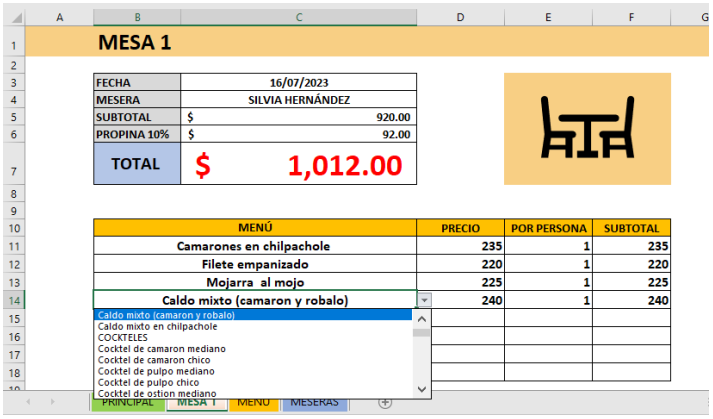


Figura 8. Sistema de comandas para la mesa 1. Fuente: Tomado/Adaptado [15].

D6: Implementar y verificar las acciones correctivas permanentes

En base a las acciones correctivas establecidas en la etapa anterior se procederá a asignar las actividades y fechas correspondientes al equipo de trabajo para posteriormente llevar a cabo su comprobación efectiva y eliminar el problema [16]. Debido a que se requiere el cambio y remplazo de los componentes del sistema de comandas, el equipo de trabajo será el encargado de la implementación de dichos aspectos. Así mismo, estos serán debidamente probados previo al cambio permanente, puesto que se requiere de una inversión para la adquisición de las tabletas. En la tabla 2 se muestra un formato para la toma de los tiempos en el registro de órdenes.

"ESTUDIO DE TIEMPOS DE REGISTRO DE ORDENES"

Área:	Recepción	**Fecha:**	Julio 2023	**Observado por:**	Rosa Isela Castro Capistrán	
Herramientas:	**Sistema Actual**			**Sistema Propuesto**		
	Menú físico, hojas de papel y lapicero.			Código QR, Software y tableta.		
No. De mesa (4 personas)	**Tpo. De espera por el menú**	**Tpo. De registro de la orden**	**TOTAL TO**	**Tpo. De espera por el menú**	**Tpo. De registro de la orden**	**TOTAL TO**
1	2	4	6	0	3	3
2	1.5	4.2	5.7	0	2	2
3	2	3.2	5.2	0	2.3	2.3
4	1	2.6	3.6	0	2	2
5	1.5	3.2	4.7	0	2.6	2.6
6	1.5	4	5.5	0	2.4	2.4
7	2	3.6	5.6	0	2.2	2.2
8	1.5	3.4	4.9	0	2	2
9	1.5	4	5.5	0	2.3	2.3
10	2	2.8	4.8	0	3	3
		PROMEDIO	5.15		PROMEDIO	2.38

Tabla 2.Formato para la toma de tiempos. Fuente: Elaboración propia.

 ISSN: 2007 8102

D7: Prevenir la recurrencia del problema y/o su causa raíz

Para la prevención de la recurrencia se requiere del apoyo de la gerente de meseros y encarga del área de recepción, la señora Silvia Hernández quien es la responsable de llevar a cabo las siguientes pautas mencionadas en la tabla 3, a su vez se requerirá del apoyo y supervisión del señor José Luis Guzmán Vega. Estas acciones previenen la recurrencia del problema y los efectos negativos que podrían surgir durante la implementación [5].

		“HOJA ESTANDAR”				**Elaborado por:**	
						Rosa Isela Castro Capistrán	
Lugar:	Restaurante PEPE'S		**Operación:**	Mant. del sistema		**Fecha:**	Julio 2023
Área:	Recepción		**Turno:**	Mixto	✚ Seguridad	◆ Calidad	● Consejo
Código:	SCP-22		**No. Operadores**	2			
NO.	**Símbolo**	**Actividad**	**Descripción de actividad**		**Herramienta**	**Frecuencia**	**Responsable**
1	✚ ◆	Verificar la visibilidad del código QR	Verificar la visibilidad de cada uno de los QR del restaurante, en caso de no serlo, cambiarlos.		Tableta	Semestral	Gerente de meseros
2	✚	Actualizar código QR	Actualizar el código QR en caso de la realización de cambios en el menú.		Software Adobe Express y Google Drive	Anual	Gerente de meseros y dueño del restaurante
3	✚ ◆	Verificación del uso correcto del software	Verificar que las maseras usen correctamente el software. Dar capacitación en caso de ser necesario.		Tableta Capacitación	Semanal	Dueño del restaurante
4	✚ ◆ ●	Instructivo para el manejo correcto del software	Elaborar un instructivo que contenga los pasos necesarios para el manejo correcto del software.		Software para diseñar instructivo	Anual	Dueño del restaurante
5	●	Instructivo para escanear QR	Elaborar un instructivo que contenga los pasos para escanear el código QR, en dado caso que se noten dificultades.		Software para diseñar instructivo	Anual	Gerente de meseros
6	✚ ◆	Verificar la visibilidad del instructivo para escanear el QR	Verificar que los instructivos implementados sigan siendo visibles para los comensales, en caso de no serlo, cambiarlos.		Software para diseñar instructivo	Semestral	Gerente de meseros

Tabla 3. Hoja estándar. Fuente: Elaboración propia.

D8: Reconocer los esfuerzos del equipo

En esta última disciplina se reconoce el esfuerzo del equipo a lo largo del proceso, de no hacerlo es posible que para actividades posteriores el equipo se rehusé a cooperar, mientras tanto, se puede crear un sistema de recompensas, no necesariamente monetario [10].Una vez realizada la prueba y análisis previos al cambio permanente, el propietario del restaurante el señor José Luis Guzmán Vega estuvo consciente de la causa raíz que origina que sus clientes tengan inconformidades por los tiempos de espera. A su vez, agradeció y reconoció la ayuda del personal encargado del área de recepción, la gerente de meseros la señora Silvia Hernández y la mesera 2 la señora Mariana Baltazar, quienes apoyaron en la solución de este problema y en vista de que los resultados fueron positivos en el sistema de comandas, se les invita a seguir contribuyendo para futuras mejoras del área. Una herramienta para ayudar a seguir reconociendo el esfuerzo del equipo es, el muro de la fama,

 ISSN: 2007 8102

donde se publicará una fotografía del empleado del mes de cada área, considerado como un incentivo no monetario. Lo cual es una fuente motivadora donde se reconoce el esfuerzo y de cierta manera mejore el desarrollo, ética y moral del personal, logrando manifestar su interés por ejecutar bien su trabajo para alcanzar la estabilidad laboral en la organización [17].

Resultados y discusión

Tras la prueba de la implementación del sistema de comandas propuesto en el área de recepción descrito en el 8D y en base a los resultados obtenidos en la tabla 2 dentro de la sexta disciplina, se presenta a continuación un gráfico de serie de tiempos en la figura 9, donde se muestra el total de los tiempos observado por mesa de cada uno de los sistemas.

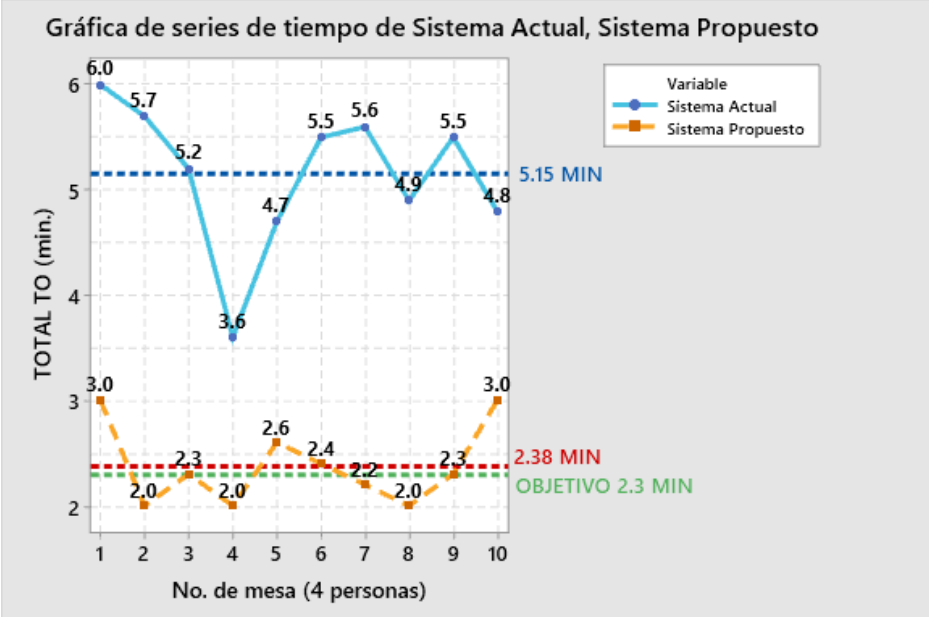


Figura 5. Gráfica de series de tiempo de Sistema Actual, Sistema Propuesto. Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar que las mejoras propuestas para el sistema de comandas apuntan a la disminución de los tiempos de registro de las órdenes, puesto que con el sistema actual se tiene una línea base de 5.15 minutos promedio que se lleva una mesera en realizar el registro de órdenes de una mesa de 4 personas, en cambio en el sistema de comandas propuesto se obtuvo un tiempo promedio de 2.38 minutos, teniendo una diferencia de 0.08 minutos con nuestro objetivo establecido en la cuarta disciplina, considerando nuestro sistema aceptable. Mientras tanto, teniendo en cuenta los promedios de cada sistema y que se atienden 25 mesas al día, se obtiene el tiempo total de los registros que se realizan en un día, de acuerdo a los siguientes cálculos:

$$SISTEMA\ ACTUAL = 25\ mesas\ (5.15\ min.) = 128.75\ min./día$$

$$SISTEMA\ PROPUESTO = 25\ mesas\ (2.38\ min.) = 59.5\ min./día$$

$$SISTEMA\ PROPUESTO\ \% = \frac{59.5\frac{min.}{día}(100)}{128.75\frac{min}{día}} = \frac{5{,}950\frac{min}{día}}{128.75\frac{min}{día}} = 46.21\%$$

Es así que se obtuvo una minimización en los tiempos del registro de las órdenes del 53.78% equivalente a 69.25 minutos/día, bajo el uso de las propuestas planteadas. Por lo que se tiene desde ahora un sustento para la implementación total de dichas acciones.

 ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

El desarrollo de este artículo constituye un avance en torno al área de recepción, específicamente en la sustitución del sistema de comandas que actualmente se utiliza, sin embargo, surgen más propuestas presentadas en la tabla 4 y las cuales están directamente relacionadas con el mejoramiento del sistema propuesto.

"TRABAJO A FUTURO"

Elaborado por:	Rosa Isela C. C	**Valoración de impacto**:		
Fecha:	Julio 2023	**Bajo**	**Medio**	**Alto**
Lugar:	Restaurante PEPE'S			

No.	**Acción**	**Descripción**	**Beneficio**	**Impacto**
1	Área para guardar las tabletas	Designar y señalar un área específica para guardar y cargar la batería de las tabletas.	▪ Se evita el descuido de las tabletas y que coloquen otros dispositivos en esa área. ▪ La tableta contara con suficiente batería.	**Bajo**
2	Correa sujetadora para tabletas y protector	Implementar el uso de correas y protectores para la seguridad de las tabletas.	▪ Prevención de accidentes. ▪ Mejor manipulación de la tableta. ▪ Se alarga el ciclo de vida de la tableta al contar con mayor seguridad.	**Medio**
3	Pantalla en el área de cocina	Implementar una pantalla la cual estará vinculada con el software de las tabletas.	▪ En la pantalla será visible el número de orden, mesa, platillos y la hora del registro. ▪ La orden registrada será visible desde cualquier estación de la cocina, agilizando el proceso.	**Alto**
4	Código QR con menú y sistema de comandas	Diseñar un código QR que dará acceso al menú y a una comanda donde el comensal registrará su orden.	▪ Auto registro de órdenes. ▪ Se eliminan tiempos de espera. ▪ Minimización de tiempos de entrega de la orden, costos de mano de obra y material.	**Alto**

Tabla 4. Formato del trabajo a futuro. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Los resultados de las acciones propuestas en este artículo trajeron como beneficio al sistema de comandas del restaurante PEPE'S una minimización en los tiempos de registro del 53.78%, lo cual influye a su vez en la eliminación del tiempo de espera por parte de los comensales al solicitar el menú físico y la probabilidad de errores en el registro de la orden o confusiones por falta de legibilidad. Estas propuestas ayudarán a la empresa a seguir manteniendo una posición competitiva en el sector restaurantero, ya que al tener un sistema de comandas actualizado, se optimizan los tiempos de registro, otorgando de esta manera al restaurante una buena imagen, de tal manera que no sólo ofrecerá platillos de calidad y con higiene, sino que también brindará una excelente atención a los comensales, siendo este un beneficio importante influyente para posibilidad de obtener futuros distintivos.

Referencias

[1] G. S. Sánchez Páez, «Aplicación del código QR como solución para un registro eficiente de las revistas de seguridad en un complejo militar,» 19 Marzo 2021. [En línea]. Available: http://hdl.handle.net/10654/39471. [Último acceso: 27 Junio 2023].

[2] G. C. Toledo Quiroz, «Implementación de un menú digital para restaurantes de especialidad basado en el estándar ISO/IEC/IEEE 29148,» 2022. [En línea]. Available: http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12870. [Último acceso: 30 Junio 2023].

[3] J. A. Hernández Espinoza, M. Luna Lázaro, M. Á. Cervantes Álvarez y G. Trujillo Sanchez, «REDUCCIÓN DE SPPM MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE CORE TOOLS Y METODOLOGÍA 8D,» *PROYECTOS INSTITUCIONALES Y DE VINCULACIÓN,* vol. VII, nº 15, pp. 53-61, 2020.

[4] A. F. Bravo Hernández y M. Díaz Báez, «Plataforma digital para el acceso a los servicios de los restaurantes por medio de código QR: quick restaurant,» 7 Septiembre 2021. [En línea]. Available: http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10888. [Último acceso: 3 Julio 2023].

[5] M. A. Alva Carbonel , «Metodología 8D como propuesta de mejora en la gestión productiva, para la reducción de merma en la línea de cobre, en la empresa Tecnofil S.A., Lima 2021,» 2021. [En línea]. Available: https://hdl.handle.net/20.500.12867/4884. [Último acceso: 5 Julio 2023].

[6] A. Mendoza Covián, «Implementación de la metodología 8D's para la reducción de notificaciones de calidad,» Septiembre 2020. [En línea]. Available: https://repositorio.cetys.mx/handle/60000/1171. [Último acceso: 16 Agosto 2023].

[7] L. G. Cuba Gama , «Propuesta de utilización de metodologias AMEF y 8D para abordar riesgos y oportunidades en una empresa de servicios mineros para incrementar el rendimiento de lo procesos operativos, Arequipa-2020,» 11 Abril 2022. [En línea]. Available: https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11581. [Último acceso: 17 Agosto 2023].

[8] C. A. Sánchez Soto, «Autorregulación de torque fuera de especificación mediante Metodología Jidoka de paro de línea de producción,» 2020. [En línea]. Available: http://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1020/403. [Último acceso: 17 Agosto 2023].

[9] M. Trias, P. González, S. Fajardo y L. Flores, «Las 5 W + H y el ciclo de mejora en la gestión de procesos,» *Innotec Gestión,* nº 1, pp. 20-25, 2009.

[10] U. Vázquez Caracas, «Propuesta de estandarización del proceso en la lavandería CONFETEX mediante el análisis de las 8D,» 30 Junio 2020. [En línea]. Available: https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/3396. [Último acceso: 18 Agosto 2023].

[11] I. A. Muciño Monge, «Estandarización y automatización del proceso de recepción de materiales indirectos de producción,» Septiembre 2020. [En línea]. Available: https://repositorio.cetys.mx/handle/60000/1173. [Último acceso: 18 Agosto 2023].

[12] S. Bernal Romero y D. F. Niño Sanabria, «Modelo multicriterio aplicado a la toma de decisiones representables en diagramas de Ishikawa,» 2018. [En línea]. Available: http://hdl.handle.net/11349/13894. [Último acceso: 12 Julio 2023].

[13] S. Tolentino Olivera, *Principio de Pareto su uso en la industria cervecera y su posible vinculación con la enseñanza de las matemáticas,* Distrito Federal, 2015.

[14] M. Ramos, «GESTOR RESTAURANT I PARTE,» 15 Junio 2018. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=j9f7f3pv3uo. [Último acceso: 16 Julio 2023].

[15] M. Ramos, «GESTOR RESTAURANT II PARTE,» 15 Junio 2018. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=dHkn7isVqYM. [Último acceso: 16 Julio 2023].

[16] J. S. Herrera Eraso y J. Montes Arias, «Estudio de faltantes en Frubana a partir de la metodología lean-six sigma,» 2019. [En línea]. Available: http://hdl.handle.net/1992/49434. [Último acceso: 19 Agosto 2023].

[17] C. Bladimir Moreano, «Lograr establecer motivación e incentivos no económicos para los trabajadores dentro de una organización,» Agosto 2018. [En línea]. Available: https://www.eumed.net/rev/ce/2018/3/motivacion-trabajadores-organizacion.html. [Último acceso: 19 Agosto 2023].

ISSN: 2007 8102

Modelo inclusivo en la industria restaurantera, una visión con compromiso social en Teziutlán, Puebla.

Patricia Leonor Tejeda Polo[1], María de Lourdes Ruiz Tejeda[2] , Edmundo Juárez Martiñón[3,] Alma Delia Hernández Vargas [4]*
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, patircia.tp@teziutlan.tecnm.mx [1] , Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán maria.rt@teziutlan.tecnm.mx [2], Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, edmundo.jm@teziutlan.tecnm.mx [3],Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico superior de Teziutlán, alma.hv@treziutlan.tecnm.mx.[4]

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa.*

Resumen

Los establecimientos encargados de ofrecer a la sociedad un servicio lo deben llevar a cabo basándose en las necesidades que los consumidores les demandan, atendiendo a las necesidades reales que las personas presentan mostrándose empáticos y generando valor agregado, esto lleva al desarrollo de proyectos específicos. El objetivo del artículo es dar a conocer los avances del trabajo de investigación para el desarrollo de un modelo de negocios inclusivo, que resulta ser un compromiso social de este sector. Tomando como base la perspectiva teórica de Ortiz que señala elementos fundamentales sobre el turismo inclusivo, así como lo contemplado en la Secretaría de Turismo a nivel nacional, sobre el tema impulsando la vinculación con el H Ayuntamiento de Teziutlán, para el desarrollo del modelo de negocios inclusivo. Teniendo como resultados el estudio de mercado, el desarrollo del modelo, así como la traducción de elementos importantes, utilizando el Lenguaje de señas mexicano.

***Palabras clave**: Modelo Inclusivo, compromiso, Industria restaurantera, compromiso social.*

Abstract

The establishments in charge of offering a service to society must carry it out based on the needs that consumers demand of them, attending to the real needs that people present, showing empathy and generating added value, this leads to the development of specific projects. The objective of the article is to publicize the progress of the research work for the development of an inclusive business model, which turns out to be a social commitment of this sector. Taking as a basis the theoretical perspective of Ortiz that points out fundamental elements on inclusive tourism, as well as what is contemplated in the Ministry of Tourism at the national level, on the subject promoting the link with the Teziutlán City Hall, for the development of the business model inclusive. Having as results the market study, the development of the model, as well as the translation of important elements, using the Mexican Sign Language.

***Key words**:. Inclusive model, commitment, restaurant industry, social commitment.*

Introducción

El Municipio de Teziutlán, Puebla actualmente nombrado pueblo mágico tiene el compromiso de trabajar con el turismo accesible que es la actividad turística especializada en otorgar atención dentro de los espacios de recreación y descanso, a personas que por diferentes razones se han visto restringidas en su movilización.

En este sentido se puede señalar que un negocio inclusivo tiene como premisa una forma de resolver necesidades de la población con esquemas más sostenibles, que permiten a las empresas orientar su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible generando modelos de negocio que atienden necesidades de la población de escasos recursos o permiten integrar en sus cadenas a población antes excluida. [1]

El turismo accesible engloba una serie de servicios como el hospedaje, recreación y servicios como la alimentación que es el aspecto primordial que por naturaleza el ser humano debe de cubrir y para lo cual no solo la comida resulta jugar un papel importante en los restaurantes, debido a que cada establecimiento busca la innovación y adecuación de condiciones que puedan satisfacer de mejor manera la estancia del cliente en el lugar, por lo que resulta preponderante considerar la especialización en atención a un grupo vulnerable de la sociedad que por largo tiempo se ha mantenido aislado de las acciones sociales en lo que la mayor parte de la población se desenvuelve como lo es acudir a comer y que por temor a ser discriminados se limitan a llevar a cabo tal acción.

En este punto se debe entender que es la discapacidad la OMS (Organización Mundial de la Salud la define como: “Cualquier restricción o impedimento de la capacidad de realizar una actividad en la forma o dentro del margen que se considera normal para el ser humano”. [2] Esto lleva a que la sociedad debe entender que al ser una condición inherente al ser humano se integra de forma directa a la vida cotidiana obligando a las instituciones y empresas a tomar en cuenta estos aspectos fundamentales para la integración de una sociedad incluyente.

Las empresas del sector restaurantero en el Municipio de Teziutlán tienen como reto revolucionar su práctica tradicional debido a que no solo van a brindar una atención local, sino que al ser nombrado Pueblo Mágico se debe trabajar para incluir en la oferta de servicios al mercado la atención al turismo accesible, ya que las los pueblos mágicos deben mostrar accesibilidad a todos los públicos, intentan eliminar barreras y hacer que el patrimonio cultural llegue a todos, de esta manera se instalan ascensores, se eliminan bordillos, se acoplan rampas o se instalan audio guías y letreros en braille, porque un turismo sin barreras es posible [3] llevando con ello a establecer un gran compromiso.

Es importante señalar que las personas que presentan alguna discapacidad aportan a la economía del país y al crecimiento constante del mismo, lo que representa una oportunidad para diseñar y ofrecer productos nuevos con necesidades específicas que implican nuevos procesos de gestión, innovación y mercadotecnia. [1], así mismo se tiene que se busca atender al Programa Sectorial de Turismo 2020-2024, en su Objetivo prioritario 1 Garantizar un enfoque social y de respeto de los derechos humanos en la actividad turística del país, estrategias prioritarias 1.1 Desarrollar instrumentos y mecanismos de política pública que contribuyan al turismo social e incluyente y 1.2 Fortalecer el turismo accesible para contribuir al bienestar de la población con mayor vulnerabilidad, establece como una acción: Promover la implementación de iniciativas orientadas al turismo accesible e incluyente. Promover el turismo accesible, la no discriminación en el acceso a servicios turísticos y los derechos culturales. [4]

Al identificar los distintos tipos de discapacidad a nivel Nacional, se opta por trabajar en beneficio del sector que presenta discapacidades motrices y sensoriales, específicamente trabajando de primera instancia con la discapacidad auditiva, todo ello a través de un proyecto que es resultado de la vinculación entre la Regiduría de Turismo perteneciente al H. Ayuntamiento de Teziutlán y el TecNM Campus Teziutlán, y que se busca a través de ello desarrollar un Modelo de Negocios al sector restaurantero que aplica en 3 etapas, cubriendo para el presente la primera etapa y en un futuro cercano dar cumplimiento a las dos etapas restantes del proyecto, todo ello con la firme intención de proyectar el servicio ofertado, llevando al Municipio a ser mayormente competitivo en el ámbito económico, pero resaltando siempre el compromiso social y emocional de las personas y que como sociedad se muestre empatía a través de la modificación de hábitos y perspectivas, generando condiciones para integrar a las personas con discapacidad a la sociedad.

Metodología

El tipo de investigación fue proyectiva que consiste en la elaboración de una propuesta, un plan o procedimiento…, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea de una institución…, en un área particular del conocimiento, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, de los procesos explicativos y de las tendencias futuras. [5] El diseño es no experimental de tipo transversal, al no manipular las variables del estudio y hacer la recolección de datos en un momento definido, definiendo la técnica de recolección de datos como Encuesta con un cuestionario conformado por 10 ítems que toman en cuenta las variables del estudio.

 ISSN: 2007 8102

Así mismo, con la intención de desarrollar proyectos de calidad derivados de la vinculación entre el TecNM Campus Teziutlán y el entorno, se tiene que derivado de una necesidad al ser el Municipio de Teziutlán, Puebla nombrado pueblo mágico, la Regiduría de Turismo del H. Ayuntamiento se busca impulsar al sector turístico, especialmente al sector restaurantero y hacer que los establecimientos de comida se conviertan en un lugar accesible para aquellas personas que presentan una discapacidad y poder con ello abarcar un Nicho de Mercado que aún no se ha integrado a las acciones de la sociedad en general como lo es el asistir de forma normal a un restaurante a consumir alimentos o pasar un momento agradable.

Lo que conlleva al desarrollo de un modelo de negocios es ir diseñando cada una de las fases, debido a que es considerado una herramienta de apoyo a los establecimientos de comida que les va a permitir reorientar las acciones y tener de manera clara la oferta al mercado, los clientes, la manera en cómo se hará y cómo se va a vender, entre otros puntos.

Fase 1 Trabajo de vinculación: Identificación de las Necesidades del Entorno.

Derivado del Convenio firmado entre el TecNM Campus Teziutlán y el H. Ayuntamiento de Teziutlán se lleva a cabo una reunión con la Regiduría de Turismo perteneciente al mismo tal y como lo muestra la Fig. 1, todo ello en miras a generar el trabajo de vinculación que tiene como Institución de Educación Superior y que permite fortalecer las actividades de docencia e investigación en beneficio de los sectores económico y social.

Tomando como prioridad los trabajos para el nombramiento de Pueblo Mágico al Municipio de Teziutlán, Pue., se identifica la necesidad de trabajar en un proyecto que involucra el diseño de un modelo de negocios al rubro restaurantero en el Municipio, con ello impulsando su labor, creando valor a su servicio e integrando el nicho de mercado que representan las personas con discapacidad auditiva a través de la innovación y el uso de tecnología aplicable al contexto.

Por todo lo anterior, el Subdirector de Investigación y Postgrado nombra a 3 docentes, dos de ellas maestras investigadoras adscritas a la Academia de Ingeniería en Gestión Empresarial (IGE) y un Doctor investigador adscrito a la Academia Ingeniería en Sistemas Computacionales (ISC) del instituto, así como 3 alumnos dos alumnas de IGE y un alumno de ISC, para que en conjunto se trabaje en la realización del proyecto. Se lleva a cabo una reunión en dónde se definen los acuerdos que son la columna vertebral del proyecto, definiendo el tipo de establecimientos con los que se van a trabajar en el proyecto y llevando a cabo los pormenores en relación al tipo de información que ambas partes requieren para llevar a cabo el trabajo en conjunto, considerando tomar un establecimiento como prueba piloto y de ahí replicar el modelo a los demás restaurantes participantes.



Fig. 1 Reunión entre la Regiduría de Turismo del H. Ayuntamiento de Teziutlán y personal directivo, docentes y alumnos del TecNM Campus Teziutlán

Fase 2: Planeación del Proyecto

En conjunto TecNM Campus Teziutlán y el H. Ayuntamiento de Teziutlán a través de la Regiduría de Turismo definen las fases del Proyecto y el alcance del mismo como lo muestra la Figura 2, dando cita a la gerente del establecimiento elegido que tiene como actividad ser una Pizzería llamada la Trattoria Di Fernando, cuyo giro es comida italiana que se dedica a atender personas sin discapacidad y que en la actualizad por la discapacidad auditiva del dueño se identifica un área de oportunidad en dicho Nicho de mercado como es el integrado por personas con discapacidad auditiva. El establecimiento funge como prueba piloto para dar paso a la fase de diseño del modelo de negocios, tomando en consideración que la discapacidad del dueño es de gran ayuda para

 ISSN: 2007 8102

ir definiendo cada uno de los puntos importantes y detalles que se deben de considerar para el arranque del proyecto.



Fig. 2 Planeación del proyecto

Es importante resaltar que el proyecto está planeado desarrollarse en tres fases, de las cuales se inicia con la fase 1 que abarca el trabajo del desarrollo de un modelo de negocios de Marzo 2022-Enero 2023 que aplica solo a personas Sordas, mostrando dos fases restantes que son el trabajo con discapacidad visual y personas con discapacidades motrices para dar como resultado la preparación al Distintivo Empresa Incluyente que es un tema prioritario ya que fomenta la responsabilidad social de las empresas a favor de la inclusión en situación de vulnerabilidad [6], tomando en cuenta esto se definen las etapas en la Figura 3.



Fig. 3 Fases del proyecto

Fase 3: Análisis y detección de necesidades del mercado a través de la investigación.

La etapa 3 solicita el estudiar las necesidades del mercado, atendiendo parámetros específicos que ayuden a determinar el sector de la sociedad al que se va a dirigir el proyecto, teniendo en consideración que las personas discapacitadas existen en distintas edades, pero para la realización del proyecto considera un nicho de mercado decisor, por lo que se determinan elementos geográficos, demográficos y Psicográfica como lo plantea Fischer [4] para la elección del mercado como se muestra en las Tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1 Segmentación Geográfica

Segmentación Geográfica		
1	País	México
2	Estados	Veracruz, Tlaxcala, Puebla, Edo. De México, Cd. De México
3	Densidad	Urbana

Tabla 2 Segmentación Demográfica

Segmentación Demográfica		
1	Edad	18-40 años
2	Sexo	Femenino-Masculino
3	Ciclo de Vida	Hombre o mujer jóvenes casados con o sin hijos
4	Ocupación	Profesionista laboralmente activo

Tabla 3 Segmentación Psicográfica

Segmentación Psicográfica		
1	Nivel Socioeconómico	C C+
2	Estilo de Vida	

 ISSN: 2007 8102

		Busca adquirir un servicio inclusivo que satisfaga sus necesidades y se adapte a sus capacidades en un lugar que posea ambiente agradable en el momento de la degustación de alimentos, en compañía de familia o amigos.
3	Personalidad	Sociable
4	Valores	Adquirir un servicio en el cual se sienta perteneciente y autónomo.

Se determina el tamaño de Población de las personas que muestran la discapacidad auditiva con apoyo de datos estadísticos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI [8] y para lo cual es necesario determinar la cantidad de muestra para poder aplicar el estudio de identificación de necesidades al nicho de mercado objetivo tal y como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4 Cantidad de población total de estudio, tomado de INEGI

Estado	Hombres	Mujeres	Total	Porcentaje con discapacidad	Total de Población de Estudio
Ciudad de México	38377	35571	73948	5.3	3919
México	73703	69310	143013	5.5	7866
Puebla	27264	24593	51857	5.6	2904
Tlaxcala	5340	4838	10178	6.3	641
Veracruz de Ignacio de Llave	33745	31028	64773	8.2	5311

Determinación del Tamaño de Muestra

Aplicando la fórmula para determinar la muestra en poblaciones finitas, con apoyo de la herramienta de calculadora digital QuestionPro [9] se tiene un resultado como se establece en la Tabla 5, cantidad de población a quienes se contactaron por medio de Instituciones y Dependencias que albergan a la comunidad sorda, todo ello para dar cumplimiento a la obtención de datos que mediante encuesta montada en la plataforma https://www.surveymonkey.com y que mediante link se les hizo llegar a las personas con discapacidad auditiva, con el apoyo de la Regiduría de Turismo de Teziutlán, se señala que la determinación de dicha muestra es proporcional de acuerdo al número poblacional total.

Tabla 5 Tamaño de muestra por Estado

Estado	Tamaño de Muestra
Ciudad de México	351 elementos
Estado de México	367 elementos
Puebla	340 elementos
Tlaxcala	241 elementos
Veracruz de Ignacio de la Llave	359 elementos

Diseño del instrumento de recolección de datos

Se diseña un instrumento de recolección de datos (encuesta) integrado por 10 ítems que contempla las variables que ayudan a detectar las necesidades básicas del nicho de mercado, dicho instrumento es diseñado y revisado en colaboración con personal del Centro de Estudiantes con Discapacidad (CAED) de Teziutlán, debido en apoyo al proyecto docentes de dicha Institución se encuentran capacitadas en Lenguaje de Señas Mexicano (LSM).

Los datos obtenidos con la aplicación del instrumento son una base fundamental en el estudio, debido a que marcan el rumbo de las estrategias del proyecto y con ello se lleven a cabo los cambios pertinentes en el restaurante piloto para operar el modelo.

Culminado el instrumento con el lenguaje de comunicación basado en LSM el instrumento se monta en una plataforma digital www.https.surveymonkey.com para a través de un link hacer llegar de manera directa a los

integrantes del Nicho del mercado que son las personas con discapacidad auditiva y para lo cual se solicita el apoyo de instituciones que guardan cercanía con las personas que muestran dicha discapacidad en el contacto y aplicación del instrumento para hacer de dicho proceso lo más certero posible.

Fase 4: Diseño del Modelo de Negocios

El modelo de negocios representa un papel importante en el desarrollo de toda empresa, siendo fundamental, ya que traza los puntos básicos que todo empresario debe conocer y nunca olvidar de su negocio, al hablar de cambios que se deben llevar a cabo en un restaurante, para hacerlo accesible, es importante que las empresas restauranteras del Municipio tengan en claro los puntos que el Lienzo Canvas [10] plantea y con ello paso a paso se van desarrollando en la aplicación del restaurante de Pizzas Elegido cuyo nombre es “Trattoria Di Fernando” y poder adecuar los recursos que se tienes y rediseñarlos a las necesidades de las personas con discapacidad auditiva.

Se definen con especial cuidado cada uno de los elementos que integra el modelo para desarrollarlo y llevarlo a la aplicación de estrategias que derivan del análisis de datos obtenidos en el trabajo de campo, como lo establece Ladrón en su libro Tratamiento y análisis de la información de Mercados [8]al llevar a cabo el análisis de las variables del estudio.

Considerando que en la actualidad el restaurante la Trattoria Di Fernando se dedica a la atención de consumidores en condiciones normales, detectando la necesidad latente de dar apertura a un servicio netamente dirigido a la atención de personas con discapacidad auditiva, misma que él presenta.

Por lo que, el modelo de negocios propuesto como se muestra la Figura 4 y que va enfocado a personas con dicha discapacidad, ya que se encuentra actualmente trabajando con la fase 1 del proyecto.

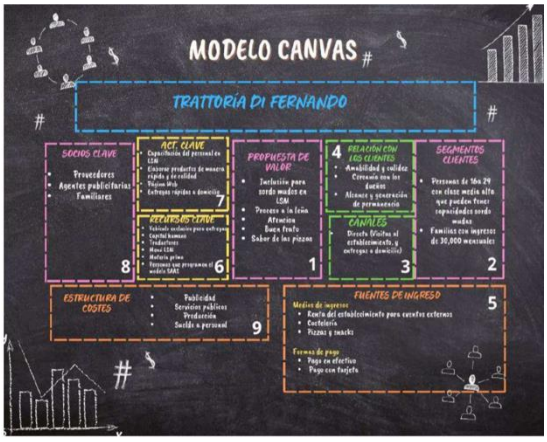


Fig. 4 Diseño del Modelo de Negocios

Fase 5: Diseño de estrategias aplicables como parte del Modelo de Negocios

Los resultados obtenidos llevan a la toma de decisiones para realizar las modificaciones pertinentes en el restaurante en el sentido de la infraestructura, capacitación del personal, adecuación de cartas, señalética del lugar, entre otros aspectos de especial relevancia que marcan la diferencia en la atención de las personas con discapacidad auditiva.

Resultados y discusión

El trabajo de vinculación entre el TecNM Campus Teziutlán y la Regiduría de Turismo del H. Ayuntamiento del Municipio de Teziutlán se establece bajo un convenio en el cual se establecen las obligaciones de cada una de las partes entre las que se establece el desarrollo de proyectos, residencias profesionales, Modelo Dual y desarrollo de Tesis. A su vez se establece la colaboración del CAED (Centro de Atención a Estudiantes con Discapacidad) que se ubica al interior del CBTIS 44 de la ciudad de Teziutlán en donde se da atención a jóvenes con diferentes discapacidades, en él se encuentran profesores que dominan en SLM y que colaboraron de forma activa en el desarrollo del proyecto.

 ISSN: 2007 8102

Se llevó a cabo el desarrollo conjunto de un Modelo de Negocios Inclusivo que tiene resultados favorables para el restaurante que funge como prueba piloto La Trattoria Di Fernando y que se destina para la implementación de distintas estrategias como lo son:

1. Capacitación al personal del restaurante Trattoria Di Fernando y participantes del proyecto en el uso del Lenguaje de Señas Mexicano (LSM) [12] por parte de dos docentes del CAED como lo muestra la Figura 5, con la finalidad de llevar a cabo la aplicación del instrumento de recolección de datos (encuesta) entendiendo de manera clara la forma de comunicación que los integrantes del Nicho de Mercado presentan, así mismo CAED capacita y da a conocer frases que en la comunicación directa con las personas que presentan discapacidad auditiva toman realce y son básicas en la comunicación que conlleva al contexto de un restaurante. En este momento ya se aplica el lenguaje de Señas mexicano al interior del restaurante por el personal que atenderá a estos comensales.



Fig. 5 Capacitación por parte de CAED

2. Dentro de la adecuación del establecimiento para la atención a las personas con discapacidad auditiva, se lleva a cabo la adecuación de la señalética en el establecimiento como lo muestran las Figura 6 y 7, dando oportunidad a las personas discapacitadas el poder ubicar los elementos y espacios al interior del restaurante, permitiendo con ello un ambiente más agradable y que se sientan identificados con el contexto que tiene el establecimiento sintiéndose incluidos. En este sentido este tipo de establecimientos deben cumplir con la señalética establecida por protección civil con la finalidad de ofrecer seguridad en el caso de una contingencia.



Fig. 6 Señalética en Lenguaje de Señas Mexicano (LSM)



Fig. 7 Señalética en Lenguaje de Señas Mexicano (LSM)

3. Adecuación de las cartas de alimentos. Trattoria Di´ Fernando ya tenía establecido un menú tradicional como el de todos los restaurantes debido a que la atención brindada era en general, al ser participe como prueba piloto presenta una evolución a restaurante inclusivo y para lo cual tiene el compromiso de crear un menú innovador como se muestra en la Figura 8, es llamado así porque se llevan a cabo ciertos procesos los cuales permiten modificar elementos ya existentes con el fin de mejorarlos para permitir al comensal con discapacidad auditiva realizar su orden de alimentos, lo que generara un impacto, al cubrir las necesidades de los clientes con discapacidad auditiva, viendo con ello una expansión de mercado y fomentando la inclusión en el restaurante. Todo esto para generar un ambiente en donde las personas con la mencionada discapacidad se sientan a gusto con el servicio, pero también que ellos sean libres de ordenar de manera eficaz impulsando así la seguridad, independencia y solidaridad. En este punto es importante señalar que el personal atiende las comandas de los comensales de forma más eficiente dado que ya se encuentran con una capacidad básica para el manejo del LSM.

   Esta adecuación a la carta de alimentos permite que no se tengan barreras para ofrecer un servicio de calidad, con calidez y sobre todo con sentido humano, minimizando con ello la deuda social de integrar a las personas con discapacidad a actividades sociales que se catalogan como comunes o cotidianas.



Fig. 8 Menú en LSM

4. Esto apoyo a que el restaurante pueda constituir una marca sólida y positiva en el mercado al tener iniciativas que traen como resultado un beneficio a mediano y largo plazo. Fomentando la inclusión envía un mensaje claro al entorno demostrando la preocupación por atender a sus clientes con un sentido ético, sentando las bases para el resto de los negocios que ofrecen un servicio.
5. Se hace la propuesta de un modelo de negocios que le permita no solo recibir ingresos de los platillos que ofrece, sino ir más allá de la innovación convencional que un establecimiento puede llevar a cabo, identificando necesidades reales que no se han atendido, con ello estableciendo un menú inclusivo para personas con capacidades auditivas diferentes, basado en el LSM y que mediante la creación de un Buyer Person, se puedan detectar las áreas de oportunidad que se tienen en el mercado, aplicando la

empatía en todo momento para que permite una orientación más efectiva al cliente y que mantenga el conocimiento profundo del mismo.

6. **6.** Se diseñó una página Web tomando en cuenta las características del Modelo de negocios ofrece una experiencia al momento de ordenar dando información del uso de QR que redirige a un menú inclusivo y ofreciendo esta herramienta a la industria restaurantera. Permitiendo un beneficio mutuo entre restaurantes que promuevan la inclusión con la herramienta que se ofrece lo que generará un ingreso extra.

Trabajo a futuro

Se habla de tres fases del proyecto, de las cuales se ha trabajado con la primera, para lo cual se plantea como trabajo a futuro dos etapas que abarcan el desarrollo de un modelo de negocios aplicable a personas invidentes y posterior a ello un modelo de negocios adaptado a personas con discapacidad motriz, para con ello enlazar elementos que son necesarios para que las empresas restauranteras del Municipio de Teziutlán, Puebla se puedan fortalecer, hacerse mayormente competitivas no solo atendiendo necesidades locales o regionales, sino las necesidades de otros estados y otros países, ya que al ser nombrado Pueblo Mágico, el Municipio adquiere un firme compromiso en fortalecer el sector económico de la región atrayendo el turismo e inyectando los recursos necesarios para un desarrollo económico y social, debido a que debe existir la empatía con sectores vulnerables como lo son las personas con discapacidades.

El alcance del proyecto en sus etapas restantes se tiene al año 2024, debido a que la fase 1 fue un tanto compleja trabajarla debido a que la comunicación es especial con las personas con discapacidad auditiva, y se debe ver apoyada de intérpretes, las dos etapas restantes al tener la experiencia de la primera se pueden alcanzar con mayor facilidad y poderlas cumplir para tener completa la carpeta y las empresas restauranteras sean capaces de participar por el Distintivo de Empresa Incluyente.

En este sentido se propone está trabajando con una Aplicación Web que apoye en el servicio de la industria restaurantera y de alguna forma facilite la interacción entre el comensal y el prestador de servicio.

Conclusiones

El propósito del proyecto va encaminado en hacer competitivo al sector restaurantero del Municipio de Teziutlán, Puebla con la adaptación de recursos necesarios para llevar a cabo la atención oportuna a las personas con discapacidad auditiva, lo cual resulta oportuno y evidente lo con el recién nombramiento de Pueblo Mágico al Municipio, sin embargo, el impacto del proyecto realizado va más allá de lo propuesto, ya que los resultados obtenidos rebasan las expectativas desde el momento en que existe un cambio de perspectiva al parecer un proyecto común que realmente no lo es y se muestra como una nueva experiencia para todos, por la falta de atención que se muestra hacia ese sector de mercado con el que se trabaja, sin embargo el tener contacto con las personas con discapacidad auditiva existe una identificación de puntos que parecían limitantes y que se convirtieron en reto, desde la forma de comunicarse con ellos no resultaba ser sencilla se debía hacer a través de un intérprete que exigía el conocimiento y práctica del LSM por parte de los integrantes del equipo de trabajo como lo son docentes investigadores y alumnos y que con apoyo de la capacitación por parte de CAED se logró, proceso que facilitó el entender las perspectivas y necesidades del Nicho de mercado con el cual trabaja Trattoria Di Fernando y para lo cual se diseña la Fase 1 del proyecto.

Es sorprendente identificar que existen sectores de la población que en la mayoría de ocasiones pasan por desapercibidos, no porque sea intencional la falta de atención a ellos, sino se piensa puede existir mayor rentabilidad al atender en un restaurante a personas en condiciones normales, lo que resulta erróneo en la una actual sociedad en la que se habla de igualdad.

La vinculación entre la Regiduría de Turismo del H. Ayuntamiento de Teziutlán y el TecNM Campus Teziutlán nace con el afán de mantener la práctica por parte de los alumnos y la investigación por parte de los docentes investigadores que trabajan el proyecto lo cual se alcanza perfectamente, sin embargo el plus que se obtiene es el observar un compromiso único por parte de los alumnos participantes que les lleva a ser empáticos con las personas discapacitadas, muestran la inquietud por aprender algo nuevo como lo es el LSM y quererlo aplicar, así mismo muestran amor por las personas que padecen la discapacidad auditiva y entre todos alumnos y docentes se reconoce lo importante que es la integración de las personas que sufren alguna discapacidad, porque la palabra lo dice, en verdad lo sufren y lo padecen al verse limitados en la integración de las acciones que como sociedad se llevan a cabo.

El compromiso por parte de la Regiduría de Turismo del H. Ayuntamiento de Teziutlán es seguir propiciando y apoyando proyectos en beneficio de las personas con discapacidad, para los docentes investigadores del TecNM Campus Teziutlán es el verse comprometidos con el desarrollo de proyectos encaminados a los sectores vulnerables e involucrar a los alumnos en el proceso del desarrollo de proyectos que dejan un aprendizaje integral como lo fue en éste caso, no sólo es el conocimiento, sino el mostrarse preocupados y ser sensibles ante las condiciones de las personas con discapacidad auditiva, haciendo del proceso obtenido una formación integral en apoyo y beneficio de los futuros ingenieros del TecNM Campus Teziutlán.

Agradecimientos

Se agradece a la Regiduría de Turismo del H. Ayuntamiento de Teziutlán por las facilidades generadas, la vinculación desarrollada con el TecNM Campus Teziutlán, que en conjunto desarrollan una actividad adecuada con los objetivos planteados.

Así mismo gracias por el trabajo y apoyo de Instituciones de Gobierno como CAED, Instituciones que trabajan con personas con discapacidad auditiva, DIF, CAED, gracias por hacer del proyecto algo real y aplicable a las necesidades de personas discapacitadas.

Referencias

[1] J. C. Ortiz, «El turismo inlusivo en Colombia,» *Revista Digital Latinoamericana de Turismo Inclusivo.,* vol. Edición 01, nº 02, pp. 5-28, 01 02 2019.

[2] G. d. M. Secretaría de Turismo, «Programa Sectorial de Turismo 2020-2024,» 2020. [En línea]. Available: http://sistemas.sectur.gob.mx/sectur/prosectur_2020-2024.pdf. [Último acceso: 27 julio 2023].

[3] S. d. t. y. p. s. STPS, «Distintivo Empresa Incluyente,» 2022. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/8652/presentacion3.pdf. [Último acceso: 20 julio 2023].

[4] L. Fischer y J. Espejo, Mercadotecnia, México : McGraw Hill, 2016.

[5] INEGI, «INEGI buscador,» 2020. [En línea]. Available: https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=DISCAPACIDAD. [Último acceso: 20 junio 2023].

[6] QuestionPro, «Calculadora de Muestras, Software para encuestas.,» 2023. [En línea]. Available: https://www.questionpro.com/es/calculadora-de-muestra.html#calculadora_de_muestra. [Último acceso: 20 julio 2023].

[7] J. Mejías, «Cómo se elabora un modelo Canvas,» Revista Emprendedores, 28 julio 2022. [En línea]. Available: https://www.emprendedores.es/gestion/modelo-3/. [Último acceso: 15 julio 2023].

[8] L. C. Arenal, Tratamiento y análisis de la información de Mercados, La Rioja, España: Tutor Formación, 2019.

[9] d. F. M. E. Serafín y P. R. González, Manos con voz, diccionario de Lengua de señas mexicana, México: Libre Acceso A.C. Consejo Nacional para Prevenir la Discriminación, 2011.

Proceso sistemático para seleccionar indicadores de dimensión social criminalista que afectan a la competitividad empresarial

J.E. Romero Lezama[1], M.P. Quintero Fuentes[2], N.C. García Aguilar[3], N. Chiunti González[4], M. Sampayo Cárcamo.[5]
[1,2,3,4,5] Colegio Interdisciplinario de Especialización-Departamento del Doctorado en Ciencias de la Gestión Estratégica-Calle, Rio Suchiate # 5910 entre calle Grijalva y Avenida Circunvalación. Colonia Jardines de San Manuel. C.P. 72570 Puebla, Puebla. [1]Petróleos Mexicanos, Subdirección de Tecnologías de Información, Gerencia de Continuidad Operativa, SCADA T.I. Mendoza. Autopista México-Córdoba, km.260.5. C.P. 94720 El Encinar, Nogales, Ver. [3]Universidad Anáhuac Veracruz Campus Córdoba-Orizaba, Calle Universidad 100, Colonia Rancho San Emigdio, Córdoba, Ver, C.P. 94500, Av. Eugenio Garza Sada 1, Las Quintas, C.P. 94500 Córdoba, Ver. [4]Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Avenida Universidad 350, C.P. 94910 Cuitláhuac, Ver. [5]Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, Avenida Tecnológico No 80, 5 de Octubre, C.P. 73174 Huauchinango, Pue.
[1]jose.romero.21@colegiointer.edu.mx [2]prof.martha.quintero@colegiointer.edu.mx
[3]nadia.garcia.22@colegiointer.edu.mx [4]nayeli.chiunti.22@colegiointer.edu.mx
[5]matilde.sampayo.22@colegiointer.edu.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

RESUMEN
La medición de la competitividad mediante indicadores nacionales y estatales permite monitorear las condiciones para la generación de valor. El objetivo de esta investigación es presentar el proceso para la selección de indicadores de la dimensión social criminalista como base para determinar el detractor de la competitividad. El proceso se efectuó a partir de 149 ítems disponibles en la Encuesta Nacional de victimización de Empresas (ENVE) del INEGI, siendo elegidos 57 en el primer proceso de selección de acuerdo con criterios de investigación y 19 en un segundo proceso efectuado con la participación de expertos del área criminalista; el proceso fue verificado con el método IVC (índice de Validez de Contenido), resultando valido dentro de parámetros aceptables con 0.85. La dimensión Social criminalista queda conformada por 4 subdimensiones con 19 indicadores validados.

PALABRAS CLAVE:
Competitividad, indicador detractor, criminalista.

ABSTRACT
The measurement of competitiveness through national and state indicators allows monitoring the conditions for the generation of value. The objective of this research is to present the process for the selection of indicators of the criminal social dimension as a basis to determine the detractor of competitiveness. The process was carried out from 149 items available in the National Survey of Business Victimization (ENVE) of INEGI, 57 being chosen in the first selection process according to research criteria and 19 in a second process carried out with the participation of experts in the criminal area; The process was verified with the IVC (Content Validity Index) method, resulting in a value of 0.85 within acceptable parameters. The Social Criminal dimension is made up of 4 subdimensions with 19 validated indicators.

KEYWORDS:
Competitiveness, detractor indicator, criminal.

INTRODUCCIÓN
La gestión integral para la estrategia no es solo una moda que dicten los bloques americanos o europeos para hacer de las organizaciones (públicas, privadas, sociales, etcétera) unos entes estandarizados, tampoco basta cumplir los pasos que en su momento Henry Fayol estableció como proceso administrativo en planificar, organizar, ejecutar y controlar; la implantación de sistemas de administración integral para la estrategia es una práctica que asegura la supervivencia y permite responder a las necesidades globales centradas en el consumo de productos o servicios con valor agregado. Sin embargo, esto no es fácil de lograr debido a la sujeción de las organizaciones a diversos ordenes, reglamentos y características de cada región que invariablemente se convierten en un lastre que hace complejo maniobrar con agilidad para lograr el enfoque estratégico. No obstante, coincidiendo con Nieven [1], las organizaciones y personas deben adaptarse o morir,

ahora o nunca de forma imperativa ante los retos globales y regionales de competitividad. Esta óptica la comparte Michael Porter [2] cuando establece contraviniendo a la economía clásica que la prosperidad de una nación o región no se hereda, se crea y no necesariamente tiene que ver con el tipo de cambio o la mano de obra sino con la identificación de las condiciones de los factores, la estrategia, estructura y rivalidad, las condiciones de la demanda así como los sectores relacionados y de apoyo, los cuales serán determinantes de la competitividad y por ende en la generación continua de valor económico; ciertamente -citando al autor-, una nación o región no podrá ser competitiva en todos los sectores por lo que una empresa solo lograra ventajas competitivas innovando y siendo creativa. Hablar de competitividad es una tarea que encierra un sin número de significados, dado que el alcance de esta depende de su aplicación; inicialmente en los años 80`s Porter en su publicación "Ventaja y estrategia competitiva" toma el concepto como la mayor capacidad de producción de bienes o servicios en una zona, no obstante Horvathova [3] establece que este es un término que puede ser definido según los niveles y situaciones en los que se estudie y posee diversas definiciones; después de él, a nivel mundial existen estudios que anteceden a la presente investigación, sin embargo en estos ya se busca analizar la competitividad desde una perspectiva más cuantitativa utilizando instrumentos de medición validados.

El modelo de Porter enfrenta en la actualidad un panorama diferente debido a que los aspectos negativos actuales provocados por las perturbaciones sociales (narcotráfico, secuestro, extorsión, robo, etcétera) y las condiciones derivadas de la afectación al equilibrio ambiental (clima violento, mala calidad o inexistencia de agua, mala calidad del aire, entre otras) que en su momento solo se mencionaron como efectos casuales (porque no implicaban riesgos), hoy representan dos dimensiones que implican serias afectaciones a la competitividad de cualquier nación y desde luego México no es la excepción, ya que en todas las entidades mexicanas existen condiciones críticas provocadas por los fenómenos antes referidos que afectan a sus índices de competitividad calculados y que debieran ser actualizados con instrumentos similares. A Peter Druker se le atribuye una frase que ha acompañado los esfuerzos para mejorar la competitividad "lo que no se mide no se puede mejorar"; y efectivamente si no se sabe el lugar en donde se encuentra situadada una zona nación o región global, cualquier esfuerzo que se haga será un paso a ciegas ya que no se sabrá si se avanza o retrocede. En este sentido existen esfuerzos particulares como el caso de Poblano [4], quien presentó una investigación para la Validación de un instrumento de medición que evalúa el efecto de la Inteligencia Competitiva en empresas de la Región Lagunera de Coahuila, el cual consta de 17 ítems validado por medio de juicio de expertos que considera 3 dimensiones: Inteligencia Competitiva, gestión del conocimiento y capacidad innovadora, determinando que el instrumento puede usarse para evaluar el efecto de los factores críticos de la inteligencia competitiva y de la gestión del conocimiento.

Con similar objeto pero en el ámbito de la salud y las Tecnologías de la información Ramírez de UAT [5] validó un cuestionario de 59 ítems catalogado por trece expertos como adecuado vía prueba alfa de Cronbach con el propósito de evaluar la competitividad de las instituciones de salud del Estado de Baja California considerando las dimensiones de Atención al paciente, Gestión, Social, Control de recursos materiales, tiempo de atención a pacientes, calidad del proceso de atención, eficiencia hospitalaria, comportamiento organizacional y relación interorganizacional. En Perú, Garcia [6] siguiendo el manual de Oslo [7] desarrolló un trabajo para la Innovación organizacional como factor de competitividad empresarial en pymes durante el Covid-19 donde en un principio considera a las dimensiones de Producto-Servicio, Proceso, Comercial y organizativa determinando como hipótesis que sin innovación no existe competitividad. En el ámbito nacional existen también trabajos de investigación para determinar la competitividad, tal es el caso de Medina [8] quien desarrollo un trabajo para determinar la Validez de contenido de un instrumento de medición mediante el método Tristán de 7 jueces para determinar la ventaja competitiva del sector hotelero en el contexto de Ciudad Juárez, Chih. En el que considera las dimensiones de Factores externos, internos y clientes, teniendo como resultado un instrumento validado que permite medir las ventajas competitivas en la zona.

En el ámbito global institucional, el Foro Económico Mundial ha desarrollado un proceso sistemático con base en información provista por organizaciones internacionales y la encuesta de opinión ejecutiva de sus miembros que estima en forma particular y global los niveles de competitividad de 141 naciones desde la perspectiva de implantación de estrategias para el cuidado del medio ambiente, el desarrollo del capital humano, los mercados y la innovación; esto a través de 103 indicadores para los segmentos de Instituciones, Infraestructura, adopción de ICT, estabilidad macroeconómica, salud, habilidades, mercado de productos, mercado laboral, sistema financiero, tamaño de mercados, dinámica de negocios y capacidad de innovación. Esta herramienta permite que gobernantes, empresarios y otras partes interesadas posean información confiable para tomar decisiones e implantar políticas económicas que permitan a sus naciones e intereses responder a las oportunidades y amenazas del mundo con el propósito único de crecimiento de la competitividad, de tal forma que su utilidad representa para sus usuarios "una brújula económica en tiempos de incertidumbre" sobre todo en situaciones como la Pandemia de COVID 2019.

En lo que respecta a la escala nacional mexicana, el estudio más completo y análogo a esta investigación es el presentado por el Instituto Mexicano de la Competitividad [9]. En su índice de Competitividad Estatal, donde establece en 10 dimensiones el nivel de competitividad de cada estado de la república; cabe hacer mención que este reporte establece en sus dimensiones Sistema de derecho confiable y objetivo (Derecho) y Manejo sostenible del medio ambiente (Medio ambiente) factores delictivos y ambientales en promedios globales. No obstante los esfuerzos antes referidos en su mayoría concentran sus esfuerzos en destacar los aspectos positivos de las características que generan competitividad, Por ello, el elemento diferenciador de esta investigación es presentar el proceso para la selección de indicadores de la dimensión social criminalista como base para determinar el detractor de la competitividad.

MÉTODOS

El presente artículo es el principio de una serie de trabajos de investigación que pretende integrar el autodenominado Índice Detractor de la competitividad correlacional porcentual (IDCCP), el cual será un indicador con alcance nacional para cada entidad federativa que se delimita como detractor ya que considera solo los aspectos negativos de las dimensiones que se refirieron en la introducción (Social criminalista y ambiental) y su aplicación será para descontar la calificación establecida por los organismos que califican a la competitividad de cada entidad mexicana creando una nueva referencia que como se estableció, permita servir de herramienta para la toma de decisiones. Las fuentes de información que se consideran utilizar son de tipo oficial, validadas, depuradas, confiables, con datos y variables observables, siendo ubicadas con esas características la Encuesta Nacional de victimización de empresas (ENVE) del INEGI y la Base de datos del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (BADESNIARN) de la SEMARNAT, para las dimensiones Social criminalista y ambiental, respectivamente. Sin embargo, se considera como objeto de estudio para el presente documento solo el referente a la dimensión social criminalista cuyo proceso para la selección de los indicadores a estudiar se detalla a continuación:

a. Determinación de la fuente de información:

Como se estableció anteriormente, respecto a la dimensión social criminalista, se determinó que la fuente de información ideal para los fines de la investigación enfocada a la determinación de aspectos detractores sociales criminalistas que afecten a la competitividad, es la producida por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [10] denominada Encuesta Nacional de victimización de empresas (ENVE) como un instrumento generado por el Subsistema Nacional de Información de Gobierno, Seguridad Publica e impartición de Justicia que ofrece información que permite realizar estimaciones para unidades económicas nacionales respecto a la prevalencia delictiva en sus diversas formas de operación.

b. Primera selección. – Indicadores útiles para la investigación:

En virtud de que no todos los indicadores representan utilidad para la investigación se requirió efectuar una primera revisión de aquellos indicadores que representaran utilidad en función de los criterios de la investigación, los cuales se establecieron alineados al objetivo del trabajo debiendo considerar los siguientes:

Aspectos criminales (negativos). - Dado que el IDCCP se considera como un indicador detractor de la competitividad, este representara solo aspectos negativos de una entidad federativa por lo que el primer criterio para seleccionar indicadores útiles es que estos representen situaciones adversas directas; por ejemplo, asaltos a mano armada, robo de industria, entre otros.

Datos en números discretos. - Existen indicadores que presentan índices, porcentajes, tasas, calculados a partir de algoritmos aplicados a la información recabada en campo; sin embargo, dado que el IDCCP será de tipo proporcional a porcentaje, entonces se requiere que los indicadores seleccionados sean números enteros, por ejemplo, número de robos a transeúnte, numero de asaltos a negocio, entre otros.

Por entidad federativa. - El alcance del IDCCP es para México y específicamente a nivel de entidad federativa, por esta razón se deben seleccionar solo indicadores que totalicen factores a nivel entidad federativa ya que en el general de la encuesta existen datos a nivel colonia, municipio, región o país completo.

Actividad económica totalizada (Comercio, Industria y servicios).- El último de los requisitos de la investigación corresponde al requerimiento de que los ítems seleccionados correspondan solo a sector totalizado, aunque en el Diario Oficial de la Federación del 25 de junio del 2009 [11] estratifica a las empresas según su tamaño en micro, pequeña y mediana empresa y según su giro en comercio, servicios e industria y la ENVE así lo considera, de acuerdo a los criterios de la organización es necesario considerar solo los indicadores que engloban a un solo sector que también se encuentran en el instrumento con el propósito de manejar información consolidada.

c. Segunda selección. – Colaboración de expertos, indicadores relevantes y coherentes a la competitividad.

Una vez que se efectúa la primera selección de indicadores filtrándose bajo la perspectiva de los objetivos de la investigación definidos por el autor, es necesario que la selección de los indicadores que afectan directamente a la competitividad de un estado mexicano sea efectuada por especialistas para que tenga validez técnica ya que según Pérez [12] para que exista validez de contenido es necesario que los ítems sean relevantes y representativos, siendo esto posible con la participación de expertos en la materia que apoyen en la selección de los indicadores, aun considerando que la información a obtener corresponde a variables observables. Estos expertos fueron invitados a colaborar previa explicación del proyecto para que mediante un instrumento virtual y de acuerdo con su criterio y experiencia seleccionaran conforme a la relevancia cuales de los indicadores producto de la primera selección son los que afectan a la competitividad.

d. Desarrollo y aplicación de instrumento virtual "Índice detractor de la competitividad. Dimensión: Victimización de empresas".

Habiendo seleccionado a los expertos y considerando su perfil ad-hoc a la especialidad criminalística se estableció contacto para solicitar su colaboración para que determinen cuales de los indicadores enlistados en el instrumento consideran son detractores de la competitividad de una entidad federativa, de tal forma que por su relevancia sean de utilidad en la conformación de un indicador que consolide los eventos ilícitos que hacen victimas a las empresas, como parte de la investigación "Determinación del índice detractor resultante del análisis de indicadores sociales y ambientales que contribuyan al ajuste del nivel de competitividad determinado para las entidades mexicanas". Para facilitar el acceso a los expertos, se optó por utilizar la aplicación Microsoft Forms (derechos reservados de Microsoft Co.) y con ella levantar la información que la aplicación permite efectuar a manera de instrumento estadístico con link enviado vía WhatsApp a sus dispositivos móviles. Una vez resuelto el instrumento, la aplicación de forma automática envía a la bandeja de entrada donde se creó, las respuestas de cada uno de los formularios con el detalle y resumen de los indicadores analizados por cada experto. El instrumento consiste en un formulario compuesto por las secciones:

Aspectos generales. - Titulo, breve reseña de la investigación, instrucciones de uso.

Datos del especialista. - Nombre, formación académica, Área donde desarrolla su especialidad.

Sección de Conceptos. - Entidad federativa, Categoría de empresas por sector de acuerdo con SCIAN 2018, tamaño de la unidad económica según el Diario Oficial de la Federación del 30 de junio del 2009, cifra negra, tres delitos más frecuentes y gran sector.

Sección de indicadores con opción a seleccionar en cada indicador la opción de relevancia que considere su juicio.

e. Procesamiento de resultados por aplicación de instrumento virtual.

Una vez obtenidos los resultados reportados por la aplicación Microsoft Forms producto de la cooperación de los expertos basado en su criterio de relevancia para la selección de los indicadores de la ENVE ofrecidos en el instrumento, se obtuvo una matriz de respuestas que del reporte ofrecido por Forms presenta como texto para cada respuesta, según la elección del experto, sin embargo esta debió ser codificada a matriz binaria considerando a cero como no seleccionado y a uno como seleccionado, de tal forma que si el experto marco la casilla de que es relevante, en las respuestas aparecerá el texto para la relevancia y entonces se le asigna el número 1. Al acomodar la información matricial binaria, se obtienen las respuestas codificadas listas para ser sumadas y entonces aplicar los siguientes criterios de selección:
Relevante. - Es útil siempre y cuando presente mayoría calificada, es decir tres cuartas partes completas de la votación, haciendo analogía a las votaciones superiores consideradas en el Artículo 94 del Reglamento del Senado de la Republica [13]. En este caso, dado que participaron 7 expertos, entonces se considera la mayoría calificada a partir de 6 votos para considerarse útil, estableciéndose el mecanismo para la interpretación de los datos resultantes de la aplicación del instrumento virtual.

MATERIALES

Los insumos necesarios para el presente trabajo dado su carácter de investigación documental solo consisten en equipo de cómputo y los programas contenidos en el Office 365 de Microsoft, sin embargo, el más especializado de ellos y que se encuentra contenido en dicha suite es la aplicación Microsoft Forms que se utiliza para el levantamiento de información de campo y de expertos. Respecto a los insumos de información, se utiliza la Encuesta Nacional de victimización de empresas (ENVE) relacionada en el apartado de métodos,

 ISSN: 2007 8102

subapartado Selección de las fuentes de la información. Misma que es un trabajo elaborado por el Instituto de Estadística, Geografía e informática emitido en su última versión en septiembre del 2022 y se trata de datos de consulta abierta generados con el propósito de proporcionar información para el diseño de políticas públicas y el diseño de estrategias de seguridad.

PREPARACION

La encuesta se efectúa de forma bianual, está integrada por 194 indicadores específicos según su materia de estudio los cuales están organizados en 7 subdimensiones de estudio según las características delictivas que se enlistan en la tabla 1 a continuación descrita:

Tabla 1. Subdimensiones de la ENVE.

No.	Subdimensión	Indicadores
1	Nivel victimización delincuencia	22
2	Caracterización del delito	29
3	Denuncia del delito	14
4	Percepción seguridad pública	75
5	Desempeño Institucional	40
6	Consecuencia Inseguridad	7
7	Afectación comercio formal	7

Con el propósito de asegurar la validez de contenido de la prueba aplicada en los expertos y dar certeza al criterio utilizado para la selección de los ítems, a partir de las respuestas afirmativas para el criterio de relevancia es necesario calcular el índice de Validez de Contenido (IVC); práctica que coincidiendo con Yusoff [14] es vital para garantizar la validez global de una evaluación. Con este mecanismo la lista de indicadores se encuentra claramente clasificada por subdimensión para su selección por criterios de investigación y por elección de expertos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se detalló en el apartado de método, siguiendo la ruta del proceso para la selección de los indicadores se efectuaron las actividades:

- Selección de indicadores útiles para la investigación.
- Selección por expertos de indicadores relevantes a la competitividad.
- Desarrollo y aplicación de instrumento virtual “Índice detractor de la competitividad. Dimensión: Victimización de empresas”.
- Procesamiento de resultados por aplicación de instrumento virtual.

Presentándose los resultados correspondientes a continuación:

Primeros resultados Selección de indicadores de acuerdo con criterios de la investigación.

Los 194 indicadores en sus 7 dimensiones que integran la Encuesta Nacional de Victimización de Empresas (ENVE) [10] elaborada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), se sometieron a revisión para verificar su utilidad con los criterios de la investigación establecidos en el apartado de métodos para el primer proceso de selección, resultandos útiles 57 indicadores en 4 subdimensiones, que tomados en forma textual de la ENVE se relacionan a continuación:

No.	Descripción del indicador
Nivel victimización delincuencia	
1	Distribución de las unidades económicas por entidad federativa, según condición de victimización.
2	Distribución de los delitos ocurridos por entidad federativa y los tres delitos más frecuentes.
3	Distribución de los delitos ocurridos por entidad federativa, gran sector y los tres delitos más frecuentes.
4	Distribución de los delitos ocurridos por entidad federativa, tamaño y los tres delitos más frecuentes.
5	Distribución de las unidades económicas víctimas del delito por entidad federativa, según entidad de ocurrencia.
6	Distribución de los delitos por entidad federativa de ocurrencia, según gran sector.
7	Distribución de los delitos ocurridos por tipo de delito, según lugar de ocurrencia del delito.

 ISSN: 2007 8102

8	Distribución de los delitos ocurridos por gran sector, según lugar de ocurrencia del delito.
9	Distribución de los delitos ocurridos por tamaño de la unidad, según lugar de ocurrencia del delito.
10	Distribución de los delitos ocurridos por gran sector, según periodo de ocurrencia del delito.
11	Distribución de los delitos ocurridos por tamaño de la unidad, según periodo de ocurrencia del delito.
12	Distribución de las unidades económicas por gran sector, según condición de victimización por corrupción.
13	Distribución de unidades económicas por tamaño, según condición de victimización por corrupción.
	Caracterización del delito
14	Delitos ocurridos por tipo de delito, según horario en que se cometió el delito.
15	Delitos ocurridos por gran sector, según horario en que se cometió el delito.
16	Delitos ocurridos por tamaño de las unidades económicas, según horario en que se cometió el delito.
17	Delitos ocurridos por entidad federativa, según unidades económicas en operación en el momento en que ocurrió el delito.
18	Delitos ocurridos por tipo de delito, según unidades económicas en operación en el momento en que ocurrió el delito.
19	Delitos ocurridos por gran sector, según unidades económicas en operación en el momento en que ocurrió el delito.
20	Delitos ocurridos por tamaño de las unidades económicas, según aquellas que se encontraban en operación en el momento en que ocurrió el delito.
21	Delitos en los que el dueño y/o empleados de las unidades económicas estuvieron presentes y pudieron observarlos, por entidad federativa y según condición de portación de armas.
22	Delitos en los que el dueño y/o empleados de las unidades económicas estuvieron presentes, observaron el delito y aplica portación de arma, por entidad federativa y según condición de portación de armas.
23	Delitos en los que el dueño y/o empleados de las unidades económicas estuvieron presentes y pudieron observarlos, por tipo de delito y según condición de portación de armas.
24	Delitos en los que el dueño y/o los empleados de las unidades económicas estuvieron presentes y pudieron observarlos, por gran sector y según condición de portación de armas.
25	Delitos en los que el dueño y/o empleados de las unidades económicas estuvieron presentes, observaron el delito y aplica portación de arma, por gran sector y según condición de portación de armas.
26	Delitos en los que el dueño y/o empleados de las unidades económicas estuvieron presentes y pudieron observarlos, por tamaño y según condición de portación de armas.
27	Delitos en los que el dueño y/o empleados de las unidades económicas estuvieron presentes, observaron el delito y aplica portación de arma, por tamaño y según condición de portación de armas.
28	Delitos con portación de arma por gran sector, según tipo de arma.
29	Delitos con portación de arma por tamaño de las unidades económicas, según tipo de arma.
30	Delitos con portación de arma por gran sector, según condición de agresión al personal con la misma.
31	Delitos con portación de arma por tamaño de las unidades económicas, según condición de agresión al personal con la misma.
32	Delitos en los que el dueño y/o empleados de las unidades económicas estuvieron presentes y pudieron observarlos, por gran sector y según condición de agresión al personal.
33	Delitos en los que el dueño y/o empleados de las unidades económicas estuvieron presentes y pudieron observarlos, por tamaño y según condición de agresión al personal.
34	Delitos cometidos con agresión contra el personal de las unidades económicas, por gran sector y según tipos de lesiones.

 ISSN: 2007 8102

	Denuncia del delito
35	Delitos cometidos con agresión contra el personal de las unidades económicas, por tamaño y según tipos de lesiones
36	Delitos ocurridos por entidad federativa, según condición de denuncia e inicio de carpeta de investigación
37	Delitos ocurridos por entidad federativa según cifra negra
38	Delitos ocurridos por tipo de delito, según condición de denuncia ante el Ministerio Público o Fiscalía Estatal
39	Delitos ocurridos por tipo de delito según cifra negra
40	Delitos ocurridos por gran sector, según condición de denuncia ante el Ministerio Público o Fiscalía Estatal
41	Delitos ocurridos por gran sector, según cifra negra
42	Delitos ocurridos por tamaño, según condición de denuncia ante el Ministerio Público o Fiscalía Estatal
43	Delitos ocurridos por tamaño, según cifra negra
44	Delitos no denunciados por entidad federativa según causas de la no denuncia
45	Delitos no denunciados por tipo de delito según causas de la no denuncia
46	Delitos no denunciados por gran sector según causas de la no denuncia
47	Delitos no denunciados por tamaño según causas de la no denuncia
48	Delitos denunciados por resultado de la denuncia
49	Delitos denunciados según razón por la cual se denunció el delito
	Consecuencia Inseguridad
50	Total, de costos del delito por entidad federativa
51	Total, de costos del delito por gran sector
52	Total, de costos del delito por tamaño de las unidades económicas
53	Unidades económicas que sufrieron afectaciones como consecuencia de haber sido víctimas del delito por entidad federativa, según monto que representa y promedio
54	Unidades económicas que sufrieron afectaciones como consecuencia de haber sido víctimas del delito por gran sector, según monto que representa y promedio
55	Unidades económicas que sufrieron afectaciones como consecuencia de haber sido víctimas del delito por tamaño, según monto que representa y promedio
	Afectación comercio formal
56	Unidades económicas por entidad federativa, según condición de afectación por el comercio informal y/o productos ilegales
57	Unidades económicas por entidad federativa, según condición de victimización por vandalismo, actos de vandalismo declarados y promedio de actos de vandalismo por unidad económica

Fuente: Encuesta Nacional de Victimización de Empresas (ENVE) de INEGI [10]

Segundos resultados. - Aplicación de segunda selección de acuerdo con resultados de juicio de expertos mediante Microsoft Forms.

Con los 57 indicadores resultantes del primer proceso de selección, se construyó el formulario en Microsoft Forms descrito anteriormente y se envió mediante liga digital a los dispositivos móviles de 7 expertos cuyos perfiles generales se detallan en la tabla 2 a continuación presentada:

 ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Perfiles de expertos que colaboraron en segunda selección.

	Experto						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Formación	Licenciatura en derecho	Licenciatura en derecho	Doctorado	Licenciatura en derecho	Licenciatura en derecho	Licenciatura en derecho	Doctorando en medicina forense.
Área desarrollo	Agente del ministerio público	Asesor jurídico del H. Ayuntamiento Orizaba, Ver.	Desarrollo comercial	Litigante	Litigante	Litigante	Fiscalía Veracruz, área de Identificación Humana

Como se observa en la tabla anterior, los perfiles de los expertos son en mayor proporción relacionados con el área criminalista con perfil de formación de licenciatura siendo válido su criterio en virtud de que Majszak [15] establece que el juicio no solo involucra el conocimiento teórico de la persona sino también el aprendizaje tácito, la intuición y los valores; en el mismo sentido, se consideran competentes para desempeñarse como expertos fundamentado en que la Norma ISO 901:2015 [16] en su apartado 7.2 integra como atributos de competencia no solo a la educación sino también a la formación y la experiencia apropiadas de una persona.

Cálculo del índice de validez de contenido (IVC)

Con el propósito de acreditar la validez del contenido, a partir de las respuestas de los expertos se calculó el índice respectivo, obteniéndose para esta prueba según lo que se observa en la tabla 3, un índice de 0.85 el cual se considera aceptable, ya que según lo establecido por Marie Lynn [17] cuando participan entre 6 y 8 expertos, al menos debe obtenerse un IVC de 0.83 lo cual sitúa a la prueba como valida.

Tabla 3. Calculo del IVC de la prueba.

Experto / Item	1	2	3	4	5	6	7	Expertos en acuerdo	IVC
Distribución unidades económicas por entidad federativa, según condición de victimización.									
1	1	1	0	1	1	1	1	6	0.857142857
2	1	1	1	1	1	1	0	6	0.857142857
4	1	1	1	1	1	1	0	6	0.857142857
7	1	1	1	1	1	1	0	6	0.857142857
9	1	1	1	1	1	1	0	6	0.857142857
11	1	1	1	1	1	1	0	6	0.857142857
13	1	1	1	1	1	1	0	6	0.857142857
Caracterización del delito									
16	0	1	1	1	1	1	1	6	0.857142857
18	0	1	1	1	1	1	1	6	0.857142857
21	1	1	1	1	1	1	0	6	0.857142857
22	1	1	1	1	1	1	0	6	0.857142857
31	1	1	1	1	1	1	1	7	1
Denuncia del delito									
39	1	0	1	1	1	1	1	6	0.857142857
43	0	1	1	1	1	1	1	6	0.857142857
Consecuencia Inseguridad									
50	1	1	1	1	1	1	0	6	0.857142857
52	1	0	1	1	1	1	1	6	0.857142857
53	1	1	1	1	1	1	0	6	0.857142857
Afectación comercio formal									
56	1	1	1	1	1	1	0	6	0.857142857
57	1	1	1	1	1	1	0	6	0.857142857

Indicadores resultantes

Una vez acreditada la validez de la prueba, analizando los resultados obtenidos en Microsoft Forms y aplicando los criterios establecidos en el apartado de métodos para el procesamiento de resultados por aplicación de instrumento virtual, se determinó que de los 57 indicadores sometidos a consideración de los expertos, 19 aprobaron los criterios para selección, es decir 14 fueron aprobados por más de dos expertos en coherencia y relevancia y 4 fueron aprobados por más de 6 expertos en su criterio de relevancia, lo cual se observa en la relación contigua donde se presentan los indicadores útiles por su criterio de relevancia según la subdimensión a la que pertenecen mismos que dada la necesidad de conservar los textos originales se tomaron en forma textual de la ENVE [10] y por razón de trazabilidad se determinó conservar su numeración original.

Nivel victimización delincuencia	
1	Distribución de las unidades económicas por entidad federativa, según condición de victimización.
2	Distribución de los delitos ocurridos por entidad federativa y los tres delitos más frecuentes.
4	Distribución de los delitos ocurridos por entidad federativa, tamaño de unidad y los tres delitos más frecuentes.
7	Distribución de los delitos ocurridos por tipo de delito, según lugar de ocurrencia del delito.
9	Distribución de los delitos ocurridos por tamaño de la unidad, según lugar de ocurrencia del delito.
11	Distribución de los delitos ocurridos por tamaño de la unidad, según periodo de ocurrencia del delito.
13	Distribución de unidades económicas por tamaño, según condición de victimización por corrupción.
Caracterización del delito	
16	Delitos ocurridos por tamaño de las unidades económicas, según horario en que se cometió el delito.
18	Delitos ocurridos por tipo de delito, según unidades económicas en operación en el momento en que ocurrió el delito.
21	Delitos en los que el dueño y/o empleados de las unidades económicas estuvieron presentes y pudieron observarlos, por entidad federativa y según condición de portación de armas.
22	Delitos en los que el dueño y/o empleados de las unidades económicas estuvieron presentes, observaron el delito y aplica portación de arma, por entidad federativa y según condición de portación
31	Delitos con portación de arma por tamaño de las unidades económicas, según condición de agresión al personal con la misma.
Denuncia del delito	
39	Delitos ocurridos por tipo de delito según cifra negra.
43	Delitos ocurridos por tamaño, según cifra negra.
Consecuencia Inseguridad	
50	Total de costos del delito por entidad federativa.
52	Total de costos del delito por tamaño de las unidades económicas.
53	Unidades económicas que sufrieron afectaciones como consecuencia de haber sido víctimas del delito por entidad federativa, según monto que representa y promedio.
Afectación comercio formal	
56	Unidades económicas por entidad federativa, según condición de afectación por el comercio informal y/o productos ilegales.
57	Unidades económicas por entidad federativa, según condición de victimización por vandalismo, actos de vandalismo declarados y promedio de actos de vandalismo por unidad económica.

Con este resultado, se encuentra la investigación en el punto en el que los indicadores sujetos de estudio base para el desarrollo del indicador detractor en su dimensión social criminalista están debidamente identificados y su elección posee validez al haber sido seleccionado por expertos y haber acreditado los parámetros aceptables para evaluación por IVC, el trabajo que se encuentra pendiente es la extracción de la información y la aplicación de un proceso similar para la dimensión ambiental y posteriormente obtener de ambas dimensiones en forma relacionada, el índice integrado.

CONCLUSIONES

Se ha presentado el proceso para la selección de indicadores de variables observables de una fuente oficial, combinando métodos de selección por criterios propios de la investigación, por colaboración de expertos utilizando herramienta digital y con aplicación de índice de validez de contenido (IVC) como trabajos previos a la conformación del Indicador detractor a la competitividad correlacionado proporcional. El grupo de

 ISSN: 2007 8102

indicadores que integran la dimensión Social criminalista queda conformado por 4 subdimensiones con 19 indicadores validados. Esta dimensión social puede ser utilizada para medir el detractor de la competitividad con un enfoque negativo no presentado en el índice actual (IMCO) y puede ser utilizado como herramienta que coadyuve en la toma de decisiones de inversión al indicar cuales son los indicadores de la ENVE que afectan directamente a la competitividad de una entidad federativa bajo los criterios referidos. Es necesario enfatizar que el haber insaculado estos indicadores, el poder medirlos y utilizarlos como elementos detractores posee un valor y utilidad intrínseco ya que permitirá a las autoridades políticas, empresarios, inversionistas y diversas partes interesadas contar con una visión objetiva detractora a los valores de la competitividad de una entidad federativa siendo esto importante para poder decidir con un enfoque mas realista que ubique a las zonas de interés en una posición competitiva realista al haber sido incluido el criterio de la criminalidad que existe en una entidad mexicana.

REFERENCIAS

[1] P. R. Nieven, Balanced Scorecard: Step by step for government and nonprofit Agencies, Hooboken NJ: Wiley, 2008.

[2] M. Porter, «La ventaja competitiva de las naciones,» Harvard Business Review, p. 22, 1990.

[3] J. Horvathova, «Business Competitiveness, its Financial and Economic Parameters,» Montenegrin Journal of Economics, Presov, 2020.

[4] E. O. Poblano, «Validación de un instrumento de medición para evaluar el efecto de la Inteligencia Competitiva en empresas de la Región Lagunera de Coahuila,» de Validación de un instrumento de medición para evaluar el, Torreon, 2020.

[5] J. F. P. Ramìrez, «Ciencia UAT,» 1 01 2022. [En línea]. Available: https://doi.org/10.29059/cienciauat.v16i2.1539.

[6] M. J. J. Garcia, «Innovación organizacional como factor de competitividad empresarial,» Comuniaccion, p. 12, 2021.

[7] O. Eurostat, «Directrices para la recogida e interpretacion de informaciòn relativa a innovaciòn,» Mi + D, p. 168, 2007.

[8] R. I. P. Medina, «Validez de contenido de un instrumento de medición de ventaja competitiva del sector hotelero,» 01 08 2020. [En línea]. Available: https://doi.org/10.20983/novarua.2020.21.2.

[9] IMCO, «Indice de competitividad Estatal 2022,» IMCO, México, D.F., 2022.

[10] INEGI, «INEGI,» 29 09 2022. [En línea]. Available: https://www.inegi.org.mx/programas/enve.

[11] D. O. d. l. Federación, «Diario Oficial de la Federación,» Diario Oficial de la Federación, p. 3, 25 06 2009.

[12] J. E. Perez, «Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximacion a su utilizacion,» Research Gate , p. 11, 2008.

[13] D. O. d. l. Federacion, «Diario Oficial de la Federacion,» Diario Oficial de la Federacion, p. 81, 28 02 2013.

[14] M. S. B. Yusoff, «ABC Conten validation and content validity index calculation,» Educational Resource, p. 6, 2019.

[15] M. Majszak, «Expert judgment in climate science:How it is used an how it can be justified,» Studies in History and Philosophy of Science, vol. 100, nº 99, p. 7, 2023.

[16] I. O. f. Standarization, «Quality management systems Requirements,» ISO, Ginebra, 2015.

[17] M. R. Lynn, «Determination and quantification of content validity,» Nursing Research https://doi.org/10.1097/00006199-198611000-00017, p. 4, 1986.

ISSN: 2007 8102

Diseño de mejora del proceso de captación de ingresos propios para el TecNM campus Colima.

P. Mendoza Castellanos [1], M.C. Pedraza Marín[1], G. Herrera Delgado [1], H. E. Cárdenas Velasco [1], M. Sánchez Losoya [1]*
[1]Departamento Ciencias Económico administrativas, Tecnológico Nacional de México campus Colima. Av. Tecnológico No. 1, Villa De Álvarez, Col. C.P. 28976, Colonia Liberación. maria.sanchez@colima.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa.*

Resumen

Es importante que las instituciones prestadoras del servicio educativo estén a la vanguardia de las nuevas tecnologías integradas en todos sus procesos, como una herramienta para mejorar la calidad de los servicios que prestan, que van desde la planeación de sus actividades administrativas, hasta la ejecución de las mismas, en beneficio de su comunidad académica. El presente trabajo se realizo con la finalidad de diseñar un proceso de captación de ingresos propios para el TECNM campus Colima.

***Palabras clave**: PDCA, procesos, proyectos, ingresos.*

Abstract

It is important that the institutions that provide the educational service are at the forefront of new technologies integrated into all their processes, as a tool to improve the quality of the services they provide, ranging from the planning of their administrative activities, to the execution of the same, for the benefit of their academic community. The present work was carried out with the purpose of designing a process of attracting own income for the TECNM Colima campus.

***Key words**: PDCA, processes, projects, income.*

Introducción

La presente investigación tiene como objetivo diseñar un mejor proceso para la captación de ingresos propios del TecNM campus Colima. Para lo cual, se realizó un análisis del proceso actual, se identificación los problemas que presentan, y se propusieron alternativas de solución, todo con la finalidad de mejorar el desempeño y experiencia de los usuarios. [1]

Mejorar los procesos administrativos, tiene como resultado prestar un servicio educativo de calidad, el Proceso Estratégico: Administración de los Recursos, tiene como objetivo “Determinar y proporcionar los recursos necesarios para lograr la conformidad con los requisitos del servicio educativo, con los requisitos legales, con la atención y respuesta a emergencias ambientales y con todos los requisitos que suscriban” [2]

La organización que nos ocupa es, el Tecnológico Nacional de México Campus Colima, en donde se es consciente de su responsabilidad social como formadora de profesionistas, para ello implementó y mantiene, un Sistema de Gestión Integral (SGI) de su Proceso Educativo, que está integrado por cinco Procesos Estratégicos, siendo estos: el Académico, de Planeación, de Vinculación, Administración de los recursos y el de Calidad.
El Sistema de Gestión Integral del Instituto, considera la operación del proceso educativo, que a su vez está integrado por dos sistemas de gestión: el de Calidad (SGC) y el Ambiental (SGA) de acuerdo con los requisitos de los estándares internacionales ISO 9001:2015 e ISO 14001: 2015, respectivamente. [3]

Una de las unidades administrativas que participa en el Proceso Estratégico: Administración de los Recursos, es sin duda el Departamento de Recursos Financieros, cuya función es “Planear, coordinar, controlar y evaluar las actividades relacionadas con la administración de los recursos financieros del TECNM campus Colima conforme a las normas y lineamientos establecidos por la Secretaria de Educación Pública” [4]

ISSN: 2007 8102

Los ingresos propios son una fuente de financiamiento importante para las instituciones educativas, ya que permiten cubrir gastos operativos. Sin embargo, la captación de estos recursos puede ser un reto y requiere una adecuada gestión. [5]

Mejorar los procesos administrativos tiene como resultado el prestar un servicio educativo de calidad, por lo que consideramos primeramente identificar los problemas actuales que se tienen en esta unidad orgánica y seleccionar el proceso que impacte directamente en el servicio que se brinda a sus clientes principales que son los estudiantes.

Ya que en el caso del TecNM campus Colima, el proceso de captación de ingresos propios se realiza de forma presencial en el área de caja del departamento de recursos financieros, donde el proceso presenta problemáticas como: largar filas, tiempos de espera prolongados, y necesidades de que los usuarios se desplacen hasta la institución para realizar los pagos.

Metodología

La presente investigación esta realizada bajo un enfoque mixto, pues se busca establecer procesos sistemáticos, empíricos y críticos, mediante la recolección y análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así también se realiza mediante la naturaleza exploratoria porque se analiza el diseño actual del sistema de gestión de calidad del TECNM campus Colima, con el fin de obtener un panorama general del objeto de estudio, y descriptiva porque se examinan las características del sistema, se utilizan instrumentos para la obtención de la información, análisis de datos y se describen los resultados de mejora del proceso de los ingresos propios de la institución.

La presente investigación se realiza mediante cinco etapas que a continuación se describen:

Etapa 1. Identificación de la problemática.

Se establece un análisis de las diversas áreas del TECN campus Colima, para determinar las áreas de oportunidad dentro del proceso de mejora continua, como se aprecia en la figura 1 se establece un proceso de identificación del proceso inicial.

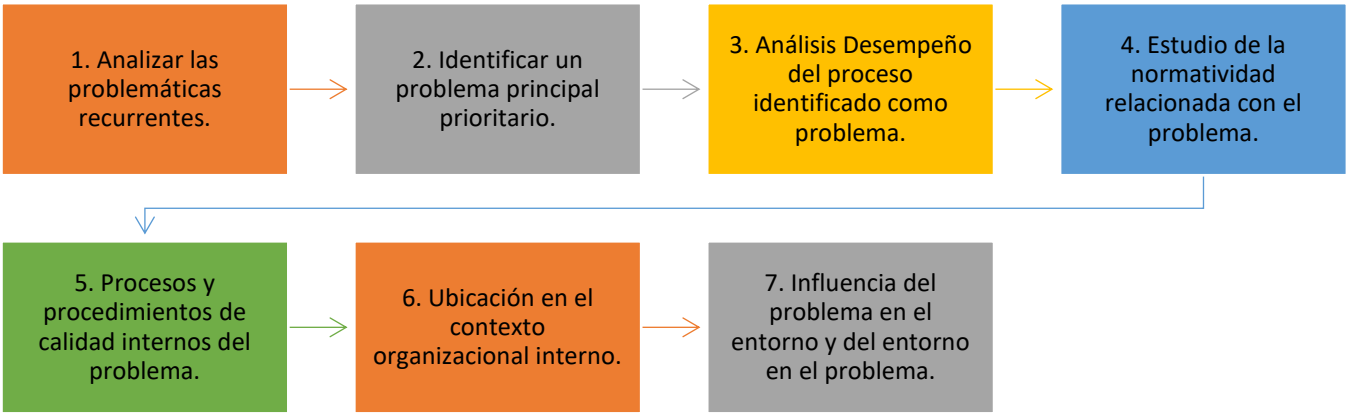


Figura 1. Proceso de identificación de la problemática. Elaboración propia.

Etapa 2. Conceptualización y características del problema.

Se realiza el análisis de las áreas de oportunidad en el proceso del área detectada como el problema, para definir el problema y establecer los elementos sujetos a mejora, mediante la figura 2 se visualiza el proceso de conceptualización y características del problema. [6]

 ISSN: 2007 8102

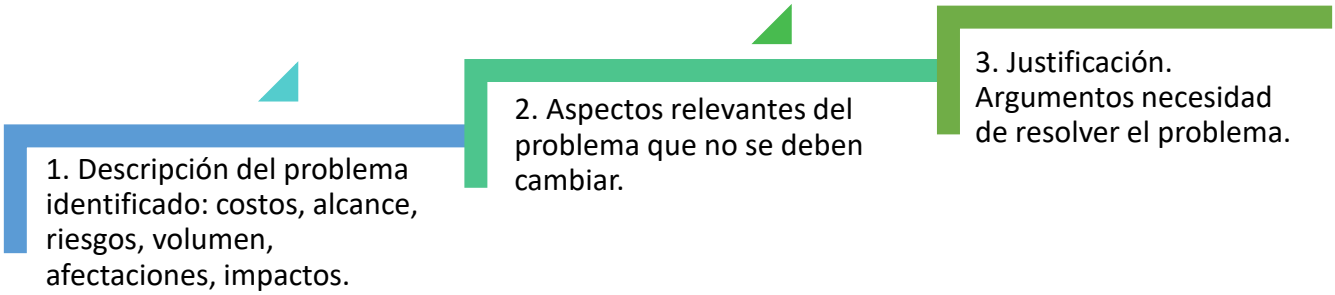


Figura 2. Conceptualización y caracterización del problema. Elaboración propia.

Etapa 3. Determinación del efecto principal con que se manifiesta y las causas del problema.

Una vez identificado el problema se realizó un instrumento de medida con necesidad frecuente en la investigación mediante una encuesta, a fin de conocer la percepción de los usuarios del servicio, misma que fue aplicada a estudiantes de las carreras de Licenciatura en Administración y Contador Público. Donde se preguntó aspectos generales de la persona estudiante y los siguientes ítems concretos de la investigación con una escala de Likert ya que esta escala tiene mejores beneficios para diseño de cuestionarios en los procesos administrativos. [7]

1 ¿Existe la información clara y suficiente sobre las diferentes cuotas de los diversos servicios que presta el Instituto?
2 ¿El Servicio que se brinda en el área de caja cumple con mis expectativas y satisface mis necesidades?
3 ¿El Responsable del Servicio te atiende adecuadamente?
4 Consideras que el horario de servicio establecido es adecuado.
5 ¿Te gustaría que todos los pagos pudieran realizarse mediante depósitos referenciados a través de un tercero?

Etapa 4. Determinación de la propuesta de mejora o cambio.

En esta etapa se analiza mediante el análisis FODA, un análisis interno, mediante un estudio del micro y macroentorno Identificar las oportunidades, amenazas, fortalezas y debilidades. Estructura de la matriz FODA, separar los elementos estructurales de cada cuadrante del análisis FODA. Análisis CAME, propuestas para corregir las debilidades, afrontar las amenazas, mantener las fortalezas y explorar oportunidades anteriormente identificadas. Selección de la estrategia, mediante un análisis de las diversas estrategias seleccionar la estrategia que cuente con mayor viabilidad. Planificación, definir y planificar las acciones a implementar. [8]

Etapa 5. Definición de alternativas de decisión y plan de acción.

Se determina la estrategia predominante a realizar, estableciendo un objetivo general, mediante la elaboración de una matriz de plan de acción, con la finalidad de establecer las estrategias de orientación y organización de diferentes campos de acción, con intención de garantizar la integración y continuidad del proyecto, de forma sistémica. [9]

Resultados y discusión

Etapa 1. Identificación de la problemática.

Se determina el área en donde existiera la posibilidad de realizar un proyecto de mejora y que además tuviera una función importante dentro de la organización, en el caso que nos ocupa fue el Departamento de Recursos Financieros. Una vez hecho el análisis de cada una de las problemáticas, el problema seleccionado fue: “La captación de los ingresos propios, excepto: pagos por fichas de admisión para nuevo ingreso, cuotas de inscripción y reinscripción, se hace de forma presencial en el área de caja del departamento”.

1. Analizar las problemáticas recurrentes. Del análisis elaborado en esta investigación se obtuvo las siguientes problemáticas:

- La documentación comprobatoria de gastos por servicios o por compra de bienes, en ocasiones es entregada fuera de la fecha programada para su recepción, originando retraso en la generación de los cheques y el pago correspondiente.
- Los oficios del personal que es comisionado son entregados, sin respetar los tres días hábiles que se solicita para la elaboración de los cheques de los recursos que se anticipan para cubrir los gastos que se originen en dichas comisiones.
- En ocasiones el personal comisionado no entrega la documentación comprobatoria de los gastos originados, durante su comisión oficial en el tiempo establecido o en su defecto el reintegro de los recursos asignados.
- Las facturas o recibos de honorarios del personal que labora en la institución que no tiene plaza, son entregados en las fechas límite para la generación del pago correspondiente.
- La captación de los ingresos propios, excepto: pagos por fichas de admisión para nuevo ingreso, cuotas de inscripción y reinscripción, se hace de forma presencial en el área de caja del departamento.
- A fin de dar cumplimiento a las actuales disposiciones fiscales, se han incrementado las actividades que se realizan en el departamento como: verificación de datos en plataformas, así como alimentación de información en las mismas, implementación de controles y elaboración de formatos.
- Incremento en las actividades propias del departamento debido al número de usuarios que se atienden como: estudiantes, personal de apoyo y asistencia a la educación, personal docente, proveedores, etc. sin que haya habido incremento en el número de personal.

2. Identificar un problema principal prioritario. Realizar el pago de las cuotas por el servicio educativo en forma presencial, genera para los usuarios largas filas y tiempos de espera.

3. Análisis Desempeño del proceso identificado como problema.

Alcance. El área de caja del Departamento de Recursos Financieros atiende a toda la comunidad estudiantil en el pago de las cuotas por los diferentes servicios que se prestan, de acuerdo al Informe de Rendición de Cuentas del año 2018 “la matrícula en el TecNM campus Colima ascendió a 3,209 estudiantes en nivel licenciatura y a 41 estudiantes en dos maestrías” [5]

De igual forma, en el área de caja se realizan los pagos a los proveedores por la adquisición de bienes o servicios, el pago a personal administrativo y docente que labora por honorarios y se atiende además a instituciones u organismos a los que se les presta algún servicio.

Por lo que se puede concluir que el alcance que tiene el Procedimiento para la Captación de los Ingresos Propios repercute también, tanto en áreas académicas como administrativas, además.

Ámbito. La captación de los ingresos propios se realiza en el área de caja de la Oficina de Tesorería del Departamento de Recursos Financieros, este departamento a su vez depende de la Subdirección de Servicios Administrativos.

Afectados. La captación de los ingresos propios en mayor porcentaje se hace de forma presencial, por tanto, los más afectados son los estudiantes y egresados que superan en número a los otros usuarios, como son las empresas o instituciones a las que se les proporciona servicios como cursos, diplomados, asesorías, etc.

Grado de desviación. Se cuenta solamente con una caja para la captación de los recursos, origina largas filas, tiempo de espera y los usuarios tienen que sujetarse a los horarios establecidos para realizar sus pagos, lo que perjudica en el caso de los estudiantes para la asistencia puntual a sus clases.

Adicionalmente genera una gran responsabilidad para el personal asignado a la caja, al manejar dinero en efectivo pudiendo ser susceptible de robo, ya que el dinero es depositado por un propio en una institución bancaria hasta el día hábil siguiente.

 ISSN: 2007 8102

4. Estudio de la normatividad relacionada con el problema.

La facultad otorgada a los planteles para la captación de sus ingresos propios, se encuentra normada en el Manual de Sistemas de Ingresos Propios de los Planteles Educativos, mismo que fue elaborado con la siguiente base legal:

-Acuerdo Presidencial del 29 de diciembre de 1978, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 25 de enero de 1979 [4]

En dicho manual se reconoce esta necesidad imperativa para el desarrollo nacional, modernizando las estructuras de los sistemas administrativos. Actualmente con la implementación de los sistemas de calidad y las buenas prácticas existe un procedimiento documentado denominado: “SGI-ADM-01 Procedimiento para la captación de ingresos propios” [2]

5. Procesos y procedimientos de calidad internos del problema.

Se tiene implementado un Sistema de Gestión Integral en el que se considera la operación del proceso educativo, integrado por dos sistemas de gestión: el de Calidad (SGC) y el Ambiental (SGA) de acuerdo con los requisitos de los estándares internacionales ISO 9001:2015 e ISO 14001: 2015, respectivamente. [3]

El Manual de Sistemas de Ingresos Propios de los Planteles Educativos, permite “determinar libremente los mecanismos internos de trámite, información, control y evaluación adecuados para que la captación, el ejercicio, la información y el control de los ingresos propios” [4]

En atención a lo anterior, se estableció un procedimiento el cual está documentado: “SGI-ADM-01 Procedimiento para la captación de ingresos propios” [2]

Al analizar la fecha en que fue elaborado este procedimiento refiere que corresponde al año 2017, se observa en el Diagrama del Procedimiento que los pagos de las cuotas, se hacen de forma presencial en el área de caja y considera como documento comprobatorio del pago el Recibo Oficial de Cobro, siendo que a la fecha se emite un CFDI, que es una factura electrónica sus siglas significan Comprobante Fiscal Digital por Internet.

Al interior del Departamento de Recursos Financieros, este procedimiento está relacionado con el que se lleva a cabo para la elaboración de los Estados Financieros Mensuales.

Con el área Académica está relacionado con los siguientes procedimientos:

SGI-AC-01 Procedimiento para la inscripción de estudiantes.

SGI-AC-02 Procedimiento para la reinscripción de estudiantes.

SGI-AC-IT-01 Instructivo de trabajo para la titulación integral.

Así como también, con el área de Planeación y Vinculación, con los procedimientos relacionados con la expedición de documentos oficiales y la prestación de servicios al sector productivo.

El estar involucrado en diferentes procesos y prestar servicio a un gran número de clientes o usuarios, con una sola caja para su atención, genera filas, tiempos de espera prolongados, teniendo como resultado que el servicio que se brinda no tenga los estándares de calidad óptimos.

Etapa 2. Conceptualización y características del problema.

Una vez hecho el análisis de cada una de las problemáticas, el problema seleccionado fue:

“La captación de los ingresos propios, excepto: pagos por fichas de admisión para nuevo ingreso, cuotas de inscripción y reinscripción, se hace de forma presencial en el área de caja del departamento”. [10]

 ISSN: 2007 8102

En resumen:

Realizar el pago de las cuotas por el servicio educativo en forma presencial, genera para los usuarios:

- Largas filas,
- Tiempos de espera,
- El desplazarse hasta la institución educativa para realiza el pago,
- Tiempos muertos, debido a que el servicio que presta la caja además de realizar el cobro de las cuotas, realiza pagos a proveedores y otros acreedores de la institución.

El área de caja del Departamento de Recursos Financieros, atiende a toda la comunidad estudiantil, en el pago de las cuotas por los diferentes servicios que presta la institución.

Existe una normatividad exprofeso que permite a los Institutos realizar directamente la captación de sus recursos, la cual se expresa en el Manual de Sistema de Ingresos Propios de los Planteles Educativos.

Se considera que los más afectados en este proceso son los estudiantes y egresados, que superan en número a los otros usuarios, como son las empresas u organismos a los que se les proporciona servicios como cursos, diplomados, asesorías, etc. de ahí la importancia de este procedimiento, ya que el alumnado es la razón de ser de la institución educativa.

Genera una gran responsabilidad para el personal asignado a caja, al manejar dinero en efectivo, pudiendo ser susceptible este de robo.

La institución tiene establecido un Sistema de Gestión Integral, en el que se considera la operación del proceso educativo, en el cual está documentado el procedimiento SGI-ADM-01 Procedimiento para la Captación de Ingresos Propios.

Este procedimiento corresponde al área de caja de la Oficina de Tesorería, adscrita al Departamento de Recursos Financieros, en donde los involucrados son: el Jefe del Departamento, responsable de publicar las cuotas de Ingresos Propios, el Cajero, responsable de verificar que las cuotas a pagar correspondan al servicio solicitado, realizar el cobro y emitir el documento comprobatorio del pago, por último el cliente o usuario, quien consulta la lista oficial de las cuotas, solicita el cobro del servicio requerido, realiza el pago y recibe el comprobante del mismo.

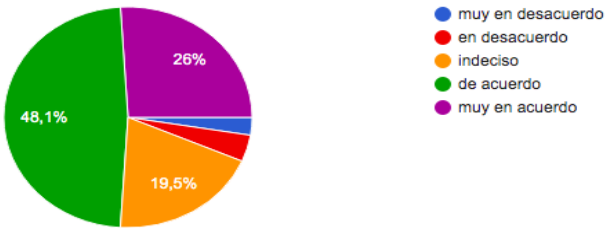
La influencia del problema en el entorno radica en que al tener un horario establecido el área de caja, otros departamentos se ven afectados al tener que realizar sus actividades al mismo tiempo, originando tiempos muertos y lentitud en los trámites.

La influencia del entorno en el problema, es la falta de personal administrativo, que es una limitante para asignar más personal al Departamento de Recursos Financieros, con la finalidad de extender el horario de servicio del área de caja y de la normatividad vigente en cuanto a los mecanismos de control.

Etapa 3. Determinación del efecto principal con que se manifiesta y las causas del problema.

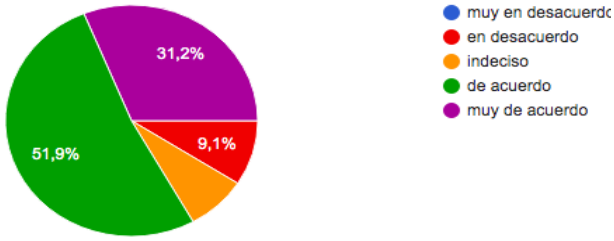
En base a la encuesta realizada a 77 personas estudiantes, se obtuvo los siguientes resultados, de las personas encuestadas el 40.3% son hombres y el 59.7% son mujeres, el 61% son personas estudiantes de la carrera de administración y el 39% son de Contador Público, de los ítems relacionados al problema identificado se establece:

1. ¿Existe la información clara y suficiente sobre las diferentes cuotas de los diversos servicios que presta el Instituto?

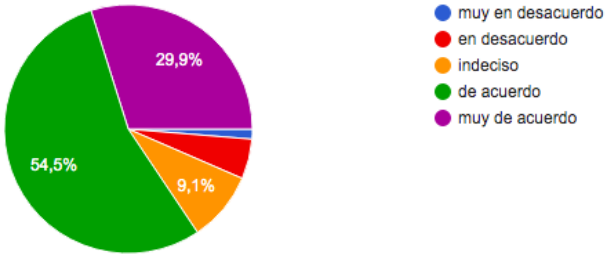


 ISSN: 2007 8102

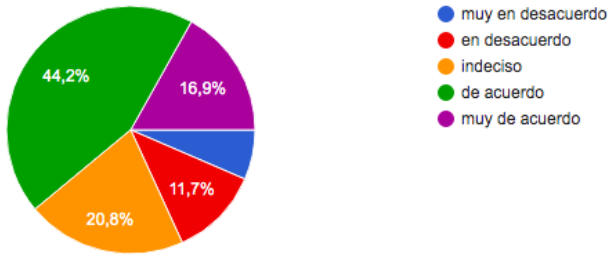
2. ¿El Servicio que se brinda en el área de caja cumple con mis expectativas y satisface mis necesidades?



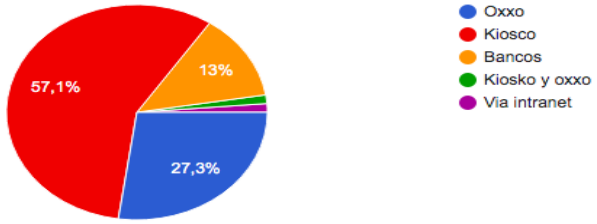
3. ¿El Responsable del Servicio te atiende adecuadamente?



4. Consideras que el horario de servicio establecido es adecuado.



5. ¿Te gustaría que todos los pagos pudieran realizarse mediante depósitos referenciados a través de un tercero?



Etapa 4. Determinación de la propuesta de mejora o cambio.

En base al análisis realizado se obtuvo el siguiente FODA, de la figura 3 donde se observan las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas. Ya que este análisis es de suma importancia para analizar las estrategias digitales a considerar. [11]

FORTALEZAS	DEBILIDADES
· F1 Marca con reconocimiento nacional.	· D1 La captación de los ingresos propios en su mayoría se hace de forma presencial en el área de caja del departamento.
· F2 Clientes que buscan entrar al instituto.	· D2 Se cuenta solo con una caja para cobro.
· F3 Se cuenta con recursos disponibles para hacer efectivo un cheque, para gastos urgentes o imprevistos.	· D3 Los usuarios tienen que sujetarse a los horarios establecidos.
· F4 Se cuenta con personal capacitado y comprometido.	· D4 Se cuenta con efectivo lo que genera un riesgo.

OPORTUNIDAD	AMENAZAS
· O1 Reingeniería del proceso .	· A1 Instituciones que otorgan créditos socio económicos.
· O2 Gestionar ante las autoridades centrales el otorgamiento de una plaza para instalar un módulo adicional.	· A2 Competencia actual agresiva
· O3 Dentro de las instituciones bancarias existe ofrecimiento de becas para estudiantes de escasos recursos .	· A3 Globalización de mercado
· O4 Contratar el servicio externo para recibir pagos referenciados de todas las cuotas.	· A4 Cambio de hábitos de los consumidores.

Figura 3. Análisis FODA. Elaboración propia en base a la investigación realizada.

 ISSN: 2007 8102

Etapa 5. Definición de alternativas de decisión y plan de acción.

Se establece la **estrategia predominante** "La implementación de depósito referenciado a través de un tercero". Y de **objetivo general** "El mejorar la calidad de los servicios que ofrece el área de caja del Departamento de Recursos Financieros del TECNM campus Colima. La matriz del plan de acción se establece en la figura 4 donde se puede observar la estrategia a realizar para lograr el objetivo establecido. [12]

OBJETIVOS/ META?	¿Qué?	¿Cómo?	¿Quiénes?	¿Cuándo?	¿Con Qué?	¿Indicadores?	¿Impacto?
Mejorar la calidad de los servicios que ofrece el área de caja del Departamento de Recursos Financieros del TecNM Campus Colima.	Establecer alianzas con tiendas de conveniencia y bancos para la captación de cuotas por los servicios educativos.	Con base a los resultados obtenidos, una vez identificadas las preferencias de los usuarios, establecer estrategias para generar alianzas con Kioskos, Oxxos y Bancos.	Responsable: Departamento de Recursos Financieros. Participantes: Tiendas de conveniencia, Bancos y usuarios de los servicios educativos.	Se sugerirá implementar el proyecto de mejora a partir del el próximo ciclo escolar: Agosto-Diciembre/20	Con los recursos con que cuenta el Departamento de Recursos Financieros, del propio campus y de las alianzas que se logren.	*Usuarios atendidos. *Cuotas captadas.	Se pretende mejorar la calidad del servicio que se ofrece, atendiendo la problemática detectada, logrando tener más usuarios satisfechos con el servicio y eliminando el riesgo por el manejo del efectivo.

Figura 4. Matriz del plan de acción. Elaboración propia en base a la investigación realizada.

Trabajo a futuro

Establecer estrategias de mejora en los problemas identificados en el análisis mediante estrategias específicas de mejora continua.

Conclusiones

El problema elegido para realizar el Proyecto de Mejora fue el "Procedimiento para la Captación de Ingresos Propios", mismo que tiene un amplio alcance ya que involucra a toda la comunidad estudiantil. Tras el análisis del proceso actual de captación de ingresos propios del TecNM campus Colima, se identificaron los siguientes problemas:

- Largas filas y tiempos de espera prolongados para los usuarios.
- Desplazarse hasta la institución para realizar los pagos.
- Riesgo de robo para el personal de caja.

La presente investigación tiene los siguientes aportes:

- Las cuotas de Ingresos Propios por los servicios educativos, pueden consultarse vía internet a través de la página web de la institución en cualquier horario, pudiendo ser actualizadas en tiempo real, lo que evitaría tener margen de error al realizar cualquier pago.

 ISSN: 2007 8102

- Los pagos de las cuotas pueden realizarse cualquier día de la semana incluyendo sábados, domingos y días feriados, en horario extendido, acudiendo a las tiendas de conveniencia.
- Los clientes tendrían diferentes opciones para realizar sus pagos como: Tiendas de conveniencia, Bancos o por ventanilla en el área de caja en la propia institución.
- En el caso de los estudiantes al ser utilizado su número de control al realizar un pago, les sería enviado su CFDI y archivo XML a su correo institucional, sin necesidad de hacer el trámite de forma presencial en ventanilla.
- El procedimiento no contraviene a la normatividad establecida para la captación, registro y control de los Ingresos Propios, por el contrario, evita que en la institución se tenga dinero en efectivo, con el riesgo que esto conlleva.
- Evita que los estudiantes provenientes de otros estados tengan que trasladarse a la institución a realizar un pago, sobre todo en períodos intersemestrales.
- No se forman filas en el área de caja y no habiendo tiempos muertos.
- Se reduce el número de clientes para ser atendidos en el área de caja, lo que permite brindar un servicio con más calidad.
- Permite que las demás unidades orgánicas organicen sus actividades, sin estar sujetos al horario establecido en el área de caja.

Por los resultados obtenidos anteriormente, como se observa que existe aceptación en cuanto al servicio que se les brinda en el área de caja. Por último, a la pregunta relacionada con la posibilidad de realizar depósitos referenciados a través de un tercero, como otra opción para realizar el pago de las cuotas de Ingresos Propios, se obtuvieron las siguientes respuestas:

Opción presentada:	% de aceptación
Kiosko	57.10%
Oxxo	27.30%
Bancos	13.00%
Kiosko y Oxxo	1.30%
Vía Intranet	1.30%

Por lo que podemos concluir que, los encuestados consideran como una opción el realizar el pago de sus cuotas mediante depósitos referenciados, en este caso privilegiando el servicio que ofrece la tienda de conveniencia denominada “Kiosko”, ya que es una tienda de conveniencia local con mayor presencia en el estado de Colima que cualquier otra cadena comercial, lo que hace que sea accesible a la mayoría de las personas estudiantes de la institución sujeta a estudio.

Indudablemente una institución que tiene establecido un Sistema de Gestión Integral, está comprometida a la mejora continua. Se cuenta con el personal calificado para generar el software necesario para automatizar procesos, así como, con la infraestructura física requerida para ello, lo que posibilita a la institución a implementar buenas prácticas, acordes a la calidad académica del servicio educativo que presta, en sus diez carreras acreditadas por organismos externos y sus dos maestrías que cuentan con el reconocimiento del CONACyT como programas de buena calidad.

Agradecimientos

Agradecemos al TECNM campus Colima por las facilidades otorgadas para realizar esta investigación.

Referencias

[1] E. P. C. &. W. G. Turban, Information Technology for Management: On-Demand Strategies for Performance, Growth, and Sustainability, John Wiley & Sons, 2018.

[2] TecNM campus Colima, «Sistema de Gestión Integral.,» TecNM, Colima, 2023.

ISSN: 2007 8102

[3] International Organization for Standardization, «ISO,» 2022. [En línea]. Available: www.iso.org. [Último acceso: 01 06 2022].

[4] Secretaría de Educación Pública, «SEP,» SEP, 1992. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/sep. [Último acceso: 25 05 2022].

[5] TecNM campus Colima, «Informe de Rendición de Cuentas 2018.,» Colima, México., TecNM campus Colima., 2019.

[6] C. García-Rincón, Las seis gafas de la mejora continua, Amazon Digital Services LLC - KDP Print US, 2021.

[7] R. H. Sampieri, METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN, Las rutas cuantitativas, cualitativa y mixta, vol. 28, McGraw-Hill Interamericana, 2018, pp. 167-182.

[8] D. H. Sánchez, «Análisis FODA O DAFO,» Bubok, 2020.

[9] M. Cajigas Romero, D. A. Ramírez Cajigas y E. Ramírez, «Plan de Acción Empresarial, Modelo disruptivo de diagnóstico y planeación de la empresa para mantenerla generando valor.,» ECOE, Bogotá, Colombia., 2023.

[10] TECNM campus Colima, «colima.tecnm.mx,» 2019. [En línea]. Available: https://www.colima.tecnm.mx/. [Último acceso: 23 06 2022].

[11] P. G.-M. V. &. C.-N. J. G. Alonso-Dominguez, El estandar para la gestión de riesgos en portafolios, programas y proyectos, vol. 28, Pennsylvania, EE.UU.: Project Management Institute, Inc., 2022, pp. 132-146.

[12] C. Pires, Gestión Por Procesos En La Práctica., Independently Published., 2021.

Alternativas de desarrollo turístico en Tlatlauquitepec a partir de necesidades y expectativas reveladas por visitantes

A. Sánchez García[1], C. Hernández Méndez[2], Á. Chávez Galaviz[3], I. Muñiz Montero[4]
[1]Tecnológico Nacional de México-Campus Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec, adan.sanchez@tlatlauquitepec.tecnm.mx
[2]Tecnológico Nacional de México-Campus Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec, claudia.hernandez@tlatlauquitepec.tecnm.mx
[3]Tecnológico Nacional de México-Campus Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec, alvaro.chavez@tlatlauquitepec.tecnm.mx
[4] Universidad Politécnica de Puebla, isabel.muniz@uppuebla.edu.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

Los estudios de turismo en entornos locales son esenciales por la diversidad de opciones que ofrece al visitante y la derrama económica provoca en la comunidad. El objetivo del presente trabajo consiste en diseñar un lineamiento de acción que contribuya al desarrollo turístico en Tlatlauquitepec, tomando como referente la demanda expresada en necesidades y expectativas de los visitantes en relación a los productos turísticos predominantes. El diseño del estudio es no experimental cualitativo, se analizan necesidades y preferencias de los visitantes para atender deficiencias de la oferta turística local. Las variables analizadas son demanda, la oferta de servicios y productos, las expectativas y el diseño de una línea de acción. El levantamiento de información se realizó en la cabecera municipal, la población se eligió de manera aleatoria y por conveniencia. Los casos son representativos de la afluencia de promedio mensual. Los resultados y discusión concluyen que en Tlatlauquitepec la llegada de turistas, ocupación hotelera y la derrama económica aumentaron a partir de la nominación de Pueblo Mágico. Las áreas de oportunidad que se han advertido se dirigen a aumentar los atractivos turísticos, actividades, infraestructura, calidad en el servicio, entre otros. El diseño de la línea de acción incluye una estrategia, tres indicadores y doce metas.

***Palabras clave**: Desarrollo local, Turismo de experiencias, Pueblos Mágicos, Expectativas.*

Abstract

Tourism studies in local environments are essential because of the diversity of options offered to visitors and the economic spillover causes in the community. The objective of this work is to design a guideline of action that contributes to tourism development in Tlatlauquitepec, taking as a reference the demand expressed in needs and expectations of visitors in relation to the predominant tourism products. Study design is qualitative non-experimental, needs and preferences of visitors are analyzed to attend deficiencies in the local tourism offer. The variables analyzed are demand, the supply of services and products, expectations and the design of a line of action. The collection of information was carried out in the municipal capital, the population was chosen randomly and for convenience. The cases are representative of the monthly average influx. The results and discussion conclude that in Tlatlauquitepec the arrival of tourists, hotel occupancy and economic spillover increased from the nomination of Pueblo Mágico. The areas of opportunity that have been warned are aimed at increasing tourist attractions, activities, infrastructure, quality of service, among others.The design of the action line includes a strategy, three indicators and twelve targets.

***Key words**: Local development, Experience tourism, Magical Towns, Expectations.*

1. Introducción

El sector turístico tiene gran importancia para la economía nacional, gobierno y sociedad han mostrado interés acerca del turismo como alternativa de impulso al desarrollo local. En el Plan Nacional de Desarrollo vigente, el

turismo se concibe como herramienta de reconciliación social, capaz de contribuir en la erradicación de la pobreza y en la conformación de un país más justo [1]. El estudio sobre Alternativas de Desarrollo Turístico en Tlatlauquitepec, Puebla proporciona información que coadyuva a la toma de decisiones de inversión pública y privada; asimismo, permiten atraer el interés de emprendedores y el aliento a proyectos de inversión. El objetivo consiste en diseñar una línea de acción que contribuya al desarrollo turístico en Tlatlauquitepec, tomando como referente la demanda expresada en sus necesidades y expectativas de los visitantes en relación a los productos turísticos predominantes.

La sierra norte del estado de Puebla, por su diversidad natural, se presta muy bien para la práctica de actividades al aire libre como las caminatas, la fotografía, rappel o el ciclismo por mencionar algunas. Dentro del listado de municipios turísticos sobresalientes se encuentra Tlatlauquitepec [2]. Desde su nominación como Pueblo Mágico en 2012 y por al aumento de difusión medios de comunicación tradicionales y redes sociales, ha incrementado el número de turistas que desean conocer la localidad, condición que precisa a adaptarse y cubrir las necesidades que requieren los visitantes para mantener su estancia.
El trabajo pretende revelar el potencial que tiene el municipio para convertir al sector turístico en un eje detonador de desarrollo económico, es urgente contribuir a los esfuerzos de investigación local destacando la gran diversidad de contextos socioculturales, las características de productos turísticos específicos y de los agentes que conforman el suministro de servicios al turista [3]. Definitivamente, lo económico no es lo único, en un programa de impulso al turismo se debe considerar el impacto ambiental que conlleva el fomento a esta actividad, en la actualidad los proyectos deben contener el atributo de sustentabilidad, puesto que uno de los propósitos urgentes es la protección al medio ambiente. El principal desafío es incrementar la economía local mediante el establecimiento de proyectos sin dañar la el medio social y natural del lugar.

Marco Contextual

La actividad turística está cambiando constantemente debido a una tendencia favorable de los países a la globalización y como consecuencia de eventos de escala mundial. El turismo es clave en muchos países, al tiempo que crece se diversifica, de 2010 a 2019 el crecimiento promedio anual de los ingresos por turismo internacional fue de 4.7% [4], mientras que el PIB mundial creció a una tasa promedio anual de 3.1% [5]. El crecimiento del turismo se explica por una economía global vigorosa, con la expansión de la población urbana e incremento de la clase media en las economías emergentes, una mayor facilitación de viajes. En 2019, el turismo, receptor e interior, representó una parte importante del producto interno bruto de muchas economías: en Macao (China), el turismo representó el 48% del PIB, en España, representa el 12%, en Francia, el principal destino turístico del mundo, el turismo representó el 7% del PIB.
Una particularidad del mundo actual radica en que las decisiones de los consumidores se guían cada vez más por lo que averiguan en páginas web y lo que encuentran en las redes sociales. En este momento Instagram y Facebook, y TikTok, las aplicaciones con más seguidores, son un medio que inspira planes de viaje a partir de su contenido. Los viajeros jóvenes, menores de treinta años, familiarizados con el uso de internet y las redes sociales valoran las ofertas y los descuentos buscando cada vez más formas de optimizar su presupuesto, el costo sigue siendo el factor crucial al planificar un viaje para la mayoría de las personas [6]. Los viajeros optan por el Turismo de Experiencias, representado por el ecoturismo, turismo naturalista, cultural, de aventura, rural y comunitario, mientras que el turismo tradicional de sol y playa pierde interés, fenómeno previsto por Organización Mundial del Turismo [7].

En México, el turismo contribuyó en 8.5% en el PIB, en el mismo 2019 arribaron a territorio 45 millones de turistas internacionales, el país ocupó el séptimo lugar de la clasificación internacional de la Organización Mundial de Turismo para ese concepto. La población ocupada en turístico ascendió a 3.7 millones de personas, lo que representó 8% del empleo nacional; en ingreso de divisas por turismo, ocupó el lugar diecisiete, con 24,573 millones de dólares, se ha previsto que la posición de México cambie por la afectación económica por las medidas de aislamiento y contención de la movilidad para enfrentar la pandemia por COVID 19 [8]. El turismo sustenta su fortaleza en el aprovechamiento de infraestructura, atractivos y servicios turísticos, en particular, en el Estado de Puebla, para 2018, el PIB turístico representó aproximadamente el 9.1 % del PIB nacional, y al cierre del año, generó 4 millones 187 mil empleos, que representa el 8.6% del empleo total [9].

2. Metodología

El diseño utilizado para el estudio de la realidad es no experimental cualitativo, pues se basa en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto para después analizarlos, asimismo se estudian necesidades y

preferencias de los visitantes para atender las expectativas en relación a la oferta turística local. Las variables analizadas son la demanda de los turistas, la valoración de expectativas y el diseño de una línea de acción para contribuir al desarrollo turístico en Tlatlauquitepec, Puebla. Los agentes implicados son principalmente los turistas, estos son individuos que han visitado al municipio de Tlatlauquitepec, por cualquier motivo que fuere, como algún evento social, trabajo, placer, visita a familiares, etc., ya sean hombres o mujeres de diferentes edades, sin importar su ocupación o el tiempo que haya durado su estancia en el Municipio. Se incluye en el análisis a los proveedores de productos o servicios, entendidos como aquellas empresas que proporcionan hospedaje, venta de alimentos, recreación y venta de productos; y el sector público, en este caso, la dependencia pública municipal que lleva a cabo acciones relacionadas con el turismo. Se comienza con una investigación descriptiva del área de estudio con el propósito de identificar los límites de referencia donde el problema será estudiado.

Se eligió la cabecera municipal para la aplicación del instrumento de recolección de información ya que ahí se concentran los visitantes y turistas para adquirir productos, hospedarse o consumir alimentos. El levantamiento de información se realizó de manera virtual y presencial del 01 de octubre al 31 de diciembre de 2022. La población se eligió de manera aleatoria entre los visitantes o turistas que contaban con el tiempo y que estaban dispuestos a ser entrevistados. En total se aplicaron 62 cuestionarios para conocer información cualitativa: edad, sexo, ocupación, motivaciones, estancia, consumo, preferencias y expectativas. También se obtuvieron datos cuantitativos como los gastos en hospedaje, alimentos, suvenires, entre otros. El número de encuestados aparentemente mínimo, sin embargo el cuestionario incluye información de los acompañantes, por lo que se puede afirmar que es válida y confiable, pues representa al 17.1% de la afluencia de visitantes promedio mensual.

Se aplicaron cuestionarios a diferentes establecimientos, entre hoteles, restaurantes, servicios de esparcimiento y tiendas de suvenires y artesanías. Según el Registro Nacional de Turismo, a principio de 2023 habían al menos 38 establecimientos del Municipio de Tlatlauquitepec registrados [14], la muestra (21 establecimientos), representa el 55.26% del total. Los establecimientos se clasificaron según el giro del servicio a) hoteles, b) restaurantes y servicios de alimentos y bebidas c) servicios de esparcimiento y diversión y entretenimiento, d) artesanías y productos regionales y e) Otros. Para enriquecer el estudio cualitativo se llevaron a cabo recorridos al interior del municipio para observar usos y comportamientos en la interacción con los clientes. Se prefirieron establecimientos en la ciudad de Tlatlauquitepec, debido a que es un lugar de concentración de visitantes y donde se encuentran la mayoría de establecimientos que prestan servicios a los turistas. El muestreo no fue aleatorio pero si conveniente porque son los sitios de mayor concurrencia por los visitantes. El diseño de línea de acción para impulsar el desarrollo turístico local retoma como punto de partida las expectativas y la satisfacción de los turistas sobre la oferta turística, valoración de la oferta de los servicios y los atractivos y recursos turísticos.

3. Resultados y discusión

Descripción del área de estudio

Tlatlauquitepec se localiza en la Sierra Nororiental en el estado de Puebla, entre los paralelos 19° 38’ y 20° 03’ de latitud norte; los meridianos 97° 23’ y 97° 37’ de longitud oeste, colinda con Zacapoaxtla, Cuetzalan del Progreso, Ayotoxco de Guerrero, Hueyapan, Yaonáhuac, Teteles de Ávila Castillo, Atempan, Chignautla, Cuyoaco, Zautla y Zaragoza [10]. El municipio de Tlatlauquitepec contaba con una población total de 55,576 habitantes, de los cuales el 52.1% son mujeres y 47.9% son hombres. Un 17.5% de esta población habla una lengua indígena, siendo predominante en la región la lengua náhuatl. Demográficamente, Tlatlauquitepec registra 0.9 % de la población en la entidad y es considerado como un municipio con presencia de población indígena. En el periodo 2010-2020, el crecimiento poblacional fue 0.8%, menor al de la entidad (1.3 %). En un escenario optimista, se espera que entre 2015-2030, el ritmo de crecimiento poblacional incremente a 1 % y en 2030 sean 62,054 personas en el municipio [11].

En materia económica, la Población Económicamente Activa es de 28,028 personas de las cuales 16,273 son hombres y 11,755 son mujeres. En 2010, la fuerza laboral fue de apenas 35.8 % de la población de 15 años y más, la cual presentó una tasa de ocupación similar a la de la entidad, de 96.8 % y 96.7%, respectivamente. De la PEA ocupada, 43:2 % laboraba en el sector terciario, 38.4 % en el primario y 16.5 % en el secundario y 31.51% trabajaba en el sector de servicios, alrededor de 64.7% de la población ocupada percibió menos de 2 salarios mínimos diarios [12]. Al pasar de los quinquenios las condiciones de vida de la población van mejorando situación que se refleja en el índice de marginación, en 2005 el grado de marginación de Tlataluquitepec fue Alto, en 2010 pasó a Medio y para el año 2020 el grado de marginación es bajo (54.79) [13].

A lo largo del territorio de Tlatlauquitepec concurren una variedad de climas que va desde el frio en la zona sur del municipio, pasando por un clima templado más agradable en la parte central, hasta el clima cálido del norte del municipio. Desde la época prehispánica y hasta la actualidad la Plaza de Armas es sede del tradicional tianguis, donde se venden productos típicos de la región, ahí en el centro se aprecia el Cerro Cabezón, formación que encierra leyendas y bellezas naturales. Los sitios turísticos más reconocidos son: Ex Convento de María Asunción, Capilla de La Soledad, Iglesia del Sagrado Corazón de Jesús, Santuario Señor de Huaxtla, Cerro de Guadalupe, Cerro Cabezón, Cueva Olinteutli, Plaza de armas de Tlatlauquitepec, Los Portales, Presidencia Municipal, Cueva del Cerro Colorado, La Presa de la Soledad o Presa de Mazatepec, La Casa de Máquinas, La Cueva del tigre, Cerro de San Antonio, Los llanos de Oyameles, entre otros. Como complemento de los atractivos culturales se encuentran la exquisita gastronomía representada por los tradicionales tlayoyos rellenos de frijol, alverjón, papa y haba, pollo y carnes ahumadas, café, vinos tradicionales de frutas, mole ranchero, dulces típicos. Entre las conmemoraciones más representativas se encuentran el Festival del Cerro Rojo, se celebra en marzo, con cuenta con actividades artísticas y culturales, encuentro de productores de tunas y danzas autóctonas. El festejo de la Virgen de la Asunción, se celebra en agosto, con concursos, eventos culturales y venta de artesanías y antojitos [15]. Se Tienen 38 establecimientos en el Registro Nacional de Turismo, 9 de hospedaje, 23 de alimentos y bebidas y 6 con actividad de guía de turistas.

Tlatlauquitepec en el contexto de los Pueblos Mágicos

En 2020 arribaron 4,840,647 turistas al estado de Puebla, de los cuales solo el 20.8%, es decir 1,006,425 corresponden a los Pueblos Mágicos esto sin duda es una área de oportunidad ya que la mayoría de los turistas se concentran en la capital del estado (64.2%). La derrama económica generada por el turismo fue de 4,154,025,274 pesos a precios de 2015, mientras que en conjunto los Pueblos Mágicos representa el 16.3% de los ingresos del estado con 678,564,929 pesos según consta en Tabla 1. Comparativamente, entre los 10 Pueblos Mágicos reconocidos en la entidad a inicio de 2023, Tlatlauquitepec ocupa el puesto número ocho en Afluencia de visitantes, derrama económica y oferta hotelera.

	Afluencia de visitantes**	%	Derrama económica	%	Oferta hotelera	%
Total Estatal	4,840,647	100.0	$4,154,025,274	100.0	1127	100
Puebla Capital	3,109,200	64.2	$2,991,638,627	72.0	302	26.8
Pueblos Mágicos*	1,006,425	20.8	$678,564,929	16.3	415	36.8
Tlatlauquitepec	17,882	0.4	$9,949,593	0.2	16	1.4

* En el concepto Pueblos Mágicos están San Andrés Cholula, San Pedro Cholula, Atlixco, Chignahuapan, Zacatlán, Cuetzalan, Huauchinango, Xicotepec, Pahuatlán, Tetela de Ocampo e incluye Tlatlauquitepec
** La afluencia de visitantes incluye la llegada de turistas y excursionistas nacionales y extranjeros

Tabla 1. Indicadores Turísticos en Puebla y los Pueblos Mágicos, 2020 [16] [17] [18] [19]**.**

El distintivo de Pueblo Mágico ha permitido al paso de los años la ampliación de la oferta hotelera, ha promovido empleos permanentes y temporales, como consecuencia se tiene una mayor actividad económica con negocios locales y, de manera directa ha beneficiado a las empresas turísticas. En la década de 2010-2020 la oferta hotelera de los Pueblos Mágicos creció 2.6 veces llegando a representar el 36.8% de la oferta total del estado. La estadía promedio a nivel estatal fue de 1.54, en los Pueblos de fue de 1.47 y en Tlatlauquitepec de 1.45, todos ellos valores debajo de la el valor nacional, en 2021 el promedio de estadía fue de 1.73 días para visitantes nacionales y de 3.49 días para visitantes internacionales. Se observa un crecimiento asimétrico de los Pueblos, asociado al comportamiento diferenciado de los indicadores turísticos; existe una concentración de la oferta de hospedaje en el centro del Estado cuyo polo se encuentra en San Andrés Cholula y San Pedro Cholula; en la región nororiente la concentración de la oferta está en Cuetzalan y en la región norte es evidente que el polo sesta en Chignahuapan.

En 2020 en Tlatlauquitepec se reportaron 16 establecimientos de hospedaje con 231 cuartos esto representa apenas un 1.4% de total de establecimientos del estado y un 0.82% del total de habitaciones. Aunque los establecimientos representan un número considerable, pues el municipio ocupa el lugar 15° por el número de establecimientos, la realidad es que los cuartos disponibles son muy bajos, considerando que en fechas de temporada alta o en alguna festividad es escasa, así tenemos que en el año 2020 el porcentaje de ocupación

 ISSN: 2007 8102

hotelera fue de solo 12.1%, valor bajo si lo comparamos con la mayoría de Pueblos Mágicos y con el promedio estatal, el comparativo se puede observar en la Figura 1, solo en temporada a la alta el porcentaje se aproxima al cien por ciento. La carencia de infraestructura turística es de suma importancia ya que va de la mano del desempeño productivo de la actividad y de la llegada de turistas en los destinos.

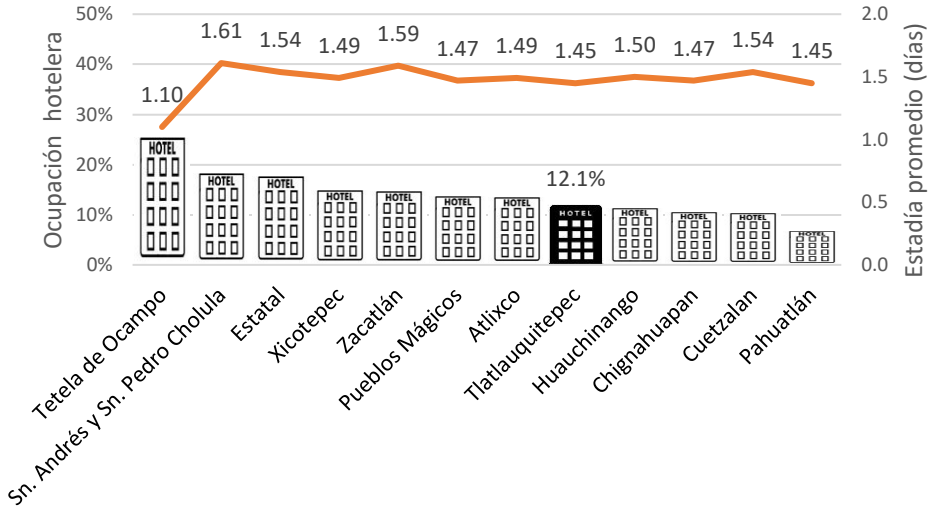


Figura 1. Situación de la ocupación hotelera y estadía en Pueblos Mágicos, 2020 [16] [17] [18] [19]**.**

En Tlatlauquitepec, la afluencia de visitantes tuvo un crecimiento promedio anual de 7.1% de 2014 a 2019, este alto crecimiento se dio por el alto incremento que se tuvo en 2016 cuando la variación porcentual anual fue de 28.9%. De 2019 a 2020 la afluencia de visitantes tuvo una drástica con disminución de 65.45%, sin duda como efecto de la crisis provocada por el COVID-19. La derrama económica, la ocupación hotelera y la llegada de turistas a la localidad tuvieron justamente el mismo comportamiento, se puede ver en la Figura 2 que sin considerar el año 2016 realmente la afluencia de visitantes había sido constante y que el efecto de la Pandemia tuvo un efecto negativo en el turismo local.

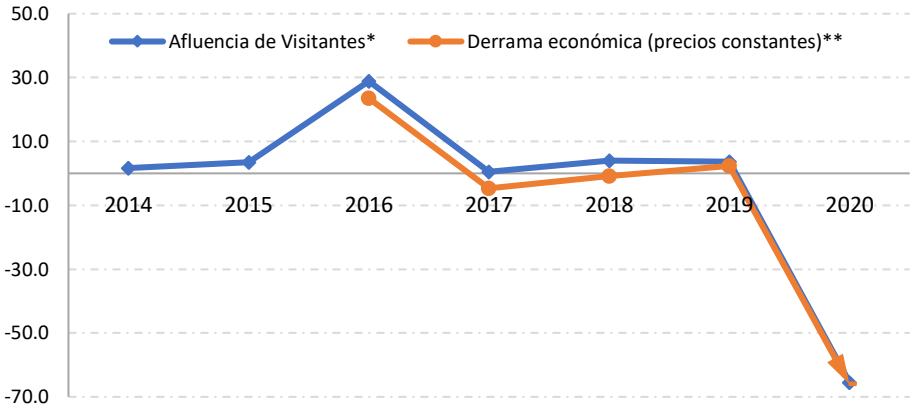


Figura 2. Evolución de afluencia de visitantes, llegada de turistas y derrama económica.

La oferta hotelera aumentó desde el nombramiento de Pueblo Mágico 2012}; en 6 años la oferta hotelera se cuadruplicó, y a partir de 2018 a la fecha se ha mantenido en 16 establecimientos, con un número de cuartos constante. La ocupación hotelera pasó de 24.4% en 2012 a 28.3% en 2020, aumentado casi 4 puntos porcentuales, cabe apuntan el contraste por el hecho que en 2020 el porcentaje de ocupación hotelera se redujo a menos de la mitad respecto del año anterior (12.1%). Al mismo tiempo que la oferta hotelera aumentaba se observa una disminución de la estadía promedio, en 2013 fue de 1.62, sufre una disminución poco significativa en los dos años siguientes, pero en el año 2016 se redujo radicalmente a 1.43 días, hasta 2019 llegó a un nivel máximo de 1.50 días, pero este último ascenso se vio opacado cuando se redujo nuevamente a 1.45 promedio

de estancia, situación que se evidencia en Tabla 2. Indiscutiblemente, la disminución en la ocupación hotelera en 2020 fue resultado de las políticas de confinamiento en México por la pandemia de COVID-19, en el caso de la caída en la estadía promedio es una tendencia que ya venía ocurriendo desde hace un quinquenio.

Indicador	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ocupación hotelera (%)		24.4	24.5	26.1	25.1	26.1	27.4	28.3	12.1
Oferta hotelera	4	5	5	11	14	15	16	16	16
Estadía promedio (días)	ND	1.62	1.61	1.61	1.43	1.43	1.40	1.50	1.45

Elaboración propia con base en datos oficiales [16].

Tabla 2. Indicadores básicos de la actividad turística en Tlatlauquitepec del 2012 a 2020.

La pandemia impactó negativamente en la economía; en el caso del turismo, se vieron frenados los viajes y la movilidad de personas, durante la etapa de reactivación de la actividad se abre una posibilidad para el turismo local, ya que se supone la realización de viajes cortos a lugares próximos; las playas cercanas y Pueblos Mágicos, serían los primeros destinos en ser visitados. En post pandemia deviene interés por las actividades al aire libre y el contacto con la naturaleza, la región nororiente del estado de Puebla cuenta con una gran riqueza cultural y natural por lo que las oportunidades de impulsar productos turísticos son vastas.

Características de los visitantes: de los 62 visitantes encuestados, un 3.2% son de origen extranjero, el 96.8% son visitantes nacionales, entre los visitantes nacionales 55.6% son del estado de Puebla y el 44.4% son de otro estado de la República; El 53.2% son hombres y 45.2% mujeres, el 1.61% no contestó; la ocupación preponderante está entre empleado(a), comerciante, trabajadores no calificados y profesionistas independientes; el nivel de estudios dominante es licenciatura con 37.09%, seguido bachillerato (29.03%) y secundaria (16.12); el rango de edad preponderante es de 26 a 40 años, en segundo término se tiene un rango de edad de 18 a 25 años. Una quinta parte de los visitantes viene con amigos, otra quinta parte se acompaña con su pareja, una décima parte viene solo y una persona viaja en grupo de excursionistas, poco menos de la mitad de los encuestados manifestaron viajar en familia, sobre este último dato cabe resaltar que del total de visitantes, 2 de cada 10 son niños y niñas. El turismo familiar exige productos y servicios a las necesidades de los niños en cuanto a alojamiento, ocio diversión entre otros.

Los sitios visitados con mayor frecuencia por orden de importancia fueron Cerro cabezón, la zona centro (parque, iglesias aledañas) presa de la soledad, puente colgante o tibetano y las cascadas (Tenaxate y Puxtla), la mayoría de las personas (71.0%) acostumbran venir una o dos veces por año, un proporción menor (27.4%) visitan por primera vez Tlatlauquitepec, una razón principal era que este último grupo deseaba conocer el lugar. La mitad de los encuestados pernoctó al menos una noche en la localidad, de ellos el 29.0% se alojó en un hotel de 1, 2 o 3 estrellas, los hoteles donde se hospedaron fueron Posada Tlatlauqui, San Carlos, Hotel Plaza, Santa Fé y San Jorge; el 50.0% de los usuarios apreció el servicio como excelente, para el 44.0% valoró como bueno y el resto (6.0%) dijo que el servicio era malo. Los alimentos los adquieren fundamentalmente en restaurantes, mercado municipal y cafeterías, los visitantes manifestaron ser atendidos por personas amables, en los restaurantes el menú es variado y exquisito. Durante su estancia los visitantes compran prendas de vestir bordadas con hilo estambre o lana, mermeladas, conservas, chiles, botanas, vinos y llaveros.

El reconocimiento formal de la contribución al desarrollo se manifiesta en la inclusión de planes de desarrollo tanto del orden nacional como municipal, como resultado desde el gobierno municipal se procuran esfuerzos por invertir en promoción, marketing y diseño de nuevos productos turísticos, construcción de infraestructura y estímulos a la inversión en servicios de apoyo al turismo. Se ha instruido una estrategia de promoción, en las diferentes plataformas digitales y redes sociales nutriendo de información necesaria para dar a conocer a Tlatlauquitepec; proporcionando datos importantes para planear visitas. Las acciones concretas se traducen en participación en Tianguis Turísticos Nacionales e internacionales y la se realizaron de eventos que atraen visitantes: Festival Cerro, Festival Olinteutli 2022; Festival del Maguey y la Nuez. Mención aparte merece el 3er. Festival de la Luciérnaga, un producto turístico novedoso. A partir del concepto de cabañas, ahora se tienen opciones de hospedaje, sumando un total de 400 habitaciones, entre hoteles, auto hoteles y cabañas, aunque crece la oferta de habitaciones, son insuficientes en temporadas a la alta [20].

Necesidades y expectativas de los visitantes: el reconocimiento de las necesidades y expectativas de los turistas, permitirá entender su actitud y procurar un servicio de calidad, al indagar con los visitantes en el municipio el 85.5% manifestó el haber cubierto sus expectativas cabalmente, el 9.7% no cumplió su expectativa y el 4.8% no contestó. Los encuestados quedan plenamente satisfechos en esmero y buena atención de los establecimientos que ofrecen servicios al turista, perciben buena calidad de productos y servicios, comodidad de instalaciones, por la disponibilidad de productos naturales/orgánicos y precio accesible.

En la Figura 3 se muestra jerarquizada las demandas y necesidades no satisfechas por los encuestados manifestadas por los visitantes. Las áreas de oportunidad que se han advertido se dirigen a aumentar los atractivos turísticos, una diversificación de actividades y donde divertirse en la ciudad, asimismo promover guías turísticos no obstante que la población es amable y está dispuesta a explicar cómo llegar a cualquier sitio; más seguridad y vigilancia; también se informa una fuerte demanda por espacios y culturales, por la mayor afluencia de visitantes se requiere estacionamiento de autos, los visitantes tienen necesidades de información y, por último, se ha manifestado una mejora en la infraestructura y el trasporte.

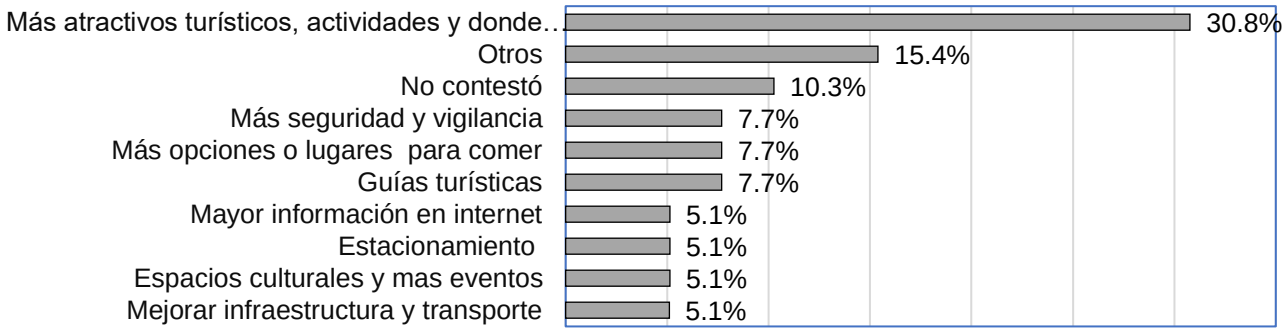


Figura 3. Áreas de oportunidad para el turismo en Tlatlauquitepec, Puebla

Se reconocen que los aspectos generales donde los prestadores de servicios deberán enfocar sus esfuerzos están en capacitación de empleados, disminución de tiempo en la elaboración de productos, flexibilizar precio elevado de algunos productos y servicios e identificar áreas para enfrentar a la competencia, los empleados mantienen escasa experiencia y formación en el sector turístico en la región. La consecuencia se ha reflejado en ineficiencia en el tiempo de atención y la persistencia de errores de empleados en la atención al turista.

Propuesta de lineamiento para impulsar el desarrollo turístico a partir la demanda y expectativas de visitantes.

El lineamiento es un plan de acción que adoptarán los actores involucrados en el turismo alentar el desarrollo del sector, el plan conseguirá su objetivo mediante un diseño efectivo y la participación de los actores involucrados. En el diseño de un lineamiento son imprescindibles tres elementos esenciales: acciones estratégicas, sus respectivos indicadores y metas (MINCETUR, 2021). Conocidas las necesidades y expectativas de los turistas en relación a productos turísticos predominantes, ahora se esboza una línea de acción para contribuir al desarrollo turístico en Tlatlauquitepec, Puebla.

Acciones estratégicas: Consolidar las fortalezas y favorecer áreas de oportunidad de los prestadores de servicios para satisfacer la demanda y necesidades de los visitantes.

Indicadores:

1.	Desarrollar productos turísticos locales de calidad
2.	Mejorar la Infraestructura y promoción de los productos turísticos del Municipio.
3.	Articular acciones específicas del gobierno, el sector empresarial y el social.

Metas:

1.1	Incremento de productos y servicios al turista, impulso de atractivos turísticos, con turismo de naturaleza: ecoturismo, turismo de aventura y contemplación de paisaje.
1.2	Institucionalización de recursos turísticos culturales, aprovechado al máximo los eventos religiosos, festivos y culturales existentes y trabajar en otros que permitan proyectar la imagen de Tlatlauquitepec.
1.3	Impulso a la calidad de servicios turísticos y profesionalización de los empleados, optimización de métodos de reclutamiento con esquemas de remuneración y estímulos relacionados con el desempeño.
1.4	Estrategias de precios para nuevos productos, precios para productos o servicios diferenciados, precios psicológicos según la percepción del cliente, precios por volumen, precios según temporada, entre otros.

3.1	Mejoramiento de carreteras, estacionamiento y transporte ágil y oportuno.
3.2	Garantía de seguridad y un ambiente agradable para los visitantes que se internan en el municipio.
3.3	Aumento de oferta hotelera mediante la construcción, adecuación y dotación a las edificaciones para albergar mayor número de turistas.
3.4	Gasto en mercadotecnia y difusión masiva de los productos turísticos en redes sociales, elaborar anuncios online, por radio, televisión y exteriores en lugares estratégicos.

3.1	Aprovechar y capitalizar el distintivo de Pueblo Mágico a través de sus recursos turísticos representados por una marca teniendo como referente las necesidades y expectativas del turista.
3.2	Alineación de acciones específicas a los planes de desarrollo gobierno municipal, estatal y federal en materia de turismo.
3.3	Mayor inversión mediante la asociación entre empresarios y el sector social, el apoyo del sector público es complemento.
3.4	Fomento al turismo sostenible regulado por el sector público, comprometiendo al sector social y privado a la reducción de impactos negativos en el ambiente y elaboración de proyectos turísticos sustentables.

4. Trabajo a futuro

Para esta investigación, la información recabada permitió una comprensión de la medida en que la oferta de recursos turísticos de Tlatlauqutepec satisface las necesidades y cumplen las expectativas de los visitantes; a partir de los puntos débiles se diseñó un lineamiento integral para transitar al desarrollo turístico local. Un trabajo posterior introducirá un análisis más específico sobre servicios turísticos particulares, tales como el hospedaje y alimentos, incorporando el componente sustentable.

5. Conclusiones

Es innegable la importancia que tiene el turismo para detonar el desarrollo local, con el Programa de Pueblos Mágicos la marcha en la mayoría de municipios con vocación turística queda interconectada a la política general, el programa representa una oportunidad para habilitar nichos específicos de mercado con impacto económico. En Tlatlauquitepec se tienen recursos turísticos que no están siendo manejados en forma eficiente, por la falta de articulación entre los diferentes partes que forman parte de actividad turística. La atención a áreas de oportunidad en servicios e infraestructura municipal, así como en restaurantes, hotelería, esparcimiento, eventos festivos y religiosos, espacios naturales y culturales mejorará la satisfacción de la demanda de visitantes y cumplimiento de expectativas.

Se ha podido concluir que Tlatlauquitepec tiene un gran margen de crecimiento a partir de su productos turísticos derivados de su recursos naturales y culturales, para desarrollar estas potencialidades es imprescindible un eje rector, un plan de acción que nos permita definir las alternativas que tenemos sobre bases reales. Conocidas las necesidades y expectativas de los turistas en relación a productos turísticos predominantes se propone un plan de acción que sea adoptado por el sector social, privado y público para alentar el desarrollo del sector. El diseño del lineamiento contiene tres elementos esenciales: acciones estratégicas, indicadores y metas. La propuesta permitirá resarcir las áreas de oportunidad halladas y, a partir de ahí, promover e incrementar la afluencia de turistas, asimismo, para los oferentes de productos y servicios al turista, es un instrumento para la toma de decisiones en mejoramiento de la calidad y aliento a proyectos de inversión.

Referencias

[1] Diario Oficial de la Federación [DOF] (2019). *Decreto por el que se aprueba el Plan Nacional de Desarrollo (2019-2024)*. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/487316/PND_2019-2024.pdf

[2] Juárez, José Pedro et al, (2010). *Turismo rural y desarrollo territorial en espacios indígenas de México*. Instituto de Geografía, Universidad de Alicante.Disponible en: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/15328/1/IG_48_07.pdf

[3] Martínez, B. (2012). *Impacto del turismo en el desarrollo comunitario*. Tesis de Maestría en Economía. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Economía. Enero 2012

[4] UNWTO (2021). *Global and Regional Tourism Performance*. https://www.unwto.org/es/tourism-data/global-and-regional-tourism-performance

[5] Banco Mundial (2022). *Datos. PIB (US$ a precios actuales).* https://datos.bancomundial.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?view=chart

[6] Servín, A. (2023, 09 de febrero). *10 tendencias que han transformado al turismo en el mundo*. El Economista. https://www.eleconomista.com.mx/los-especiales/10-tendencias-que-han-transformado-al-turismo-en-el-mundo-20230209-0026.html

[7] Center for Responsible Travel [CREST] (2012). *Modelos alternativos de desarrollo y buenas prácticas para el turismo costero sostenible: un marco para la toma de decisiones en México*. Washington, DC. Universidad de Stanford. En línea https://www.responsibletravel.org/wp-content/uploads/sites/213/2021/03/modelos-alternativos-de-turismo-costero-en-mexico.pdf

[8] Secretaría de Turismo [Sectur] (2021). *Tercer Informe de Labores 2020-2021*. Secretaría de Turismo. http://sistemas.sectur.gob.mx/SECTUR/3er_informe_de_labores_turismo_2020_2021.pdf

[9] H. Congreso del Estado de Puebla (2019). Comisión de Turismo de la LX Legislatura del. Primer Informe Anual. https://www.congresopuebla.gob.mx/docslx/informes/comisiones/34/1er_anio_legislativo.pdf

[10] INAFED (2019). Regionalización Puebla. Recuperado el día 4 de enero de 2022 de http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/regionalizacion.html

[11] Encuesta Intercensal (2015). Panorama sociodemográfico de México 2015 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México : INEGI, c2015. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825078065.pdf

[12] INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020. *Principales resultados por localidad (ITER)* Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informat. https://censo2020.mx/

[13] CONAPO (2023). *Índice de marginación por municipio, 1990-2015.* Datos abiertos. Recuperado de la base de datos de https://www.datos.gob.mx/busca/dataset/indice-de-marginacion-carencias-poblacionales-por-localidad-municipio-y-entidad/resource/036af5b0-34df-4a2c-b89a-763ce9d60ba0

[14] Secretaría de Turismo [Sectur] (2023). *Registro Nacional de Turismo*. http://rnt.sectur.gob.mx/RNT_TramitesConsulta.html

[15] H. Ayuntamiento de Tlatlauquitepec. (2021). *Plan de Desarrollo Municipal 2021-2024*. https://www.ayuntamientotlatlauquitepec.gob.mx/plan-de-desarrollo-municipal.html

[16] Secretaría de Turismo (2021). Estrategia estatal de Pueblos Mágicos. Gobierno de Puebla. https://sectur.puebla.gob.mx/images/site/documentos/ESTRATEGIAESTATALDEPUEBLOSMAGICOS_.pdf

[17] Secretaría de Turismo (2023). *Indicadores básicos de la actividad turística en Puebla, año 2020*. Observatorio turístico de Puebla. Ultim acceso 03 de marzo de 2023. https://sectur.puebla.gob.mx/observatorioturistico/documentospdf/IndicadoresTuristicosPuebla2020.pdf

[18] Dadatur (2022). Compendio Estadístico del Turismo en México 2021. Secretaría de Turismo. Fecha de publicación: 30/09/2022. https://www.datatur.sectur.gob.mx/SitePages/CompendioEstadistico.aspx

[19] Gobierno de Puebla (2022). Histórico del Anuario Estadístico. 2021 en Cifras. Sistema Estatal de Información, CEIGEP. http://www.ceigep.puebla.gob.mx/

[20] H. Ayuntamiento de Tlatlauquitepec (2022). Primer Informe de Gobierno. Lic. Porfirio loeza Aguilar Presidente municipal constitucional de Tlatlauquitepec 2021-2024.

[21] MINCETUR (2021). *Guía Metodológica para la Elaboración del Plan de Desarrollo Turístico Local* (PDTL). Ministerio de Comercio Exterior y Turismo –. Perú, 23 de julio de 2021. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4969718/Guia_Metodologica_para_Elaboracion_PDTL_08-2.pdf?v=1691790458

ISSN: 2007 8102

Valoración del servicio público de recolección de basura

E. Hernández Cruz[1], A. J. Hernández Peralta[2], P. R. Antonio Vidaña[3], I.I. Mendoza Ruiz[4] y M. Valladolid Prado[5]*

[12345]Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz (UTCV), 20183f101009@utcv.edu.mx[1], alejandro.peralta@utcv.edu.mx[2], paula.antonio@utcv.edu.mx[3], irving.mendoza@utcv.edu.mx[4] manuel.valladolid@utcv.edu.mx[5]

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

Se realizó una valoración del servicio de recolección de basura del Ayuntamiento de Carrillo Puerto, Veracruz, a algunas de sus localidades para mejorar el servicio de acopio. El presente trabajo de investigación transversal y explicativo tiene por objetivo principal realizar una valoración del servicio de recolección de basura del municipio de Carrillo Puerto prestado a los habitantes de sus localidades, a partir del diseño y aplicación de una encuesta de satisfacción para identificar recomendaciones y proponer estrategias de mejora del servicio. A partir de una muestra no probabilística y por cuotas a 60 usuarios del servicio se estimó que la disposición máxima a pagar (DAP) por una mejora en la calidad del servicio es igual 15 pesos a la semana. Se estimó un modelo logit ordinal y la probabilidad de que el servicio se cumpla con puntualidad, lo que dio como resultado 0.1029, asociado a la categoría de valoración “regular”.

***Palabras clave**: Valoración del Servicio, Disposición Máxima a Pagar, Regresión Logística Ordinal*

Abstract

An assessment of the garbage collection service carried out by the City Council of Carrillo Puerto, Veracruz, was carried out in some of its localities to improve the collection service. Given the delays in the collection service due to the lack of optimal planning of the scheduled times and the personnel in charge of providing the service, the locals of the towns choose to deposit their solid waste in rivers, roads or burn it, which puts at risk the sustainability of ecosystems in the territory and increases the risk of causing damage to health. To identify solution alternatives, a service assessment survey was applied to users to identify their maximum willingness to pay for an improvement in the urban waste collection service and reduce the environmental impact caused by service failures.

***Key words**: Service Valuation, Maximum Willingness to Pay, Ordinal Logistic Regression*

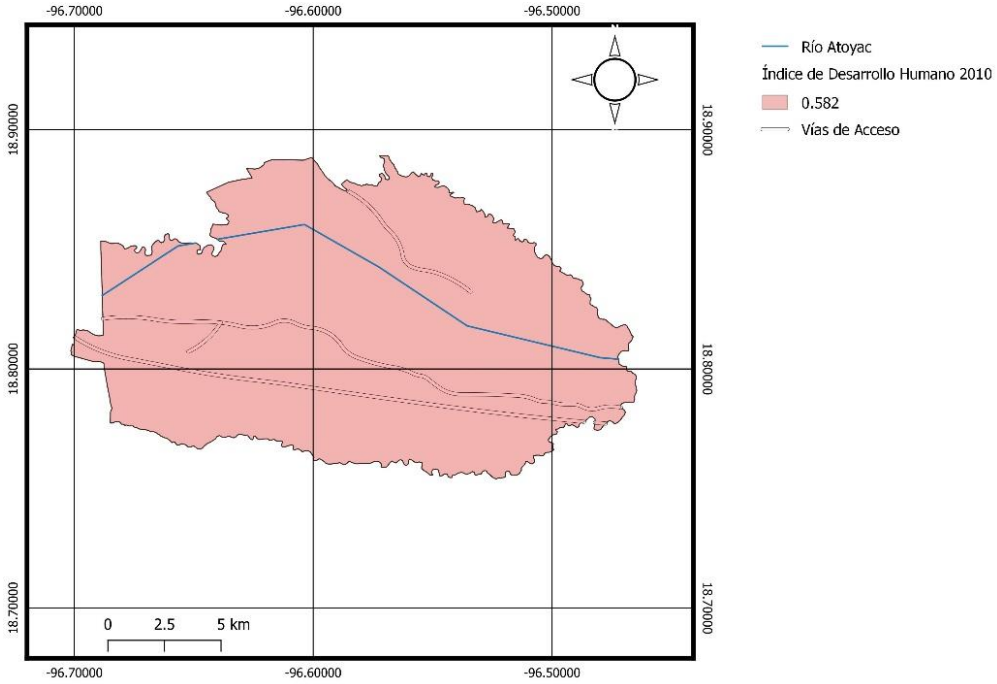
Introducción

El municipio de Carillo Puerto se encuentra en la zona centro del estado de Veracruz, limita al norte con el municipio de Paso del Macho y al oeste con Cuitláhuac (mapa 1). Actualmente el ayuntamiento de dicho municipio es el encargado de atender a sus localidades en el servicio de recolección de basura. Sin embargo, al ser la única entidad municipal para atender un conjunto de localidades en la región, que territorialmente se encuentran distribuidas de forma asimétrica, algunas más próximas y otras más alejadas de Carrillo Puerto, se han generado diversas dificultades en el servicio (mapa 1). Dados los retrasos en el servicio de recopilación por la falta de una planeación óptima de los tiempos programados y del personal encargado de brindar el servicio, los lugareños de las localidades optan por depositar sus residuos sólidos en ríos, caminos o por quemarlos, lo que pone en riesgo la sustentabilidad de los ecosistemas en el territorio y aumenta el riesgo de ocasionar daños a la salud.

 ISSN: 2007 8102

Así como en las empresas la calidad del servicio es uno de los factores más relevantes para su permanencia y éxito en el mercado (Jerez et al, 2018), los bienes y servicios públicos que ofrecen los gobiernos municipales deben tomar en cuenta la calidad con la cual se atiende y sirve a los ciudadanos, ya que puede influir en el bienestar de la sociedad (Stiglitz, 2016).

Actualmente, existe una falta de coordinación y organización de los recursos disponibles para dar el servicio de recolección como las unidades de transporte para la colecta de basura; empleados que no cumplen con la planeación de las rutas asignadas de acuerdo con los tiempos programados y con ello retrasos en el acopio de desechos en las localidades del municipio. Esto ha traído como consecuencia quejas y reclamos a la administración pública municipal actual; desconfianza y malas prácticas de los usuarios. Al no realizarse la recolección temprana en las comunidades, muchas veces los habitantes de dichas zonas optan por tirar sus desechos en caminos transitorios, ríos o quemarlos, lo cual pone en riesgo la sustentabilidad de los ecosistemas y aumenta los riesgos a la salud de los habitantes.



Mapa 1. Municipio de Carrillo Puerto e Índice de Desarrollo Humano. Fuente: elaboración propia con ayuda del software QGIS.3.18

La falta de una planeación y control de las rutas para brindar el servicio a lo largo y ancho del territorio para cubrir el ayuntamiento y sus localidades ha traído como consecuencia un aumento de los costos logísticos en el acopio. Ante estas circunstancias se hace necesario realizar un plan de rutas que ayude a optimizar los tiempos y costos asociados a dicho servicio público. Los beneficios de una optimización de rutas son: la reducción de costos de transporte y tiempo para dar el servicio, aumento en la satisfacción de los usuarios, mejor uso de las unidades de transporte y de las instalaciones de almacenamiento (Alencastro et al., 2020; Zapata et al., 2020). En estas circunstancias ¿Qué estrategias pueden ayudar a mejorar el servicio público de recolección de basura en las localidades del municipio de Carrillo Puerto?

La opinión de los habitantes de las localidades, usuarios del servicio, es importante para medir la calidad del servicio que el ayuntamiento está ofreciendo (Sáez y Urdaneta, 2019); por parte del personal del ayuntamiento a partir de las opiniones de los usuarios. Mediante una encuesta utilizando escala de Likert se valoró la relación entre la ejecución del servicio de acopio y el nivel de bienestar que reciben los usuarios (Rojas et al., 2020). Para identificar alternativas de solución, se aplicó una encuesta de valoración del servicio a los usuarios para identificar

 ISSN: 2007 8102

su disposición máxima a pagar ante una mejora en el servicio de recaudación de los desechos urbanos y reducir el impacto ambiental que ocasionan las fallas en el servicio.

Metodología

Diseño de Muestreo

Para cumplir con el objetivo principal del presente estudio, se fijó la meta de encuestar a 60 usuarios en viviendas distintas del servicio público en las localidades más importantes de Carrillo Puerto. Como parte de un muestreo no probabilístico, el tamaño de muestra corresponde a una muestra piloto que servirá de referencia para trabajos futuros. El procedimiento consistió primeramente en identificar de acuerdo a las rutas actuales de los dos camiones con los que cuenta el municipio para dar el servicio de recolección de basura, las localidades con un mayor número de viviendas y por tanto de habitantes. Una vez identificadas las localidades, se determinó que el muestreo por cuotas es el método más apropiado para determinar el tamaño de la muestra. La tabla 1 muestra el procedimiento para calcular cada proporción o cuotas de las tres localidades y con ello cumplir con el tamaño total de la muestra de 60 usuarios.

Tabla 1

Muestreo por cuotas

Rutas	Número de Vivienda	Pesos	Cuotas
1	$n_1 = 470$	$w_1 = {}^{470}/_{1481}$	$c_1 = n_1 * w_1 = 19$
2	$n_2 = 547$	$w_2 = {}^{547}/_{1481}$	$c_2 = n_2 * w_2 = 22$
3	$n_3 = 464$	$w_1 = {}^{464}/_{1481}$	$c_3 = n_3 * w_3 = 19$
Total	$N = 1481$	$w_1 + w_2 + w_3 = 1$	$c_1 + c_2 + c_3 = 60$

Nota. Fuente: Elaboración propia con ayuda del Sistema de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (SIEGVER, 2021)

Para poder ser entrevistadas, las unidades de estudio debían poseer las siguientes características: ser residentes del municipio; pertenecer a una de las localidades de la ruta seleccionada; tener una edad entre 20 y 60 años; saber leer y; ser jefe de hogar o ama de casa. La tabla 2 muestra las localidades de las rutas que formaron parte del muestreo por cuotas.

Tabla 2

Características de la muestra por cuotas

Ruta 1		Ruta 2		Ruta 3	
Localidades	**Viviendas**	**Localidades**	**Viviendas**	**Localidades**	**Viviendas**
Arrollo Azul, Los Valdivias, Las Flores, Mata Grande, Trinidad Sánchez, Saltillo y Los Canutos	470	El Mirador, Pica Pica, El Carmen, Palmar y Colonia del Valle	547	Rancho el Cristo, La Unión, Santa Bárbara y Mata Gallina	464

Nota. Fuente: elaboración propia con datos de (SIEGVER, 2021)

Diseño del Cuestionario

ISSN: 2007 8102

El diseño del instrumento para valorar el servicio de recolección de basura se estructuró en cuatro secciones: la primera sección midió el grado de satisfacción del servicio que reciben los lugareños o usuarios; la segunda midió el grado de amabilidad por parte del personal, como una variable proxy de la calidad con la cual atiende el personal encardo de ofrecer el servicio a los ciudadanos; la tercera sección se orientó a evaluar el impacto ambiental que puede generar la mala recolección de los desechos sólidos urbanos, así como también la valoración económica del servicio a partir de las preferencias de los usuarios por la disposición a pagar una determinada cantidad de dinero por acceder a una mejorar del servicio. La última sección se orientó a la recolección de la información socioeconómica de los usuarios.

El cuestionario diseñado constó de un total de 22 preguntas, se aplicó en un periodo de tres semanas en el horario de servicio de 9 a 3 de la mañana. Recorriendo las rutas 1, 2 y 3 de la tabla 2, de manera aleatoria se seleccionaron las viviendas en las cuales los Jefes de Hogar tuvieron tiempo y disposición de resolver el cuestionario. La validación del cuestionario se llevó a cabo por medio de la revisión del encargado del departamento de limpia pública en el ayuntamiento de Carrillo Puerto y por medio de una muestra piloto a dos usuarios del servicio del mismo municipio. Todas estas acciones contribuyeron a mejorar y corregir errores en la redacción de las preguntas del cuestionario. Para validar la escala ordinal empleada para evaluar la calidad del servicio, se usó el coeficiente alfa de Cronbach, el cual es útil para validar la consistencia interna y fiabilidad de dicha escala (Oviedo y Campo, 2005). Todos los análisis estadísticos descriptivos fueron realizados con ayuda del software de econometría STATA 12.

Resultados

Estructura de la muestra y perfil de los encuestados

La figura 1 visualiza los resultados de la estructura de la muestra por ofició de los entrevistados y la ruta a la cual pertenecen. La encuesta fue resuelta mayormente por amas de casa en las rutas 1 y 3, solo en la ruta 2 la encuesta fue mayormente resuelta por empleados (figura 1). De acuerdo a resultados descriptivos: el 83.33% del total de las personas encuestadas fueron mujeres; el ingreso promedio mensual para el total de los individuos la muestra fue de 6444 pesos y el 83.05% del total de la muestra tiene al menos bachillerato. Es decir, la encuesta fue mayormente contestada por mujeres amas de casa, cuyo ingreso promedio fue de 6444 pesos con al menos un grado de escolaridad de bachillerato.

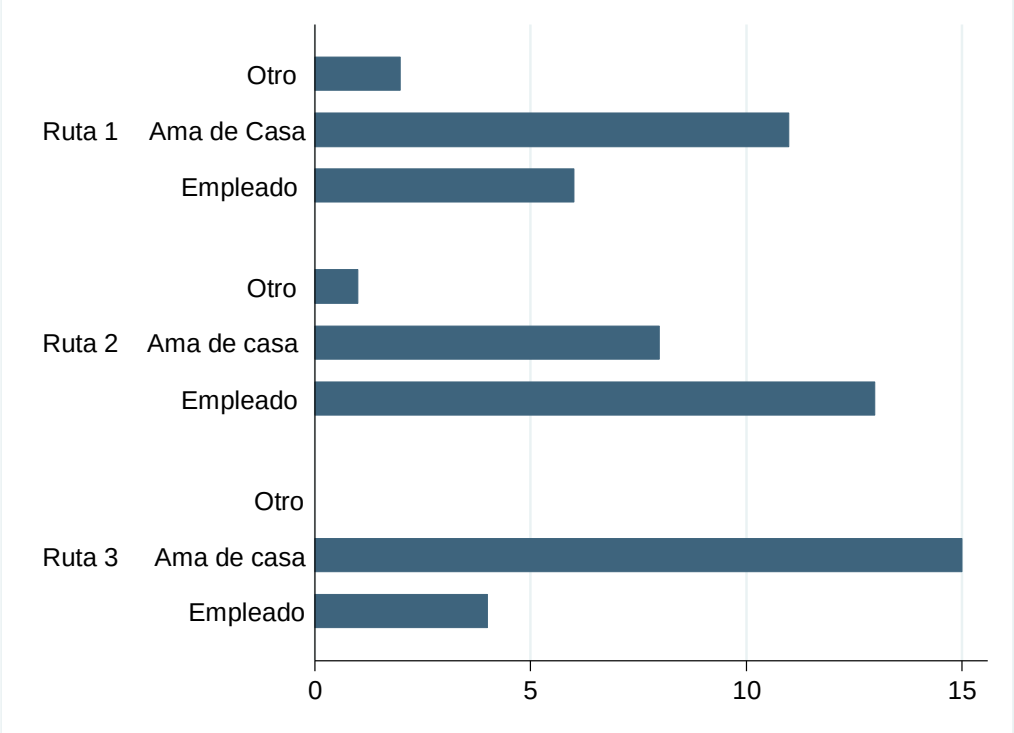


Figura 1. Estructura de la muestra por ruta y rol de los entrevistados

 ISSN: 2007 8102

Evaluación del servicio de limpia pública

La estimación del coeficiente alfa de Cronbach fue igual a 0.8838, lo cual implica que la escala empleada para valorar el servicio de basura es consistente y estable en el tiempo. La figura 2 muestra los resultados de la evaluación de dos dimensiones del servicio de recolección de basura: la puntualidad y la amabilidad con la que se atiende a los usuarios lo que permite identificar el nivel de satisfaccion que tienen los usuarios que reciben este servicio. Se puede apreciar que para ambas dimensiones la categoría de mayor representatividad de acuerdo a la escala de medición empleada fue la de “regular”, lo cual refleja la falta de mejora en el servicio, tanto en la atención personal como en la planeación de los recursos con los que se cuenta para no dejar de ser puntuales.

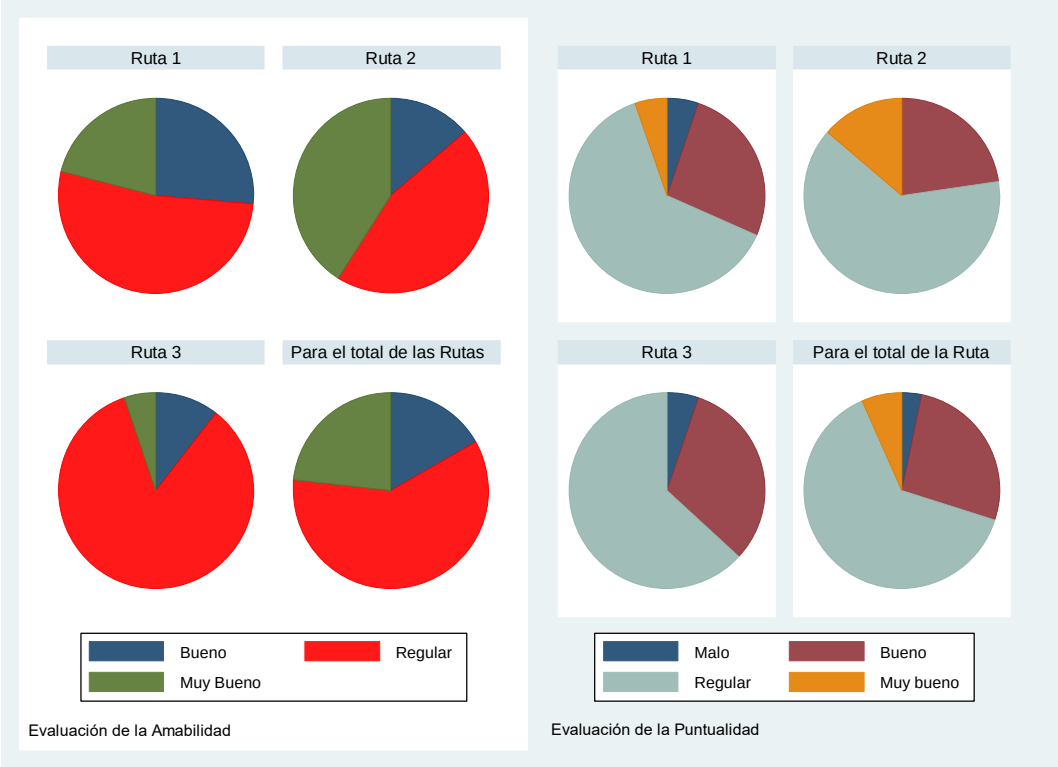


Figura 2. Evaluación del servicio de recolección de basura

Impacto Ambiental y Disposición Máxima a Pagar por una Mejora en el Servicio de Recolección de Basura

Como parte del diseño del cuestionario se les preguntó a los habitantes de la zona si consideran que la recolección de desechos sólidos contribuye a la conservación de los ecosistemas terrestres y marinos, a lo cual el 100% de la muestra contestó de manera afirmativa. En la tabla de contingencia 3 se muestra el impacto ambiental por ruta que los habitantes hacen cuando por algún motivo no pasa el camión encargado de recolectar la basura . El 50% de las personas opinaron estar de acuerdo en quemar la basura ante la ausencia del servicio de recolección; en los municipios de la ruta 3 el impacto es mayor ya que en todos los demás, sólo en la ruta 1 una menor proporción de personas declaró almacenarla hasta que la llegada del camión encargado.

Tabla 3
Impactos ambientales cuando el camión de basura no hace el servicio de la recolección

Rutas	Quema la basura	Los almacena hasta que el camión pase	Total
1	6	13	19
2	11	11	22
3	13	6	19
Total	30	30	60
Chi-Cuadrada(2)=5.15, Pr=0.076, V de Cramér = 0.29			

 ISSN: 2007 8102

Nota. Fuente: elaboración propia

Se observa en la figura 2 y la figura 3 la intención de la población encuestada en participar en el proceso de recolección de basura , servicio que continuaría brindando el ayuntamiento mediante un pago simbólico que de acuerdo a la figura 3 el pago de $15 (mediana de las respuestas), el total de la población que se encuentra en las colonias de la rutas y que podrán realizar el pago ,será el presupuesto con el que podrá sumarse al que tiene destinado para continuar operando el departamento de limpia publica, con la finalidad de realizar mejoras en la atención y mejorar el nivel de satisfacción del servicio al cliente que se brinda.

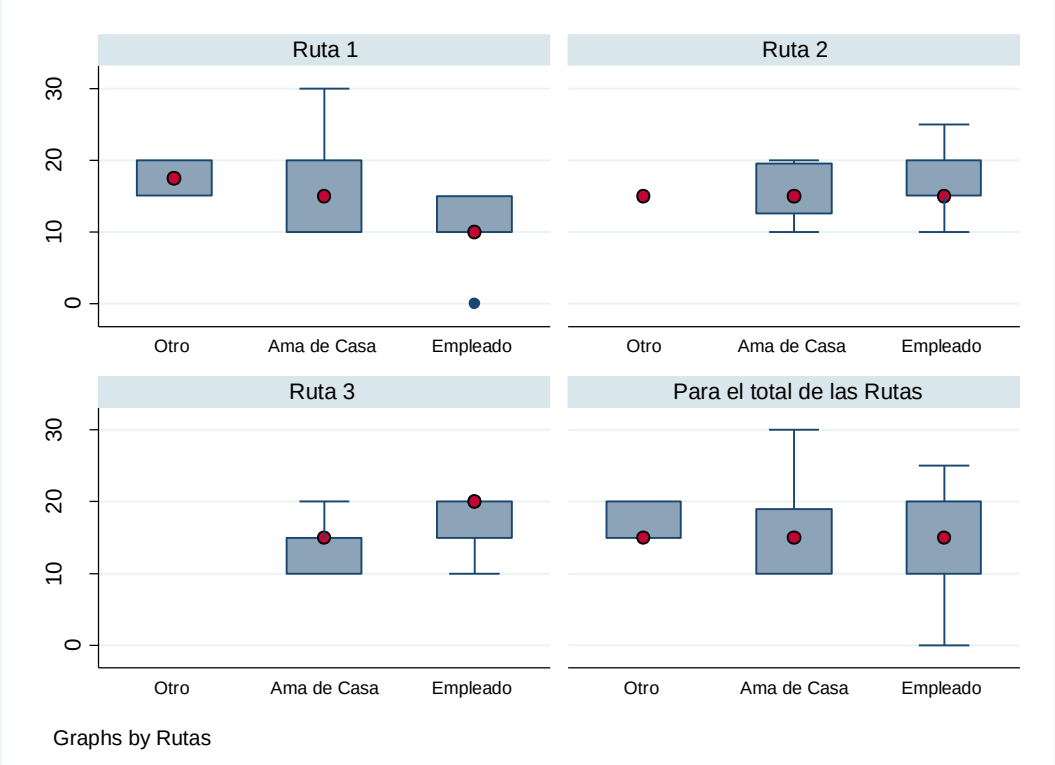


Figura 3. Gráfico de Cajas y Alambres de la Disposición Máxima a Pagar por una Mejora del Servicio de Recolección de Basura por Ruta y Jefe de Hogar: Fuente: elaboración propia

Estimación del Modelo de Regresión Logística Ordinal (RLO)

El modelo de RLO, es un modelo de respuesta cualitativa, cuya variable dependiente categórica y_i es de escala de medición ordinal. La ecuación (1) muestra el modelo de RLO diseñado para evaluar el servicio de recolección de basura que ofrece el municipio de Carrillo Puerto a sus localidades. $\Pr(y_j = i)$ es la probabilidad de que de manera puntual el camión de recolección de basura, de acuerdo a los días de servicio correspondientes, realice su servicio "mal" $(y_j = 1)$, regular $(y_j = 2)$, bueno $(y_j = 3)$ o muy bueno $(y_j = 4)$. Los valores de las categorías ordenadas de la variable respuesta en la ecuación 1 dependen a su vez de un conjunto de puntos de corte que se denotan como K_i, para $K_1, K_2, \dots, K_{k-1}$, donde K es el número de posibles resultados.

$$p_{ij} = \Pr(y_j = i) = \Pr(K_{i-1} < x_j\beta + u \leq K_i) \tag{1}$$

$$p_{ij} = \Pr(y_j = i) = \frac{1}{1 + \exp(-K_i + x_j\beta)} - \frac{1}{1 + \exp(-K_{i-1} + x_j\beta)}$$

El predictor lineal del modelo $x_j\beta$, se describe en la ecuación 2. El conjunto de regresoras logísticas (x_j), son: la disposición máxima a pagar semanal por una mejora en el servicio de recolección de basura (DAP); si el jefe de

hogar (JH) es una ama de casa (JH=1) o empleado (JH=2); para controlar los efectos de la escolaridad en la probabilidad de respuesta se ingresaron variables indicadoras, que van desde primaria (Pri) hasta licenciatura (Lic); se añadieron también variables indicadoras de la opinión que los individuos tienen acerca del grado de amabilidad con el que los encargados de dar el servicio realizan su labor, si es muy bueno (Am3), bueno (Am2) o regular (Am1); se tomó en cuenta si la persona que contestó la encuesta es mujer (Sexo=0) o si es hombre (Sexo=1). Por último, como parte del diseño del modelo se tomó en cuenta el impacto ambiental, cuando las personas deciden quemar su basura ante la inasistencia del camión recolector (IA=1) y cuando las personas deciden almacenar la basura en casa hasta que pase el camión (IA=2).

$$x_j\beta = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 JH + \beta_3 Pri + \beta_4 Sec + \beta_5 Bac + \beta_5 Lic + \beta_6 Am1 + \beta_7 Am2 + \beta_8 Sexo + \beta_9 IA \quad (2)$$

Con ayuda del Software STATA 12, las estimaciones del modelo de RLO se muestran en la tabla 4. Sólo la disposición máxima a pagar semanal por una mejora en el servicio de recolección de basura (DAP), la variable indicadora Am2 que toma en cuenta solo si la amabilidad de las personas encargadas de dar el servicio de recolección de basura es “regular”. Por último, la variable sexo es también estadísticamente significativa.

Tabla 4
Estimaciones de los Parámetros del Modelo Regresión Logística Ordenado

Regresoras logísticas	Coeficientes	Desviación Estándar	z	$P > \|z\|$
DAP	.1603012	.0796569	2.01	0.044
JH	-.1380605	.6588942	-0.21	0.834
Pri	1.166062	2.069839	0.56	0.573
Sec	-1.10628	2.08503	-0.53	0.596
Bac	-.7633308	2.159075	-0.35	0.724
Lic	.2312066	2.153577	0.11	0.915
Am2	-4.282832	1.295206	-3.31	0.001
Am3	-1.510251	1.004035	-1.50	0.133
Sexo	-2.448316	.9488287	-2.58	0.010
IA	.3299719	.3318286	0.99	0.320

Nota. Fuente: elaboración propia

Las estimaciones de los puntos de cortes del modelo se muestran en la tabla 5.

Tabla 5
Estimación de los puntos de corte del modelo

K_{k-1}	Estimación	Desviación Estándar
K_1	-4.42885	2.646263
K_2	-.7625459	2.528032
K_3	5.101595	2.637552

Nota. Fuente: elaboración propia

Se estimó un escenario para calcular la probabilidad de que una ama de casa que está dispuesta a pagar hasta 15 pesos por una mejora en la recolección de basura, cuyo grado de escolaridad es bachillerato, que quema la basura sino pasa el camión recolector por sus residuos y opina que el servicio es regular en cuanto a la amabilidad con la que es atendida y los resultados fueron los siguientes de acuerdo a las categorías ordenadas. Los resultados muestran que la probabilidad más alta de que el camión de recolección de basura realice su trabajo de manera puntual recae en la categoría “regular”, de acuerdo al escenario estimado, que toma en cuenta el perfil más representativo de la muestra.

Tabla 6
Probabilidades de respuesta estimadas

Categorías de la variable respuesta	$p_{ij} = \Pr(y_j = i)$
Malo	.0803447
Regular	.1029082
Bueno	.0042077
Muy bueno	.0003165

Nota. Fuente: elaboración propia

Conclusiones

Una recaudación del pago de 15 igual a la disposición máxima a pagar por mejorar el servicio de recolección de basura, incrementa las posibilidades de contar con un presupuesto público que permita mejorar el servicio de recolección de los usuarios. Se recomienda llevar a cabo una recaudación por medio de los representantes del ayuntamiento que están en las localidades. En caso de que el municipio no pueda continuar ofreciendo el servicio, se recomienda hacer uso de una concesionaria, que al mismo tiempo fomente la separación de basura como una buena práctica que ayude al fortalecimiento cultural de una mejor gestión de los residuos sólidos.

Referencias

Araiza Aguilar, J. A., y José Zambrano, M. E. (05 de 2015). Mejora del servicio de recolección de residuos sólidos urbanos empleando herramientas SIG: un caso de estudio. *Ingeniería, 19*(2), 118-128. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/467/46750925005.pdf

Oviedo H., C. y Campo-Arias A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach, *Revista Colombiana de Psiquiatría, XXXIV*(4), 572-580. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/806/80634409.pdf

Rojas Martínez, C., Niebles Nuñez, W., Pacheco Ruíz, C. y Hernández Palma, H. (08 de 2020). Calidad de servicio como elemento clave de la responsabilidad social en pequeñas y medianas empresas. *Información Tecnológica,* *31*(4), pp. 221-232 Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642020000400221

Sáez Molero, A. L., & Urdaneta Graterol, J. A. (2019). Calidad de servicio en el proceso de recolección domiciliario de residuos. *Revista Venezolana de Gerencia*, *24*(88). Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29062051006

Stiglihz J. E. (2020) La economía del sector público. Antoni Bosch Editor

Zapata Cortes, J. A., Vélez Bedoya, Á. R., & Arango Serna, M. D. (11 de 09 de 2020). Mejora del proceso de distribución en una empresa de transporte, *Investigación Administrativa*, *49*(126), . Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-76782020000200008

Diseño de Investigación de Mercado para Productores de Papaya en el Municipio de Tlalixcoyan, Veracruz”

B. Conde Carreño[1*] C.M. Herrera Blanca[1] S.M. Ramos Cortes[2] , J. J. Saucedo Cisneros[2], L. del C. Zamudio Corona[3]

[1*] Departamento de Ciencias Económico Administrativas, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Veracruz, Calz. MiguelÁngel de Quevedo 2779 Col. Formando Hogar C.P. 91897
Veracruz, Veracruz. México
[1]UCC Business School, Universidad Cristóbal Colón, Carretera El Tejar Calasanz, Veracruz, México
[2] Departamento de Ciencias Económico Administrativas, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Veracruz, Calz. MiguelÁngel de Quevedo 2779 Col. Formando Hogar C.P. 91897
Veracruz, Veracruz. México
[3] Estudiante de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Veracruz, Calz. Miguel Ángel de Quevedo 2779Col. Formando Hogar C.P. 91897
Veracruz, Veracruz. México

berthaconde961@gmail.com
cherrera@ucc.mx
selene.rc@veracruz.tecnm.mx
jesus.sc@veracruz.tecnm.mx
liliana.zc@veracruz.tecnm.mx

Área de Participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Los productores agrícolas en México están experimentando desde hace años una disminución en sus ingresos Buscando una solución, se analizaron varios enfoques de la mercadotecnia, definiendo un modelo de diagnósticode las capacidades empresariales y organizacionales de ventas y mercadotecnia, y se estableció un análisis de la situación de productores de papaya en el municipio de Tlalixcoyan, Veracruz. El diseño de la investigación desarrollado consistió en evaluar las capacidades con una metodología cualitativa de entrevistas semiestructuradas. Los hallazgos más importantes son que los productores en general llevan a cabo prácticas deventa “a pie de parcela”,sin una organización comercial ni de estrategia de mercadotecnia, aunque con capacidades de hacer negocios a mayoreo por contar con registro fiscal, sistemas de facturación y cobranza bancaria.

***Palabras clave*:** *Diagnóstico, Capacidades empresariales, Capacidades organizacionales, Productores agrícolas*

Abstract

Agricultural producers in Mexico have been experiencing a decline in their income for several years. In search of a solution, various marketing approaches were analyzed, leading to the definition of a diagnostic model for sales and marketing business and organizational capabilities. An analysis of the situation of papaya producers in the municipalityof Tlalixcoyan, Veracruz, was established. The research design employed a qualitative methodology involving semi- structured interviews to evaluate the capacities. The most significant findings reveal that, in general, producers engagein "at the farm level" sales practices, lacking both commercial organization and marketing strategy. However, they possess the capabilities for wholesale transactions, as evidenced by their tax registration, invoicing systems, and banking collection procedures.

Keywords: *Diagnosis, Business capabilities, Organizational capabilities, Agricultural Producers*

Introducción

En el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha presentado una visión en la que los agricultores participan y se beneficiandel desarrollo económico [1]. En esta visión, el aumento de la productividad, el empleo y el valor añadido en los sistemasde alimentación es uno de los principios clave.

“Si no queremos dejar a nadie atrás, nuestra atención ha de centrarse en reforzar los medios de subsistenciade los más pobres, en construir mejores vínculos entre las zonas rurales y las urbanas, y en el empoderamiento de la población rural para que se conviertan en agentes cruciales del cambio”.

Conectar a los pequeños agricultores y con los mercados es una de las principales iniciativas que ha sugerido la FAO.No obstante, la propia FAO ha constatado que la inadecuada capacidad de gestión, la escasa asociatividad, los bajosniveles de educación, la baja productividad y las limitadas conexiones con el mercado son rasgos típicos de los pequeños agricultores que deberían abordarse mediante la mejora de las capacidades empresariales y organizativas[2].

Por otro lado, el mercado de la fruta presenta actualmente un alto dinamismo, tanto en el mercado nacional como internacional [3], aunque la competitividad en el sector primario y, como consecuencia, el PIB agroalimentario está disminuyendo.

Derivado de estos antecedentes, el presente estudio trata de contestar empíricamente ¿cuáles son las capacidades empresariales y organizacionales de productores de papaya en el Municipio de Tlalixcoyan, Veracruz? ¿Presentan las mismas características generales de deficiencia como lo menciona la FAO? ¿Cuáles son las fortalezas de debilidades de los productores en el marco de la intención de conectarlos con los mercados para mejorar sus condiciones competitivas?

Desde el punto de vista de la literatura científica, lo que se requiere es un diagnóstico de las capacidades empresariales y organizacionales de los productores, específicamente de sus habilidades de ventas y de estructuración de estrategias de marketing.

La venta personal es una de las formas más antiguas de atención al cliente es. La expresión "ventas" se refiere a unaamplia gama de "todas las actividades necesarias para proporcionar a un cliente o empresa un producto o servicio acambio de su ratificación" [4]. Según [5, p.456] la venta personal es la "presentación personal por parte del personal de ventas de la empresa con el fin de cerrar una transacción y establecer relaciones con diversos consumidores". Estas definiciones son cruciales porque trazan una línea divisoria entre dos homónimos significativos en el estudio del caso: la venta como actividad profesional y la venta como ingreso de la empresa.

Es importante darse cuenta de que el marketing abarca mucho más que la venta y la publicidad. Perreault, Cannon yMcCarthy [6, p. 7] afirman que el marketing es "la realización de actividades que buscan alcanzar los objetivos de una organización anticipándose a las necesidades del cliente y dirigiendo un flujo de bienes y servicios que satisfagan lasnecesidades del productor al cliente", mientras que Kotler y Armstrong [5, p. 5] afirman que existe desacuerdo en cuanto a la definición de marketing. El marketing es el "proceso mediante el cual las empresas crean valor para sus clientes y forjan estrechos vínculos con ellos para obtener a cambio valor de su parte". A la luz de esto, puede decirseque el marketing construye y demuestra los procedimientos comerciales para vender garantizando la satisfacción detodas las partes implicadas.

El marketing, por tanto, se centra en facilitar los intercambios [6, p. 8] porque, como debe entenderse, su único objetivo es convencer a más personas para que compren con más frecuencia, con más productos y durante un periodo de tiempo predeterminado [7, pp. 32-34]; ambas actividades están vinculadas al objetivo de vender.

La primera consideración importante del caso es que los modelos tradicionales de mercadotecnia tratan de operaciones dirigidas al consumidor final, mientras que esta investigación se dirigirá a la mercadotecnia dirigida al consumidor empresarial.

Según Santos [8], la relación entre dos partes (empresas) es una definición continua y general del marketing industrial (o empresarial). El marketing empresarial, según Kerin y Hartley [9, p. 143], es la comercialización de bienes y servicios para conectar empresas, gobiernos y otras organizaciones con o sin ánimo de lucro con empresas que luegolos utilizan para crear los mismos (bienes y servicios) para la mejora de la propia industria y que comercializan con otros clientes. Dado que el perfil del consumidor es diferente para las empresas que venden a otras empresas, el proceso de venta es mucho más difícil para estas empresas porque debe garantizar una venta segura y rentable quesiga siendo fiable y viable.

El hecho de que este estudio se centre en el marketing en el sector primario frente a los modelos típicos de marketing,que se ocupan de artículos industriales, es otra diferencia significativa del caso. Con el fin de aumentar las ventas y los servicios, reducir los costes de producción y diseñar tácticas de publicidad y promoción adecuadas al producto, el marketing agrario examina cómo se aplican los planteamientos de marketing en las industrias agrícola y ganadera [10].

La organización de la empresa se refiere al conjunto de opciones que pueden repercutir en ella en el futuro. Para lograr la homogeneidad, la estrategia de marketing debe formar parte del plan estratégico de la organización y, a continuación, el plan de ventas debe establecer el mismo plan de marketing [11, p. 285]. Tres pasos componen estosprocedimientos de planificación:

1. Análisis de la situación y del entorno: Conozca dónde ha estado anteriormente la empresa o el producto, dónde estáahora y hacia dónde se dirige. Esto puede ayudarle a detectar las tendencias del sector, evaluar a los distintos competidores, calibrar los propios resultados de la empresa y estudiar las necesidades de los clientes actuales y potenciales.

2. Enfoque mercado-producto y lógica de segmentación: La elección de qué productos se comercializarán a qué consumidores (para quién) se basa con frecuencia en la segmentación del mercado, que implica situar a los clientespotenciales en grupos o partes que responderán de forma similar a la acción de marketing y tendrán necesidades parecidas.
3. Programa de marketing: Análisis del desarrollo del programa de marketing y planificación financiera.

En esta índole, para hacer marketing, se empieza con el proceso de análisis del entorno actual en dos vertientes: la situación del mercado y la situación de los productores.

La evaluación fundamental de las habilidades de venta de un productor empieza por determinar el tipo de ventas querealiza y las técnicas de venta y negociación que emplea de acuerdo con el proceso general de ventas, que comienza con las actividades de identificación de clientes potenciales y termina con la firma de un acuerdo que perfila las condiciones del intercambio de bienes y servicios con un cliente concreto [12, p. 278].

Los vendedores teóricos suelen pertenecer a una de estas tres categorías [9, p. 526-528]. [11, p. 191]: (2) El preparador de pedidos es un vendedor que trabaja en el sentido clásico convencional; (1) el preparador de pedidos toma pedidos regulares o repetidos de mercancías ya vendidas por la empresa. descubre a los consumidores potenciales, les informa, les convence para que compren, en el sentido de cerrar ventas, y lleva un registro de los usuarios de un producto o servicio que los compradores han adquirido; (3) Al ofrecer una gama de servicios, el personal de apoyo a las ventas de los clientes potencia los esfuerzos de venta de los preparadores de pedidos.

Es fundamental recordar que la toma de pedidos es mucho más fácil que la recepción de pedidos. Cuando existen tarifas y condiciones aceptables para los clientes, los captadores de pedidos son importantes para las empresas porque cierran eficazmente las transacciones en respuesta a las acciones de los antiguos clientes. Los vendedores profesionales, por su parte, son capaces de salir y cerrar la transacción porque dominan el proceso de venta y una serie de estrategias y herramientas para hacerlo.

En términos más precisos, independientemente del tipo de clientes, bienes, servicios y circunstancias de venta, las acciones y tareas de los vendedores se planifican de acuerdo con el proceso de venta personal [13, p. 92-94]. [4, p. 469-471]: La prospección y la cualificación, la creación de un plan de visita de ventas, el acercamiento al cliente potencial, la presentación y demostración de ventas, la resolución de las objeciones del comprador, la confirmación y el cierre del trato, y después el seguimiento y el mantenimiento de la cuenta son pasos del proceso de ventas.

Metodología

El presente estudio constituye el diagnóstico de las capacidades empresariales y organizacionales de ventas y mercadotecnia de los productores. Para ello, se utilizó una metodología cualitativa, eligiendo un método de investigación la entrevista como herramienta semiestructurada, con el objetivo de examinar cómo las personas perciben y experimentan los fenómenos que les rodean, profundizar en sus puntos de vista e interpretar su significado.

En la zona se encuentran dos grandes, veinte medianos y cincuenta pequeños productores de *papaya maradol*, queconforman la población a diagnosticar. Cuando se trata de un muestreo cualitativo se tiene en cuenta un escenario favorable, con tres parámetros que afectan al número de casos [14, p. 384].

1. Capacidad operativa para la recopilación y el análisis de datos
2. Comprensión del fenómeno (también conocida como "saturación de categorías" o cantidad de ejemplos permitidospara responder a las preguntas de la investigación).
3. Las características del fenómeno objeto de estudio.

Por ello, la idea de "saturación de categorías" establece más bien el tipo de unidad de análisis y continúa con la aplicación hasta que las nuevas unidades ya no aporten información o datos novedosos [14, p. 385], aunque en estecaso, al tratarse de un grupo de productores ubicados en una misma entidad o región establecida, se supone que sus características generales son bastante homogéneas.

El instrumento propuesto es una guía de entrevista semiestructurada creada específicamente para este ejemplo (Tabla 1) y que tiene en cuenta el modelo de análisis de las distintas capacidades de venta en las empresas de papaya.

Campo	Elemento	Operacionalización
Perfil personal	Sexo, edad	
Perfil de negocio concreto	Terreno	¿Qué superficie de papaya siembra? ¿El terreno en el que siembra es ejidal, privado uotro? ¿El acceso al terreno cuenta con qué tipo de vía?
	Equipo	¿El equipo que utiliza es propio, rentado, prestado uotro?
	Riego	¿Qué tipo de riego que ocupa? ¿Dónde obtiene el agua?
	Cultivo	¿Cuál es la época de cosecha?
Capacidades de venta esquema tradicional	Producto / Objeto	¿Qué tipo de papaya cultiva y vende? ¿En qué cantidades ofrece su producto?
	Organización	¿Quién vende tu producto?
	Contacto	¿Cómo haces para que el comprador te contacte?
	Prospección	¿A quién le vende el producto? ¿Dónde vende su producto?
	Precio	¿A qué precio(s) vende su producto?
	Procesos de oferta y negociación	¿Cómo vendes? ¿El comprador viene por el producto o tú se lo llevas? ¿Facturas?

Tabla 1 Operacionalización del modelo guía de la entrevista a productores. Elaboración: Propia

Se realizaron entrevistas presenciales y por videoconferencia con productores del municipio veracruzano de Tlalixcoyan y del Puerto de Veracruz para recabar datos e información, grabando las conversaciones y/o se realizarontranscripciones de estas para su posterior examen.

A partir de las verbalizaciones de los encuestados, el análisis de los datos se realizó mediante el enfoque de categorización semántica (separación de unidades, síntesis y establecimiento de datos), utilizando como categorías primarias las empleadas en el diseño de la guía y confirmando las categorías en desarrollo no incluidas.

Se utilizó el programa MAXQDA para identificar y clasificar los códigos de contenido en las entrevistas para la reducción de datos, teniendo en cuenta los componentes para la descripción de la capacidad de venta de acuerdo con el proceso de venta. A continuación, el relato se transformará en un lenguaje formal y se redactó en estilo descriptivo-analítico.

Finalmente, se utilizó la metodología del análisis interno de la matriz DAFO para presentar los hallazgos.

Resultados y Discusión

Al analizar los datos obtenidos de las entrevistas con los productores, pudimos describir los comportamientos y perfilesde ventas de estos individuos y evaluar las capacidades de ventas de la organización

Las entrevistas se realizaron a tres productores, todos mayores de 50 años y de sexo masculino. En su perfil comercial se incluyen los siguientes: Las Huertas, quienes emplean la figura del Ejido, manifestaron que tienen la propiedad delas hectáreas que cultivan y las arriendan para su cultivo Existe un camino pavimentado que conduce al Municipio deTlalixcoyan y caminos de terracería brindan acceso a las tierras de cultivo. La mayoría de los productores tienen su propio equipo para fines agrícolas, pero rara vez lo piden prestado o lo alquilan. Los productores comúnmente utilizanel Riego por Goteo como sistema de riego para permitir una siembra escalonada y un cierto nivel de control sobre lacalidad del producto. Han construido pozos profundos para suministrar agua al sistema. A lo largo del año, la papayase cultiva mediante ciclos de siembra alternos

Se utilizaron elementos específicos de la entrevista para evaluar las capacidades de venta de los productores. En primer lugar, a continuación, se detalla el perfil de quienes fueron entrevistados: Las principales variedades de papayaque se cultivan a pequeña escala son Maradol, Maribel y Mulatha. Obtienen aproximadamente una tonelada de producto por acre. El Productor Agropecuario es el responsable de la venta, y ocasionalmente se asiste a la familia como vendedora. La investigación reveló que sus operaciones comerciales son carentes de estructura organizacional.Aunque la Central de Abastos en la Ciudad de México es el principal comprador, seguida por los clientes de los mercados locales, los pequeños productores que atienden a los compradores intermediarios (coyotes) en la parte inferior de la parcela. El precio de mercado es el valor habitual, pero puede variar en función del rendimiento. El producto se entrega directamente al comprador. La comunicación con el comprador puede ser a través del teléfono, una visita a un huerto o un consentimiento previo para futuros cultivos

Los productores emiten facturas si así lo requiere el comprador, apoyándose con el Contador que les realiza los trámites o con el Comisariado Ejidal.

Entre los comentarios generales que realizaron se tiene la necesidad de mejorar y tener capacitación en Programas Agrícolas Transferencia de Tecnología Agrícola, Control de Plagas, y Tratamiento de Agua del lugar.

El estudio de campo proporcionó elementos para considerar que las capacidades de venta de los productores del municipio se encuentran en una situación de desarrollo a medio camino entre el rol de “toma pedidos” y el rol de “obtención de pedidos”. Esto es, tienen un conocimiento básico de ventas; si bien los productores llevan su productopara venderlo en la Central de Abastos de la Ciudad de México de manera ocasional, todavía atienden a compradoresque llegan “a pie de parcela”.

Otro dato importante es que no desarrollan relaciones de largo plazo, concentrándose en las transacciones “con el producto en la mano”, a los precios corrientes del mercado en el momento de la negociación, y a partir de la evaluación que hacen los compradores de la calidad del producto presentado.

Como consecuencia del análisis interno, la situación de la organización se sintetiza en el análisis de fortalezas y debilidades.

Las fortalezas identificadas son:

- Las zonas de cultivo son propiedad de los Productores
- Se encuentran pavimentadas los accesos al Municipio
- Se cuenta con equipo propio para los procesos agrícolas
- Se cuenta con sistemas de riego por goteo y una siembra escalonada
- Se cuenta con sistemas de pozos profundos como fuente de agua
- Se cuenta con buenas prácticas agrícolas, lo que produce papayas de calidad
- Se cuenta con sistema de emisión de C.F.D.I.'s y cuentas bancarias para ventas a mayoreo
- Tienen experiencias previas para vender en la Central de Abastos de la Ciudad de México Las debilidadesidentificadas son:
- Los productores en general son adultos mayores
- Tienen un conocimiento básico de ventas y no cuentan con habilidades de negociación
- Falta capacitación en paquetes tecnológicos para la producción
- No cuentan con contactos empresariales para hacer ventas
- Se tiene un rendimiento por hectárea de producción bajo
- Utilizan el precio de venta del mercado únicamente
- Se tienen deficiencias en contactar a compradores nuevos

En este sentido, los productores presentan características similares, pero no idénticas a las reportadas por la FAO [2]: deficiente capacidad de gestión, asociatividad media, bajo grado de escolaridad, baja productividad y una deficiente vinculación con el mercado principal. Por lo tanto, es necesario realizar acciones para desarrollar y fortaleces las capacidades empresariales y organizacionales, como lo propone la FAO, para que la organización pueda desarrollar capacidades de ventas como grupo y captar un mejor precio del mercado, eliminando losintermediarios "a pie de parcela".

Conclusiones

En el panorama actual de la economía agropecuaria en México, se ha identificado un desafío crucial que afecta a losproductores agrícolas: la disminución sostenida de sus ingresos. Esta problemática, en gran medida, ha sido atribuidaa la persistente adhesión a prácticas tradicionales de venta y comercialización, como la venta "a pie de parcela", la falta de una estructura comercial organizada y la ausencia de elementos diferenciadores que resalten la propuesta de valor de los productos agropecuarios. El diagnóstico general es que los productores tienen un perfil similar al documentado por la FAO en otros países emergentes, y será necesario la implementación de acciones para el desarrollo y fortalecimiento de capacidades empresariales y organizacionales para vender mejor, como grupo, y mejorar su situación de ingresos.

Trabajo a futuro

Como futuras propuestas pertinentes en el consiente desarrollo, se efectúan las siguientes estudios de aplicación enel futuro: (1) Realizar una investigación de mercado para conocer las oportunidades y amenazas, aplicando un modelo de marketing enfocado en maximizar las ventas del producto en el mercado de mayoreo, para estar en condiciones de proponer estrategias organizacionales y de ventas y mercadotecnia; (2) analizar la efectividad de la transferenciade tecnología para mejorar la calidad del producto, (3) analizar la implementación de las diferentes certificaciones decalidad en el producto.

Referencias

[1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, “Transformar la alimentación y la agricultura para alcanzar los ODS”. [En línea]. Disponible en: https://www.fao.org/3/I9900ES/i9900es.PDF

[2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, “Plataforma de Territorios y Países Inclusivos y Sostenibles. Una Metodología para el Fortalecimiento Organizacional Empresarial”. [En línea]. Disponible en: https://www.fao.org/in-action/territorios-inteligentes/articulos/colaboraciones/detalle/es/c/303308/

[3] K. Valencia Sandoval, D. Duana Ávila y T. J. Hernández García, "Estudio de mercado de papaya mexicana:un análisis de su competitividad (2001-2015)" 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.elsevier.es/es- revista-suma-negocios-208-pdf-S2215910X17300241.

[4] P. Ríos, "¿Qué son las ventas?Guía Práctica" 2019. [En línea]. Disponible en: https://blog.hubspot.es/sales/que-son-las-ventas.

[5] P. Kotler y G. Armstrong, "Principios de marketing (17a. ed.)", España: Pearson., 2018.

[6] W. D. Perreault Jr., J. P. Cannon & E. J. McCarthy, "Essentials of Marketing. A Marketing Strategy PlanningApproach (16th. ed.)". Estados Unidos de América: McGraw Hill, 2019.

[7] S. Zyma,. "El final del marketing que conocemos". España: Ediciones Granica, 1999.

[8] P. Santos, "Mercadotecnia industrial: Aprende cómo usarlo para obtener los mejores resultados en tu estrategia". 21 junio 2019. [En línea]. Disponible en: https://rockcontent.com/es/blog/mercadotecnia-industrial/?fbclid=IwAR2ljxrZ2DzoqM1k9oLQmBdcQr_SvYc65bmeEr_Z.

[9] R. A. Kerin y S. W. Hartley, "Marketing (13a. ed."). México: McGraw Hill, 2018.

[10] Gómez Xul, G. A., Sánchez López, J. A., Madrigal Jiménez, J. A. y Jiménez López, R. M., "Análisis comparativo de estrategias de la mezcla promocional por sector económico", *VII Congreso Virtual Internacional Transformación e Innovación en las Organizaciones,* nº 2019, pp. 747-766, 2019.

[11] J. Sánchez Herrera, M. J. Merino Sanz y M. Santesmases Mestre, "Fundamentos de marketing". España:Ediciones Pirámide, 2013.

[12] J Toro, J. M. D. y Villanueva, J., Marketing estratégico, España: EUNSA, 2017.

[13] J. F. Hair, R. E. Anderson, R. Mehta y B. J. Babin, Administración de ventas. Relaciones y sociedades conelcliente. México: CENGAGE Learning, 2010.

[14] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y M. Baptista Lucio, “Metodología de la investigación (6a.ed.)”, México: McGraw Hill, 2014.

 ISSN: 2007 8102

El involucramiento del microempresario en estrategias ambientales: Un acercamiento a la responsabilidad social empresarial

Llamas Mangin Yuritzi[1]
Ferro Azcona Hakna [2]
Magdaleno Ramírez Francisco [3]

Área de participación: Ingeniería Administrativa

[1]Universidad Americana de Europa (México), yuritzi.llamas@docentes.uat.edu.mx, https://orcid.org/0000-0001-6069-0216

[2]Universidad Americana de Europa (España),hakna.ferro@aulagrupo.es, https://orcid.org/0000-0002-8934-1404

3Universidad Autónoma de Tamaulipas, magdaleno.francisco@docentes.uat.edu.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

Uno de los retos ambientales para el desarrollo socioeconómico del noreste de México no es el acceso a los productos comerciales, sino el desgaste de los recursos naturales. Produciendo el desequilibrio de la región con relación al estrés hídrico, el estrés térmico y la generación de residuos sólidos.

Se encuestó a las microempresas para analizar su relación con la responsabilidad social empresarial, al ser actores económicos y sociales es importante el involucramiento en el ejercicio del autodiagnóstico. Los participantes seleccionaron de algunos temas ambientales y aplicaron una autoevaluación de gestión ambiental sobre sus procesos productivos.

Se concluyó que hay motivación por parte del microempresario al involucrar la orientación universitaria de la Facultad de Comercio, con lo que se motivó la empresa para pasar a la acción social. Con una guía de acción ambiental se promovió la implementación de la responsabilidad social empresarial de manera más efectiva para incrementar su participación.

Palabras Clave: Microempresas, Responsabilidad Social Empresarial, Gestión Ambiental, Consumo Responsable

Abstract

One of the environmental challenges for the socio-economic development of Northeastern Mexico is not the access to commercial products, but the depletion of natural resources. This leads to an imbalance in the region concerning water stress, thermal stress, and the generation of solid waste.

Small businesses are surveyed to analyze their relationship with corporate social responsibility. Being economic and social actors, it is important to involve them in a self-diagnostic exercise. The participants choose some environmental topics to apply self-assessment in environmental management to their production processes.

The study concludes that there is motivation on the part of the small businesses when involving the university guidance from the Faculty of Commerce, which motivates the microentrepreneur to take social action. With an environmental action plan, the implementation of corporate social responsibility is effectively promoted to increase their participation.

***Keywords**: Microenterprises, Corporate Social Responsibility, Environmental Management, Responsible Consumption*

ISSN: 2007 8102

Introducción

En cuanto al desarrollo económico en la región se ha generado un aumento en la demanda de bienes y servicios. Lo que representa un incremento en la presión sobre el ecosistema y la demanda de recursos naturales. La región de Nuevo Laredo Tamaulipas se encuentra ubicada en la región semidesértica del noreste de México lo que implica que se encuentra en un área con escasos recursos hídricos [1].

Uno de los problemas ambientales a los que se enfrenta el desarrollo socioeconómico de la región noreste de Nuevo Laredo no es el acceso a los productos comerciales, si no la sobreexplotación de los recursos naturales. Produciendo un mayor impacto ambiental y por ende un incremento en el desequilibrio de la región noreste con relación al estrés hídrico [1] y el estrés térmico [2] y la generación de residuos sólidos [3].

Los principales retos ambientales a los que se enfrenta la región del matorral espinoso tamaulipeco y la región noreste del país en general son la escases de agua, la pérdida del hábitat, la erosión del suelo, la pérdida de biodiversidad, contaminación del aire y agua y el cambio climático [4].

Por lo que, actualmente las microempresas pasan a ser un actor importante que pueden desarrollar estrategias comerciales de responsabilidad social empresarial al considerar adaptar sus actividades [5] a los riesgos climáticos a los que se pueden enfrentar como el incremento de la temperatura. Elemento climático que ha empezado a presenciar estragos a nivel global como consecuencia del cambio climático. Hay estudios del panel intergubernamental para el Cambio Climático – Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) que expone que si no hay una reducción de los gases de efecto invernadero el incremento de la temperatura seguirá manifestándose año con año [6].

Aunado a esto se encuentra el problema del agua en la región noreste de México. CONAGUA anuncia que anualmente hay un incremento en el riesgo de sequias, así como el aumento gradual del estrés hídrico en diferentes cuencas del país [7], [8].

Con relación al estrés térmico, las microempresas lo deben considerar como uno de los próximos problemas dentro de sus procesos de producción. Ya que tanto los empleados como los consumidores se pueden ver afectados por este factor. En el caso de la ciudad de Nuevo Laredo puede llegar alcanzar temperatura de 40°C a 46°C con sensaciones térmicas superiores en temporada de canícula entre julio y agosto. Siendo Tamaulipas un estado afectado [9]. Se desarrollaron problemas salud como los golpes de calor. De acuerdo con la Secretaría de Salud en su informe semanal de epidemiologia en del 11 al 26 de junio del 2023 se emitió una alerta estatal por la tercera ola de calor que sobrepasaba los 48°C. Reportando un total de 25 personas con golpes de calor, 4 casos de deshidratación y 19 muertes por golpes de calor en el estado seis se dieron en Nuevo Laredo [10].

Aunado a esto, las empresas deben observar la generación de las islas de calor. Debido a que Nuevo Laredo se encuentra en una zona de clima extremo de acuerdo con los mapas de monitoreo nacional generados por CONAGUA en marzo del 2023.

Por último, otro de los problemas que debe atender la microempresa es la producción de residuos y proponer la implementación de programas integrales para realizar la separación, así como la gestión integral de residuos sólidos ya que esta es una actividad implementada principalmente por los grandes corporativos [11]. De acuerdo con el reporte de la Secretaría para el Desarrollo Urbano y Medio Ambiente de Tamaulipas (SEDUMA), hubo una generación de residuos recolectada de 2,883 toneladas, siendo Nuevo Laredo quien contribuye con un 13% [12].

Desarrollo

Las empresas se convierten en un actor relevante para atender la crisis ambiental [13]. La presencia de empresa con menos de 10 empleados catalogadas como microempresas tienen una representación en México de 2 millones 183 mil 233 microempresas, Tamaulipas cuenta con 47 mil 853 microempresas y Nuevo Laredo cuento con 14 mil 966 microempresas de acuerdo con el directorio de unidades económicas [14] .

Por lo que, la participación de la microempresa es relevante en la región. Sin embargo, cuando se observa la participación de las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPyMEs) en temas como la responsabilidad social

ISSN: 2007 8102

empresarial (RSE) aplicada en la gestión ambiental [15]. Sale a la luz poco involucramiento y por ende falta de implementación de programas internos, ya que no se considera un tema de relevancia comercial y es visto como un gasto extra [16].

Regularmente la RSE es aplicada por las grandes empresas como se aprecia en él informa proporcionado por el Centro Mexicano para la filantropía CEMEFI en el 2023 anuncio que en México hay 1011 empresas contaban con la certificación como empresas socialmente responsables [17].

Para esta investigación nace la siguiente pregunta ¿Es posible mejorar la participación de las microempresas al presentar una guía de acciones ambientales en temas de responsabilidad social empresarial en Nuevo Laredo?

Con la hipótesis de que la presentación de una guía de trabajo ambiental incrementa el involucramiento del microempresario en temas de responsabilidad social empresarial en Nuevo Laredo.

Método

Se trabajó con el objetivo de identificar los temas ambientales de mayor interés para el microempresario y su involucramiento en temas ambientales para implementar la responsabilidad social empresarial en la operacionalización del establecimiento comercial en Nuevo Laredo.

La investigación se realizó con un enfoque mixto [18], la variable cualitativa se enfoca en el interés ambiental del microempresario y la identificación de los temas ambientales de mayor interés y la variable cuantitativa se emplea para analizar la cantidad de establecimiento comerciales que se interesan en implementar una guía de acción ambientales acciones que serán candidatos para implementarlo. Se realizó una revisión documental para analizar la situación de la responsabilidad social en el país y en el estado. Así mismo se realizó una investigación exploratoria para visitar establecimientos comerciales en la categoría de microempresa para aplicar encuestas e identificar el interés en temas ambientales. Aunado a esto, la motivación para incorporar la responsabilidad social empresarial en sus procesos productivos. Se construye la muestra por conveniencia de carácter no probabilístico [19].

La muestra se conforma de los establecimientos que presentan interés en participar en las encuestas de esta primera etapa que se presenta como “introducción al tema ambiental”, en una segunda etapa se presenta como “invitación a participar” y en una tercera etapa se aplicó el “autodiagnóstico” de acciones ambientales.

Se construyó un polígono con el software Google maps y la identificación de microempresas se realiza con DENUE [14]. Dentro del perímetro se encuentra la Facultad de Comercio Administración y Ciencias Sociales (FCAyCS) donde se visitaron establecimientos comerciales que permitieron realizar el trabajo de campo.

El trabajo de campo se realizó en veranos de investigación con la colaboración de docentes y estudiante de la FCAyCS y del Programa Interinstitucional para el Fortalecimiento de investigación y el posgrado del pacifico.

Resultados y Discusión

Para analizar la presencia de la responsabilidad social empresarial (RSE) en el estado de Tamaulipas de acuerdo con el CEMEFI 2023 son 14 empresas con una representación estatal de 44 empresas. Todas ellas deben de asumir acciones ambientales debido a que el corporativo se certifica como Responsabilidad social empresarial siendo Tamaulipas el estado número 15 a nivel nacional [17].

Para realizar el trabajo de campo se preparó el polígono de la colonia Infonavit ilustrado en el figura 1, en donde se realizó la visita a establecimientos comerciales en la colonia Infonavit, de los 345 establecimientos del DENUE, algunos no estaban operando en el momento de la visita, otros no recibieron la invitación para aplicar la encuesta y los establecimientos que participaron en la encuesta de esta primera etapa conformaron una muestra de 70 establecimientos.

En la primera visita denominada “Introducción a temas ambientales” se visitaron a los 70 establecimientos que permitieron contentar la encuesta, siendo un 75% los que consideran que las acciones ambientales mejorarían la imagen del establecimiento comercial en la localidad. El 60% están interesados en recibir capacitación en temas ambientales. Los encuestados están en un rango de edad de 15 a 70 años. 7% son entre 15 y 20 años, 24% de

 ISSN: 2007 8102

los encuestados son de 21 a 30 años, 43% de los encuestados están entre los 31 y 50 años y por último un 26% están en un rango de edad de 51 a 70 años.

36% de los encuestados cuentan con estudios hasta nivel bachillerato y 23% cuentan con una preparación profesional, De estos un 59% con preparación profesional algunos son responsables de alto mando de los establecimientos y con un nivel académico menor a bachillerato siendo un 41% de los encuestados se encuentran en puestos de atención al cliente y cajeros.

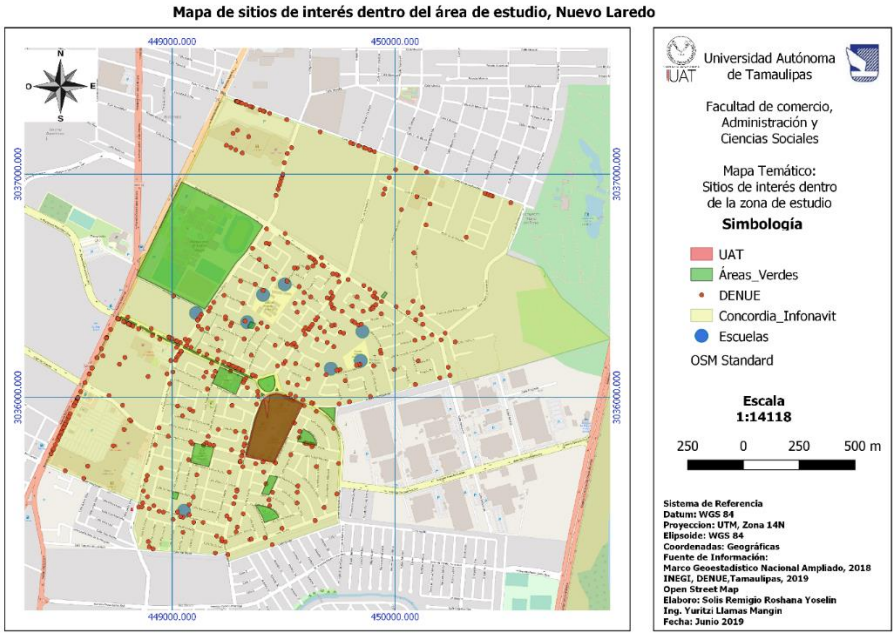


Figura 1 – Polígono de trabajo de campo.

Fuente: Elaboración propia.

Con relación a los temas de interés, 34 establecimiento indicaron que si estaban interesados en participar en la evaluación ambiental y los 70 establecimientos indicaron los temas de mayor relevancia para ellos. El cuidado del agua con un 27% está en tercer lugar, el cuidado de la luz con un 33% queda en segundo lugar y por último el tema de los residuos con un 34% en primer lugar. Afortunadamente estos son los principales con mayor presencia en los problemas regionales y el estrés ambiental [7], [12].

En una segunda etapa “invitación a participar” de los interesados de la primera etapa se logró concretar visitas con 25 establecimientos comerciales 80% indicaron que sí y solo 12 accedieron a realizaron el autodiagnóstico tal como se observa en la figura 2. De los temas que decidieron diagnosticar se mantiene el interés en tercer lugar la separación de residuos con un 30%, en segundo lugar, el cuidado del agua con un 40% y en primer lugar el cuidado de la luz con un 55%.

 ISSN: 2007 8102

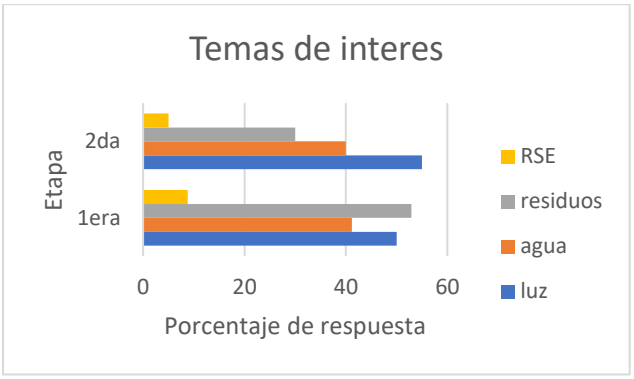


Figura 2 – Interés en estudiar temas ambientales por parte del microempresario.

Fuente: Elaboración propia.

Un elemento importante es que, a través de la RSE se busca generar acciones de colaboración entre la microempresa y la universidad con temas de interesa que ayuden a construir lazos de colaboración entre empresa y sociedad universitaria [20]. En la segunda visita se consultaron los temas de interés como se muestra en la figura 3. Siendo los temas de administración de empresas (15%) y contabilidad (15%) los de mayor interés por parte del microempresario. Sin embargo, en su mayoría un 80% de los encuestados no buscan la capacitación. Pero aun con este resultado no se descarta la posibilidad de generar lazos de cooperación.

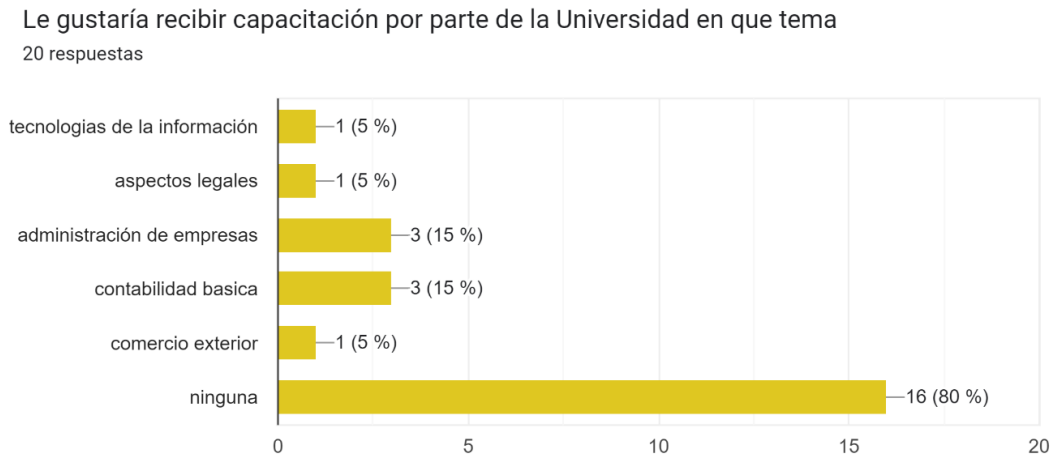


Figura 3. Temas relevantes para asesoría en la Microempresa.

Fuente Elaboración propia.

Esta interacción de actores también es un acto de vinculación de acuerdo con lo establecido en el Plan Nacional de desarrollo 2013 – 2018 citado por [21] donde se hace referencia a una educación de calidad. Lo que promueve la construcción de lazos de colaboración entre las necesidades sociales para propiciar un buen crecimiento económico bajo el concepto de México con educación de calidad.

Así mismo, en el Plan Nacional de Desarrollo 2019 – 2024 continua con el tema de Educación de Calidad, con el tema denominado Construir un país con bienestar y Desarrollo Sostenible. Esta meta nacional se mueve bajo la visión de trabajar un desarrollo socioeconómico para construir valores éticos, sociales, ambientales y económicos.

Por otro lado, la Facultad de Comercio regido por el Plan de la Universidad Autónoma de Tamaulipas en su nuevo proyecto 2022-2025 construye la vida universitaria y apoyo académico al empresario [22] para la formación de vínculos con la presentación de temas de capacitación que puedan desarrollarse. Esto va de la mano de los objetivos de la agenda 2030 con el Objetivo 4 Garantizar una educación de calidad, Objetivo 8 Trabajo decente y crecimiento económico, Objetivo 11 Ciudades y comunicades sostenibles, Objetivo 12 Producción y Consumo responsable, Objetivo 13 Acción por el Clima y el Objetivo 17 Alianza para lograr los objetivos.

 ISSN: 2007 8102

En la tercera etapa “Autodiagnóstico”, se visitaron los 12 establecimientos comerciales a los que se les dio la opción de seleccionaron cuantos temas diagnostica uno, dos o más. Estos temas del autodiagnóstico se dividen en cinco categorías que en conjunto generan la palabra CALOR y se construye de la siguiente manera C= clasificación de residuos, A = cuidado del agua, L = cuidado de la luz, OR = Cuidado exterior (ornamentación del exterior) y Responsabilidad social (asesoría a estudiantes).

En la tabla 1 se presenta la estadística con relación a los temas CALOR en los que los 12 establecimientos decidieron participar. Un 80% solo eligió trabajar con un único tema ambiental ya sea residuos (10%) o cuidado de la luz (40%) o cuidado del agua (30%). Solo el 10 % trabajo con Responsabilidad Social Empresaria y un 10% eligió trabajar de manera simultánea la evaluación de dos temas para diagnostica de manera simultánea que son el cuidado del agua y la luz.

Tabla 1. Categorías autoevaluadas por microempresa voluntaria.

Fuente Elaboración propia.

	MiPyMEs	**Categorías**				
		C	**A**	**L**	**O**	**R**
1	Óptica mina	1				
2	Chuchi´s		1			
3	Tamara´s		1			
4	SanPer				1	1
5	Lavanderia Merlin		1			
6	Snack			1		
7	Farmacia Bioxana			1		
8	Breaking Barber			1		
9	GreenHouse		1	1		
10	Six			1		
11	Los Compadres	1				
12	Regalos Patricia			1		
	Total	**2**	**4**	**6**	**1**	**1**

Con relación a la variable cualitativa el movimiento del interés de las microempresas se observa en la figura 4, se observa la disminución de las empresas que pasaron a la acción. En lo cualitativo hay una gran motivación siendo un 50% de las empresas que mostraron interés con lo que vemos un movimiento positivo en el elemento cualitativo. Mientras que en lo cuantitativo del 100% de establecimientos que acepto una tercera visita para aplicar acciones ambientales solo el 17% concretó un autodiagnóstico para analizar sus hábitos.

 ISSN: 2007 8102

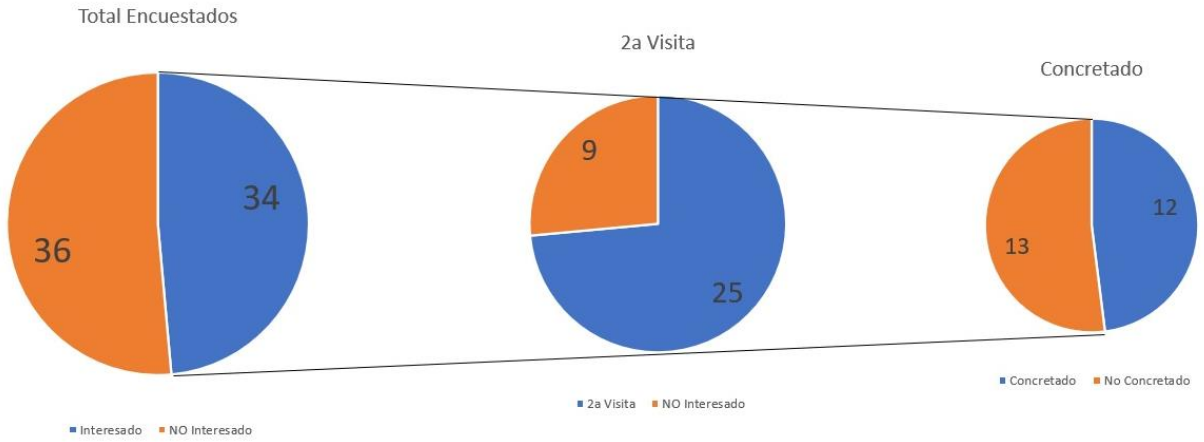


Figura 4. Participantes de la RSE.

Fuente: Elaboración propia.

Trabajo a Futuro

En una cuarta etapa de “Retroalimentación y Construcción de Estrategias”, se implementarán elementos de la guía de producción limpia de [23] que promueven el seguimiento a los hábitos de consumo de agua, luz y la separación de residuos.

Así mismo, se propone trabajar con conjuntos de microempresas en plazas comerciales para promover la generación de espacios socialmente responsables y el trabajo en equipo. Sumando a las microempresas que ya empezaron a generar conciencia de sus hábitos de consumo. Con estos establecimientos comerciales se continuará el trabajo para dar seguimiento a la implementación de acciones de gestión ambiental a través de la responsabilidad social empresarial como parte de una cuarta etapa.

Conclusiones

Por su ubicación geográfica, la ciudad de Nuevo Laredo tiene una gran relevancia para México como uno de los principales puntos de entrada y salida para el comercio bilateral entre México y los Estados Unidos. En promedio 13 Mil camiones de carga cruzan diariamente para transportar productos y mercancías entre los dos países, generando un impacto significativo en la economía de Nuevo Laredo ya que contribuye a la generación de empleo y a la entrada de divisas.

Además, el comercio internacional impulsa el desarrollo de otras industrias relacionadas, como el transporte, la logística, servicios aduaneros y demás servicios que sumados a la cadena de valor lleva a la ciudad a ser un destino para población migrante en busca de mejorar sus condiciones de vida catapultando la actividad económica de otro sector económico como lo son las MiPYMEs.

En este contexto, la participación de las MiPYMEs de Nuevo Laredo, Tamaulipas en la implementación de la responsabilidad social, permitiría generar un impacto positivo en la comunidad mejorando el bienestar de sus habitantes, potenciar su competitividad y mejorar su reputación, promover la sostenibilidad y ser referente en materia de compliancia en esta materia.

Dentro del reto de la implementación de la RSE en la microempresa uno de los puntos importantes es que el 80% de los microempresarios considera que el tema ambiental si puede proporcionar un valor agregado a sus productos y un interés extra del consumidor a su establecimiento [19].

Sin embargo, es un gran paso en la implementación de la Responsabilidad Social Empresarial en la microempresa en Nuevo Laredo, ya que se busca generar un efecto domino. Debido a que el número de establecimientos que

 ISSN: 2007 8102

representa el MiPyMEs en la ciudad al involucrarse pueden tener un impacto positivo en el medio ambiente de la ciudad.

Si bien es cierto las condiciones actuales del clima en Nuevo Laredo están propiciando nuevamente condiciones ambientales que generan preocupación en la ciudadanía y en los comercios pues el ecosistema se ve cada vez más vulnerable y las acciones de RSE cada vez se ven más como una necesidad.

Por lo que el análisis cualitativo referente a la variable dependiente indica que apenar de interés en temas como cuidado del agua, cuidado de la luz y separación de residuos. Cuando llegó el momento de llevarlo a la práctica no todos eligieron atender los tres temas, la mayoría de los participantes se fue por el cuidado de la luz que es sin lugar a duda el que mayor gasto representa para una microempresa por lo que se alcanzó el objetivo de la investigación.

Con esto se puede concluir que se contesta la pregunta de investigación ya que al orientar al microempresario se puede mejorar su participación, aunque en este primer acercamiento solo se obtuvo un 17% de participación es un resultado positivo. Que el empresario pase a la acción por el medio ambiente ya es ganancia por lo que la hipótesis se acepta ya que una guía efectivamente puede hacer que se incremente la participación.

Por otro lado, la colaboración de la universidad con las microempresas genera esos lazos de comunicación y atención a problemas locales donde a pesar de que el empresario no considera que deba recibir un apoyo por parte de la universidad, no deja de ser una gran oportunidad para proporcionar nuevas herramientas y construir empresarios responsables con la colaboración entre los diferentes niveles sociales y el tema del cuidado ambiental. Se puede apoyar al microempresario y generar acciones desde el sector académico en su responsabilidad social universitaria [24].

Referencias

[1] J. Frausto-Ortega, «Gestión y cultura del agua en Nuevo Laredo, Tamaulipas,» *Frontera Norte ,* vol. 27, nº 53, pp. 89-114, Enero- Junio 2015.

[2] M. Revueltas Agüero , E. Molina Esquivel y M. Hernández Sánchez , «La salud humana frente al estrés térmico por el cambio climático,» *Revista Archivo Médico de Camagüey,* vol. 27, p. e9073, 2023.

[3] INEGI, «Geografía y Medio Ambiente - Residuos Solidos,» 2020. [En línea]. Available: https://www.inegi.org.mx/temas/residuos/.

[4] CONABIO, «MATORRAL,» 2021. [En línea]. Available: https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/Matorral.

[5] J. A. Olarte Cabana, J. A. Loaiza Franco y A. F. Chilanguad Valencia , «Cap 1 Diseño de un instrumento para la medición de riesgos ambientales, sociales y tecnológicos en pequeñas empresas de Santiago de Cali, Colombia,» de *Control , Transparencia y Productividad : Aportes para la creación de valor en las organizaciones*, 2020, p. 196.

[6] P. F. Martinez-Austria y C. Patiño-Gómez, «Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México,» *Tecnología y ciencias del agua,* vol. 3, nº 1, pp. 5-20, 2012.

[7] CONAGUA, «Monitor de Sequia en México (MSM),» 31 Marzo 2023. [En línea]. Available: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico.

 ISSN: 2007 8102

[8] CONAGUA, «Monitor de Sequía de América del Norte,» 28 Febrero 2021. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/628854/Monitor_de_Sequ_a_de_America_del_Norte.pdf.

[9] IMTA, «¿ Que es la Canicula?,» 12 Julio 2019. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/imta/articulos/que-es-la-canicula?idiom=es.

[10] S. d. Salud, «Temperaturas naturales extremas,» 26 junio 2023. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/835343/TNE_2023_SE2425.pdf.

[11] INEGI, *Estadística a propósito del día mundial del medio ambiente (5 de Junio),* vol. 22, 2022, p. 1/4.

[12] SEDUMA, Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos en Tamaulipas, Periodico Oficial del Estado de Tamaulipas ed., vol. 112, Cd Victoria , Tamaulipas : Secretaria de Gobierno del Estado , 2016, p. 180.

[13] ZAITE, «SCRIBD,» 04 Noviembre 2010. [En línea]. Available: https://es.scribd.com/document/40935561/Guia-para-Implementar-la-RSE-en-la-empresa.

[14] DENUE, «Directorio de Unidades Económicas,» 2022. [En línea]. Available: https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx.

[15] J. D. Olmedo-Ponce y L. G. Cusme-Mercado , «La gestión ambiental para el desarrollo sostenible de las pequeñas y medianas empresas, Cantón Esmeraldas,» *Polo del Conocimiento,* vol. 5, nº 42, pp. 789-804, 20 Febrero 2020.

[16] A. I. González Ordoñez, L. R. Luciani Toro, S. Zerpa de Hurtado y A. J. Hurtado Briceño , «Gestión Ambiental de las MiPyMEs en la Provincia de el Oro, Ecuador: Dialogos y Propuestas,» *Universidad y Sociedad ,* vol. 11, nº 1, pp. 224-230, 2019.

[17] Centro Mexicano para la Filantropía (CEMEFI), «Resultados Empresa Socialmente Responsable 2023,» 2023. [En línea]. Available: https://www.cemefi.org/resultadosesr/.

[18] R. Hernández Sampieri, Metodología de la Investigación, 6ta edición ed., Mc Graw Hill, 2014.

[19] P. Del Rosario Anzules y E. M. Franco Cedeño , *Analisis de una gestión ambiental integral en las pymes del sector textil de guayaquil y su impacto comercial,* Universidad Politécnica Salesiana, 2021, p. 24.

[20] H. G. Chang Castillo, «El modelo de la triple hélice como un medio para la vinculación entre la universidad y empresa,» *Revista Nacional de Administración,* vol. 1, nº 1, pp. 85-94, Enero- Junio 2010.

[21] C. Palacios - Valenzuela , S. Delhumeau-Rivera y A. Alvarado-Borrego, «Diseño de un instrumento para medir la vinculación empresas-universidad coo estrategia de crecimiento,» *INCEPTUM,* vol. XVII, nº 32, pp. 97-117, 2022.

[22] UAT, Plan de Desarrollo Institucional 2022 -2025, Universidad Autonoma de Tamaulipas, 2022, p. 90.

[23] B. van Hoof , N. Monroy y A. Saer , Producción más Limpia: Paradigma de gestión ambiental, Alfaomega, 2008, p. 300.

[24] F. Vallaeys, C. De la Cruz y P. M. Sasia, Responsabilidad Social Universitaria: Manual de primero pasos, I. D. Bank, Ed., Mc Graw Hill, 2009, p. 93.

[25] L. O. Vicencio , La investigación en las Ciencias Sociales, 2da ed., México : Trillas, 2018, p. 174.

ISSN: 2007 8102

[26] R. Hernández-Sampieri y C. P. Mendoza Torres , Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativas, cualitativas y mistas, Mc Graw Hill Education , 2018.

ISSN: 2007 8102

Modelo de negocios, elemento clave para generar la propuesta de valor en empresas rurales de pan artesanal

Ortiz Castro Miguel Ángel[1], Barradas Martínez María del Rosario[2], Rodríguez Lázaro José[3]
[1]Universidad Tecnológica de la Mixteca, ortizcastromiguel11@gmail.com, [2]Universidad Tecnológica de la Mixteca, rosario_barma@yahoo.com.mx, [3]Universidad Tecnológica de la Mixteca, siac08@yahoo.com.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

La falta de conocimiento de la propuesta de valor en las empresas rurales provoca que sus clientes no valoren la actividad que estas desarrollan. Por ello, el objetivo de esta investigación de tipo cuantitativa es diseñar un modelo de negocio que contribuya en la creación de diferenciadores ante la competencia, impactando directamente en la generación de ventajas competitivas. Para lograrlo, con base en la metodología Canvas propuesta por Osterwalder y Pigneur, se identificaron los factores que influyen en la oferta y demanda de pan artesanal en Villa de Chilapa de Diaz, Oaxaca. Se concluye que la propuesta de valor se basa en el sabor, frescura, variedad de productos saludables e innovadores, servicios adicionales, promociones y diseño del establecimiento, además de un servicio sustentado en valores. Al identificar estos elementos se posibilita a las microempresarias para satisfacer las necesidades de sus clientes y con ello fortalecer su posicionamiento y sostenibilidad.

***Palabras clave**: Empresas rurales, modelo de negocio, metodología Canvas, panaderías tradicionales*

Abstract

The lack of knowledge of the value proposition in rural businesses causes their customers not to value the activity they develop. Therefore, the objective of this quantitative research is to design a business model that contributes to the creation of differentiators from the competition, directly impacting on the generation of competitive advantages. To achieve this, based on the Canvas methodology proposed by Osterwalder and Pigneur, the factors that influence the supply and demand of artisan bread in Villa de Chilapa de Diaz, Oaxaca, were identified. It is concluded that the value proposition is based on flavor, freshness, variety of healthy and innovative products, additional services, promotions and design of the establishment, in addition to a service based on values. By identifying these elements, microentrepreneurs are able to satisfy the needs of their customers and thus strengthen their positioning and sustainability.

***Key words**: Rural business, business model, Canvas methodology and traditional bakeries*

Introducción

Las micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) son el pilar de una economía rural dinámica, ya sea por la venta de alimentos, prendas de vestir o aquellos productos locales que se comercializan en la comunidad, además de que son empleadoras de millones de personas, en especial mujeres y jóvenes de todo el mundo [1].

Una empresa rural es una “entidad que contribuye a la generación de empleos e ingresos en el sector rural” [2]. En México, estas empresas tienen un papel relevante en el desarrollo local, porque amortiguan los problemas sociales, además de que son un instrumento de cohesión y estabilidad social [3]. En este sentido, resulta relevante diseñar acciones estratégicas que contribuyan en la mejora de su competitividad, que a su vez impacte de manera directa en los ingresos que éstas generan.

Un modelo de negocios define los componentes necesarios para que una empresa o idea de negocios sea exitosa, a partir de esos elementos se crea una nueva realidad adaptada a las necesidades del cliente y a las nuevas tecnologías, así como a las exigencias del mercado en una economía globalizada. Esta herramienta es la esencia de la organización, porque en éste se personaliza lo que hace.

El modelo de negocios describe la base sobre la cual una empresa crea y proporciona su propuesta de valor [4]. En este sentido, “la propuesta de valor crea valor para un segmento de mercado determinado cuando la mezcla de elementos se adecua a sus necesidades”; dentro de estos elementos se encuentra el precio, la calidad en el servicio, el diseño del producto, la experiencia del cliente, entre otros [5].

Para definir un modelo de negocios, una metodología práctica es el Lienzo Canvas propuesta por Osterwalder y Pigneur [4], esta herramienta permite plasmar de manera gráfica los nueve bloques más importantes para estructurar la propuesta de valor: segmento de mercado, propuesta de valor, canales de distribución, relaciones con clientes, fuente de ingresos, recursos, actividades y asociaciones clave y la estructura de costos.

El segmento de mercado “consiste en identificar comportamientos similares entre personas en un determinado mercado, tratando de formar un grupo o (grupos) con características similares” [6]. Este se clasifica en mercado de masas, nicho de mercado, mercado segmentado y diversificado. Esta investigación, se enfoca en el mercado de masas, el cual se centra en un grupo de clientes, pero no distingue las diferencias entre segmentos de mercado; lo que hace que la propuesta de valor, los canales de distribución y la relación con clientes se enfoque en satisfacer necesidades y problemas similares. De ahí su importancia, en la definición del modelo de negocios.

La propuesta de valor es el factor que hace que un cliente elija entre una empresa u otra, es el conjunto de productos y servicios que tienen como propósito solucionar un problema o resolver la necesidad de un determinado segmento de mercado. Su definición ofrece una serie de ventajas que resultan atractivas para los clientes. “Una propuesta de valor es una ecuación costo versus beneficio, que muestra la motivación del posible cliente” [7].

La propuesta de valor puede ser innovadora y enfocarse en desarrollar un producto nuevo, alguna mejora o atributos adicionales. Esta propuesta integra valores cuantitativos y cualitativos: los cuantitativos se centran en el precio, velocidad del servicio, reducción de costos y/o accesibilidad, mientras que los cualitativos en el diseño, experiencia del cliente, personalización, comodidad o utilidad, estatus y/o reducción de riesgos.

Un canal de distribución es “el conjunto de personas y empresas comprendidas en la transferencia de derechos de un producto, incluye al productor y al cliente final en su forma presente, así como a cualquier intermediario, como los detallistas y mayoristas” [8].

La relación con el cliente se define como el vínculo entre empresa y sus clientes para elevar la satisfacción, la confianza y la lealtad, de esta forma, el valor del cliente alcanza una dimensión real y contribuye de forma efectiva a la rentabilidad [9]. Algunas categorías en las cuales la empresa determinara las bases para brindar la atención al cliente son: asistencia personal, asistencia personal exclusiva, autoservicio, servicios automáticos, comunidades de usuarios y creación colectiva.

La fuente de ingresos es la forma en que una empresa genera ingresos a partir de actividades fundamentales, tales como: venta de activos, cuota por uso, cuota de suscripción, préstamo o alquiler, concesión de licencias, gastos de corretaje y publicidad [10].

Los recursos clave “son los activos o materiales que permiten a […] una empresa, desenvolverse y alcanzar los objetivos propuestos, logrando así adquirir un posicionamiento en el mercado [11]. Dentro de estos recursos se encuentran los físicos, intelectuales, humanos y económicos.

Las actividades clave hacen referencia a todo lo necesario para crear una propuesta de valor y acceder a información sobre las ofertas que se pueden aplicar [11]. Ésta varía dependiendo de cada modelo de negocio, algunas actividades son producción, ventas, finanzas, recursos humanos, entre otras.

Las asociaciones clave son acuerdos que se establecen entre proveedores y socios para obtener recursos o reducir riesgos. “Las empresas deben complementarse con otras mediante acciones colectivas a través de acciones estratégicas consensuadas que faciliten la integración de recursos y competencias individuales, para alcanzar metas compartidas” [12]. Algunos tipos son: la unión entre empresas que no son competencia, la alianza entre empresas que son competencia, acuerdos entre empresas para generar un nuevo negocio y cliente-proveedor para asegurar el abasto de suministro.

ISSN: 2007 8102

Finalmente, la estructura de costos se refiere a las erogaciones que se realizan por operar el negocio, el objetivo principal será reducirlos y generar liquidez para crear y proporcionar valor. Dentro de su estructura, se encuentran los costos fijos, costos variables, economías de escala y economías de campo [4] [13].

Dentro del Lienzo Canvas también se integran dos elementos que hacen referencia a los hemisferios del cerebro, el derecho refiere a las emociones y el izquierdo corresponde al razonamiento lógico [14].

En el lado derecho del lienzo, se encuentran los módulos que ayudaran a cubrir las necesidades del mercado y deben responder las siguientes preguntas:

1. El segmento de mercado: ¿a quién se venderá el producto?
2. La propuesta de valor: ¿cuál es el diferenciador de mi negocio que hace que el cliente me prefiera sobre la competencia?
3. El canal de distribución: ¿cómo haré llegar mi producto a mi cliente?
4. La relación con el cliente: ¿cómo prefiere ser atendido mi cliente?
5. La fuente de ingresos: ¿cuánto voy a ganar por la venta de mi producto?, ¿cuánto está dispuesto a pagar mi cliente por mi producto?, ¿de qué forma obtendré ingresos?

En el lado izquierdo del lienzo se encuentran los módulos que permiten mejorar la operación de la panadería, por lo tanto, los módulos que ahí se describen, cuestionan al empresario sobre qué necesita y cómo va a funcionar el negocio:

6. Los recursos clave: ¿qué necesito para realizar mi propuesta de valor?
7. Las actividades clave: ¿cómo voy a realizar mi propuesta de valor?
8. Las asociaciones clave: ¿quiénes ayudarán a generar la propuesta de valor?
9. La estructura de costos: ¿Cuánto me costará realizar mi propuesta de valor?

Las empresas rurales de Villa de Chilapa de Díaz, Oaxaca, heredan los saberes a las nuevas generaciones, de tal forma que transfieren y refuerzan los conocimientos que se emplean en la elaboración del pan artesanal además de fortalecer el valor cultural que tiene este producto no solo para la región sino también para el estado de Oaxaca. En este contexto, la metodología Canvas permitirá a las microempresas crear diferenciadores en su producto artesanal y complementar con un servicio distinto para su segmento de mercado, gracias a la identificación de los gustos y preferencias del cliente.

En México dentro de la industria alimentaria, después de la tortilla de maíz y molienda de nixtamal, se encuentra la panificación tradicional como una de las actividades económicas más importantes, por su contribución en la generación de empleos y el número de establecimientos existentes [15]. En el país se tienen registradas 59, 883 panaderías tradicionales y Oaxaca, uno de los estados con mayor participación, tiene contabilizadas 4,839 unidades económicas [16].

Una panadería tradicional es aquella que ofrece productos que no están elaborados en líneas de producción automatizadas y su vida de anaquel no es tan prolongada como los que se fabrican en plantas panificadoras con mayor tecnificación en sus procesos [17]. Esta actividad económica se desempeña en comunidades rurales, como es el caso de Villa Chilapa de Díaz, Oaxaca, ubicada en la mixteca oaxaqueña y que tiene una gran tradición en la elaboración de pan artesanal, debido a que al proceso artesanal utilizan y las materias primas como el pulque y el horno de piedra; esta actividad tiene gran relevancia económica para las mujeres que la desarrollan, ya que representa la principal fuente importante de ingresos, estos negocios se clasifican dentro de las microempresas porque su plantilla de personal no sobrepasa los 10 colaboradores [18].

Dada la importancia económica que tienen las empresas rurales de pan artesanal, por su contribución en la creación de empleos y generación de ingresos para las mujeres de la comunidad, aunado al valor cultural que tiene el proceso de elaboración de este producto. Esta investigación tiene como objetivo diseñar un modelo de negocio basado en la Metodología Canvas para generar una propuesta de valor para los clientes de las empresas rurales de pan artesanal de Villa de Chilapa de Díaz, Oaxaca.

Metodología

Para el diseño de un modelo de negocio de las empresas rurales de pan artesanal, en este estudio se empleó la Metodología Canvas con el fin de integrar una propuesta de valor que ayude a este tipo de empresas a

 ISSN: 2007 8102

diferenciarse en el sector; esta herramienta facilita el análisis de dos áreas fundamentales: lo que el mercado quiere y lo que la empresa tiene que realizar, siendo la propuesta de valor la que conecta estas dos actividades.

El enfoque de la investigación, según Hernández [19] es de tipo cuantitativo porque se exploró la opinión de las personas que se dedican a la elaboración de pan, además de comprender las motivaciones de los clientes que compran este producto y las características de las empresas rurales de pan artesanal y con base en ello, generar la propuesta de valor. En cuanto al diseño, es explicativa porque se analizaron los factores que influyen en los gustos y preferencias de los clientes de pan artesanal; y transeccional descriptiva, porque la información se recopiló en un único momento.

Materiales

Para realizar esta investigación se diseñaron dos cuestionarios, uno dirigido a las microempresarias y otro para los clientes. El que se utilizó para recopilar información sobre las microempresarias se integró de dos partes: la primera contiene datos generales de la encuestada y de la panadería; y la segunda contiene 33 preguntas agrupadas en los nueve bloques del Modelo Canvas [propuesta de valor, segmento de mercado, canales, relaciones con los clientes, fuentes de ingresos, estructura de costos, recursos, actividades y socios clave].

El cuestionario enfocado a clientes se dividió en dos partes: la primera comprende los datos generales del encuestado y la segunda contiene 18 preguntas ligadas al segmento de mercado, la propuesta de valor y los canales.

Preparación

En esta investigación, los sujetos de estudio se analizaron en dos grupos. El primero estuvo conformado por nueve empresas rurales de pan artesanal ubicadas en Villa de Chilapa de Díaz, Oaxaca: cinco registradas en el DENUE y cuatro identificadas mediante observación directa; dado que la población es pequeña, se realizó un censo. No obstante, únicamente seis de las nueve microempresarias mostraron interés por participar en el estudio; las tres que no participaron indicaron que tenían excesiva carga de trabajo.

La información para obtener el marco muestral de los clientes que consumen pan, se obtuvo de la siguiente manera: de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020, Villa de Chilapa de Díaz cuenta con 1,239 habitantes [20], en el estudio se consideró a las personas que se encuentra en un rango de edad de 15 a 79 años; es decir, 842 habitantes; que multiplicado por el 25% 1 da como resultado 211. Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó la ecuación de poblaciones finitas [21] y se consideró un intervalo de confianza de Z=95%, un error de estimación del e=5%, una probabilidad a favor de p=50% y una probabilidad en contra de q=50%, obteniendo una muestra de 64 clientes. El período de recopilación de la información se realizó durante los días 21 de noviembre al 4 de diciembre de 2022.

Desarrollo

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la investigación, los cuales se obtuvieron a través de los cuestionarios aplicados]. Primeramente, en el Cuadro 1 se muestran la caracterización [22] de las microempresas de pan artesanal de Villa de Chilapa de Díaz, Oaxaca.

Característica	Descripción
Participación de la familia	Las panaderías de Villa de Chilapa de Díaz, Oaxaca son microempresas familiares operadas por miembros de la familia, esto es: la jefa de familia e hijos, también entre hermanas.
Giro principal	Producción de pan artesanal y su comercialización dentro de la misma localidad.
Hombre orquesta	Las panaderías son lideradas por una mujer, quien es responsable de dirigir y tomar decisiones sobre el negocio.

[1] De acuerdo con la Cámara Nacional de la Industria Panificadora [CANAINPA] (como se citó en SE, 2017), en México el 25 % de la población consume pan dulce.

 ISSN: 2007 8102

Continuación cuadro 1

Nepotismo	No se permite que el personal ajeno a la familia tome decisiones ni tenga conocimiento de la receta.
Administración	Esta función recaé sobre la dueña de la microempresa, aunque de manera empírica, porque se ha ido formando con base en la experiencia.
Capital y financiamiento	Las microempresarias utilizan como única fuente de financiamiento capital propio y en algunos casos, el que ofrece el proveedor.
Empleo	Las panaderías son generadoras de empleo al contratar personal externo, además de emplear a los miembros de la familia.
Constitución legal	Las panaderías operan en la informalidad, ya que no están constituidas legalmente.
Mercado	El mercado que se abarca es de Villa de Chilapa de Díaz, además de aquellas personas que visitan el municipio.

Cuadro 1. Principales Características de una panadería artesanal en Villa de Chilapa de Díaz, Oaxaca

Esta caracterización permite agrupar y generalizar su situación actual, de tal forma que esta información sea la base para la integración de cada uno de los elementos del modelo de negocios. Posteriormente, se definió el perfil de los clientes, de un total de 64 personas encuestadas, se identificó que el 25% se encuentra en un rango de edad entre 20-24 años, el 52% cuenta con educación media superior y el 48% está casado.

Resultados y propuesta

Microempresarias

Las microempresarias indicaron que su segmento de mercado son personas originarias de la misma comunidad; el 50% son personas que viven en Villa de Chilapa de Díaz, el 40% radica en otras ciudades, pero es originario de esta comunidad y el 10% restante son tiendas de abarrotes.

Para identificar la propuesta de valor se consideraron las características del pan y del establecimiento, por lo que, el 66% indicó que su pan se diferencia por el proceso artesanal y el sabor que se obtiene por el horno de leña. Las características del negocio que desde la percepción de las propietarias es importante para el cliente: el 44% señaló que es la frescura de los productos, el 22% el trato preferencial, el 50% por la prueba sin costo, el 33% ofrece descuentos a clientes frecuentes.

En cuanto a la forma en que las microempresarias dan a conocer el pan a sus clientes, el 45% de las participantes en el estudio mencionó que lo hace de puerta en puerta y el 22% mediante redes sociales. Para conocer cuál es el canal por medio del cual venden la mayor cantidad de pan, el 50% indicó las ventas a domicilio (a pie o mototaxi), el 33% en su propio establecimiento y el 17% en expendios, haciendo referencia a las tiendas de abarrotes.

Del total de las microempresarias encuestadas, el 67% respondió que la forma de evaluar el grado de satisfacción de sus clientes, es porque siguen comprando su producto; en tanto que el 33% indicó que se lo han afirmado, agregando que hasta el momento no han recibido alguna queja por parte de sus clientes. Además, señalaron que la relación que mantienen con sus clientes es en términos amables y de amistad.

Respecto a la fuente de ingresos, se les preguntó sobre su línea de producción para conocer la variedad de pan (ver figura 1), además del tipo que más se vende: a este respecto, el 83% refirió que es pan de capricho, mientras que el 17% indicó que sus clientes no tienen preferencia por algún tipo en especial.

 ISSN: 2007 8102

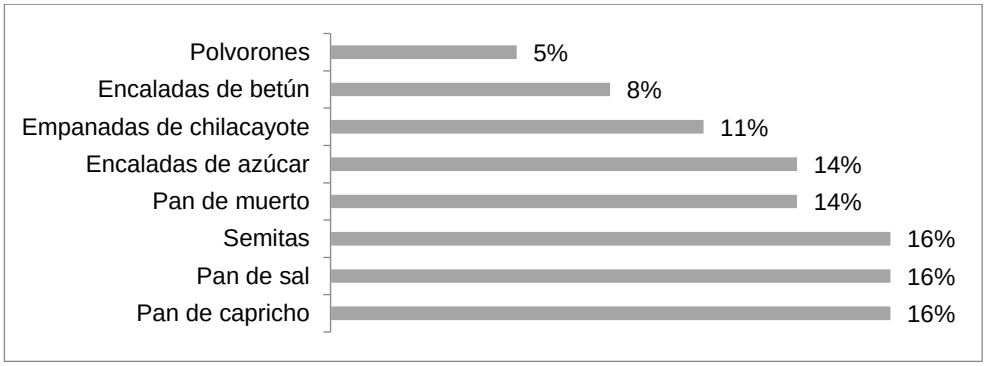


Figura 1. Variedad de pan que se vende en las panaderías

Los recursos clave de los cuales las panaderas se basan en ofrecer un producto artesanal de calidad: el 83% mencionó que es el horno de piedra que utiliza leña y el 17% dispone de un horno de gas debido al espacio del establecimiento. Aunado a esto, el 100% mencionó que el lugar donde se encuentra su panadería es de su propiedad.

En cuanto a las actividades clave que las microempresarias consideran importante: el 33% señaló que la materia prima de calidad, el 25% selección del proveedor, es decir, que éste tenga disponible en su inventario y el 17% busca que le otorguen crédito (ver figura 2).

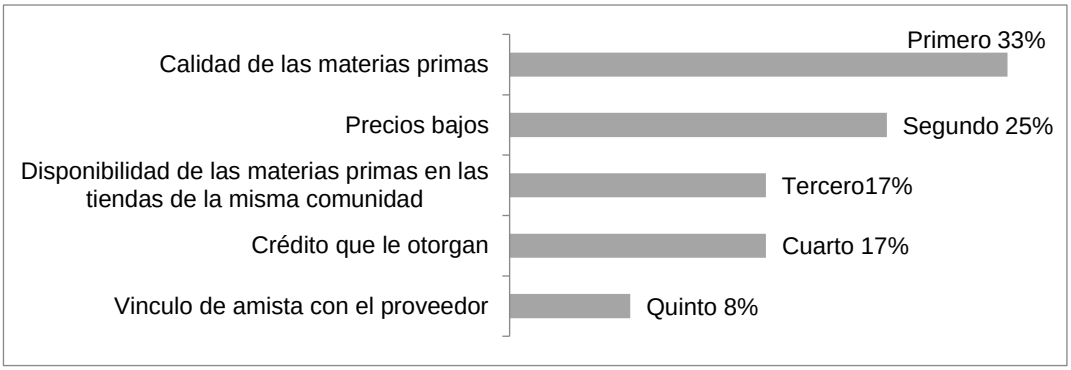


Figura 2. Criterios que toman en cuenta las microempresarias para comprar las materias primas

Respecto a otras actividades clave, el 83% de las microempresarias indicó que con la finalidad de que su negocio sea más productivo, comparten su experiencia o sus recetas con las personas que trabajan con ellas, porque consideran facilita el trabajo y de esta manera no tienen que explicar constantemente como elaborar los productos. El 67% de las panaderas con la finalidad de mejorar su proceso de producción toma en cuenta las ideas o sugerencias que realizan sus trabajadores.

En cuanto a las asociaciones clave, el 67% de las microempresarias contestó no realizar algún tipo de acuerdo con la competencia para establecer el precio del pan. Además, se indagó si están dispuestas a asociarse con otras panaderas para negociar mejores precios en la compra de materias primas, el 100% sí mostró interés.

La estructura de costos, se genera por la compra de materia prima, a este respecto el 66% menciona que el costo más caro de su producto es la materia prima, el 17% indicó que los servicios (luz, agua, teléfono e internet) y otro 17% no tiene conocimiento de sus costos.

Clientes

Para conocer los gustos y preferencias de los clientes, primero se identificó la demanda del consumo de pan, de acuerdo con la figura 3, el 32% indicó que consume pan todos los días, el 82% de los participantes en el estudio indicó que durante la mañana es cuando ingiere una mayor cantidad, el 10% señaló que, por la noche, 3% por la tarde. Respecto a la cantidad, el 79% refirió que una pieza y el 10% dos piezas

ISSN: 2007 8102

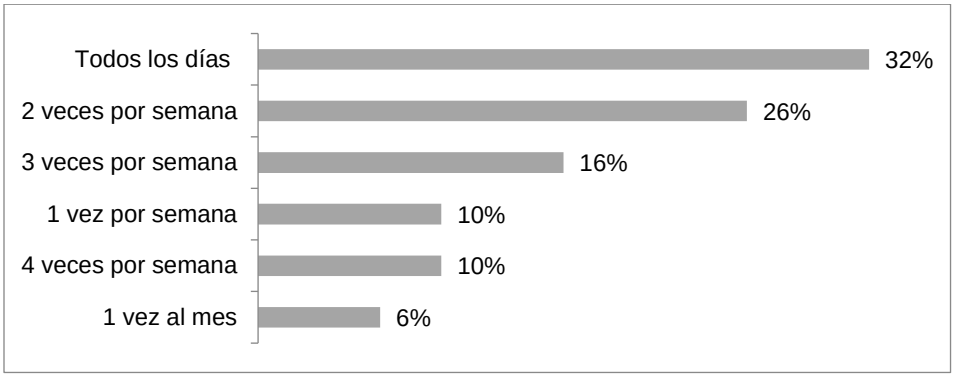


Figura 3. Frecuencia de consumo de pan

Respecto a la frecuencia de compra, el 36% de los clientes indicó que 2 veces por semana y únicamente el 8% suele comprarlo todos los días. Con relación a quién es la persona que realiza la compra; el 77% señaló que la jefa de familia, 13% el jefe de familia, 5% la esposa, y el 3% restante mencionó que cualquier integrante de la familia. Con la finalidad de conocer los productos complementarios que los clientes estarían dispuestos a adquirir, el 31% de los encuestados señaló que prefiere café, 21% atole y 20% chocolate.

Aunado a lo anterior, se preguntó sobre los productos que compran con mayor frecuencia; el 78% compra el pan tipo capricho, el 12% de sal, el 8% empanadas de chilacayote y el 2% restante pan dulce que no se elabora en Villa Chilapa de Díaz, tal como: conchas, cuernitos, besos, cacahuates, orejas, entre otros ver la Figura 4.



Figura 4. Tipo de pan que más se compra en Villa de Chilapa de Diaz

Los criterios que se tomaron en cuenta y que contribuyeron a definir la propuesta de valor, se dividen en dos grupos: a) las características que el consumidor busca en un pan, tales como el sabor, menos contenido de azúcar y elaborado en horno de leña; y b) características del negocio, que ofrezca productos frescos, orden y limpieza, variedad, servicio al cliente y cercanía con el domicilio del cliente.

En cuanto al canal de distribución, el 47% de los encuestados señaló que el lugar donde regularmente compra pan es la tienda de abarrotes, 32% en la panadería, un 19% con la persona que pasa por su casa y únicamente el 2% requiere que su pedido se entregue en su domicilio.

 ISSN: 2007 8102

Propuesta

Con la finalidad de que las microempresarias tengan una visión integradora de cada uno de los elementos que integran su modelo de negocios, en la figura 5, se muestra el Lienzo Canvas:

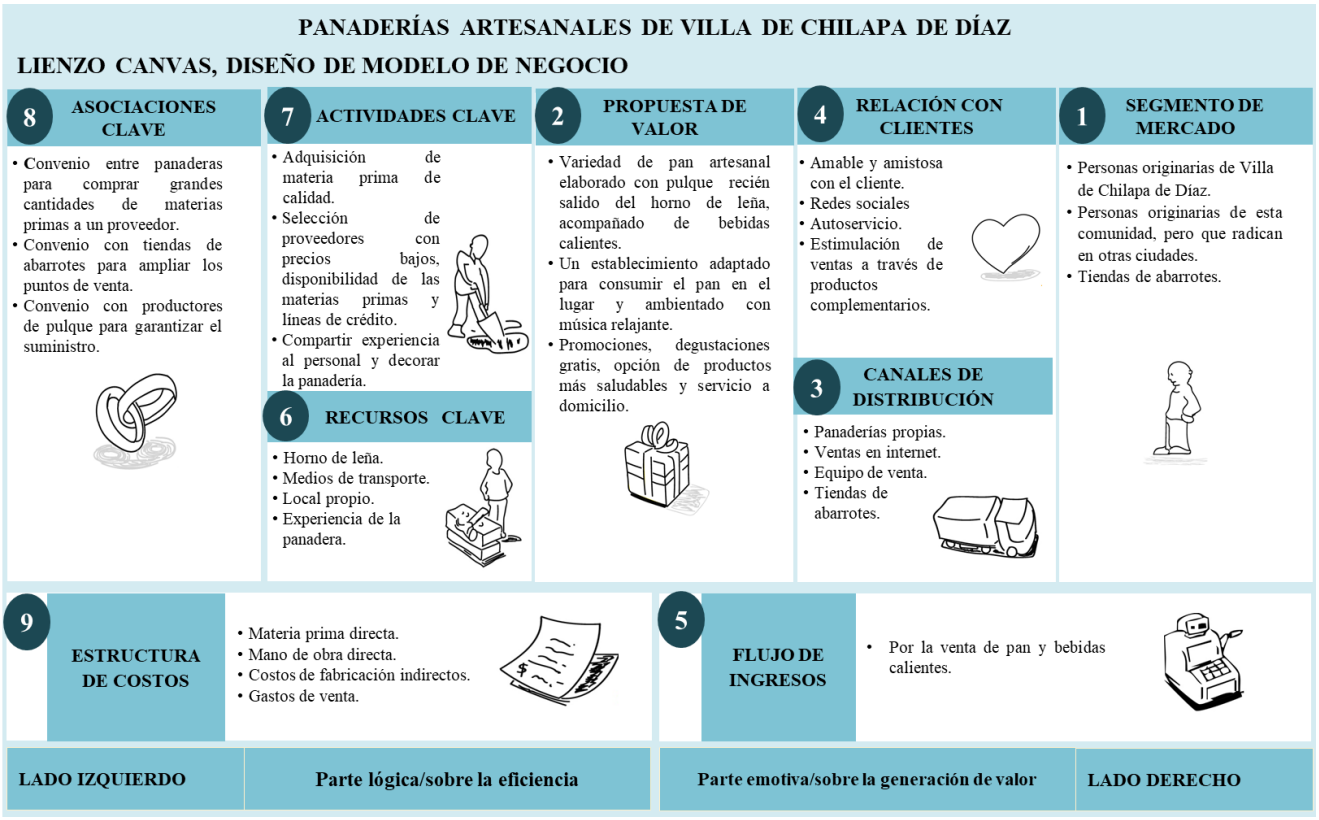


Figura 5. Propuesta del modelo de negocio para las panaderías artesanales

Esta propuesta integra los resultados de la investigación de campo, la cual se pretende sirva de guía para las microempresarias para que proporcionen valor a su segmento de mercado y a su vez contribuya en la generación de ventajas competitivas. A continuación, se describen cada uno de los nueve bloques del Lienzo Canvas:

Segmento de mercado: se define como un mercado de masas, debido a que no solo las personas de Villa de Chilapa de Díaz son el único grupo de consumidores, sino también alguna otra persona que visite este lugar. El pan artesanal es un producto que se ofrece tanto para clientes internos como externos de esta comunidad.

Propuesta de valor: se compone del encaje entre el perfil del cliente y el mapa de valor. Por ello, se sugiere diseñar estrategias de promoción para clientes frecuentes o aquellos que compran grandes cantidades de producto. Además, con la finalidad de mejorar la experiencia de compra del cliente, la microempresaria debe crear un ambiente agradable, para ello, se recomienda poner música de fondo para generar un ambiente en donde el cliente se sienta relajado y disfrute su estancia en el negocio.

Canales de distribución: integra del canal directo e indirecto. El canal directo es para aquellas panaderas que buscan tener un control total sobre sus productos, en este caso son: el local propio, las redes sociales como Facebook, WhatsApp y las vendedoras que ofrecen de puerta en puerta el pan recién horneado mientras que el canal indirecto requiere de socios comerciales que actúan como intermediarios para llevar el pan al cliente, aunque su desventaja radica en que no se tiene un control total de los productos y genera un menor beneficio para el negocio, pero permite tener una mayor cuota de mercado aprovechando los puntos fuertes de cada uno de los canales.

Relación con los clientes: las microempresarias definen una relación de tipo amable y amistosa con sus clientes. El objetivo es fortalecerla, por ello se propone una categoría de relación tipo autoservicio, la cual es viable para

una panadería, que consiste en proporcionar los medios necesarios al cliente para que escoja el pan que sea de su agrado.

Flujo de ingresos: la principal fuente de ingresos se genera por la venta del pan. Por ello, se proponen dos mecanismos de precio: uno fijo y uno dinámico: el primero, es para el cliente en general, el cual depende de la propuesta de valor; y el segundo, para las tiendas de abarrotes, este consiste en negociar un precio para que el socio clave obtenga un margen de ganancia. De igual modo, la venta de bebidas calientes también representa otra fuente de ingresos.

Recursos clave: son el activo que permite a las panaderías de Villa de Chilapa de Díaz producir su pan tradicional. Considerando los resultados obtenidos en esta investigación, la propuesta de recursos clave para las microempresas, se basa en los siguientes elementos:

- Recursos físicos: el horno de piedra porque ayuda a que el pan obtenga mejor sabor; y el horno de gas para aquellos establecimientos que tienen un menor espacio, además de que es fácil de instalar.
- Medios de transporte: mototaxi para la entrega de pedidos, este permite una distribución o entrega rápida.
- Local propio: esto implica que la panadería se encuentra en el domicilio de las microempresarias.
- Activos intangibles: se considera el conocimiento de las panaderas como ventaja distintiva del pan, debido a que, con el paso de los años, su experiencia las ha llevado a mejorar su conocimiento en el proceso de elaboración.

Actividades clave: se considera el proceso de producción, lo que lleva hacer las cosas con eficiencia, están relacionadas con la adquisición de materias primas de calidad, la búsqueda de precios bajos y proveedores que tengan disponibilidad de inventarios y ofrezcan créditos. Así como, el compartir experiencia con los colaboradores y decorar la panadería de acuerdo alguna fecha en específica del año.

Asociaciones clave: la alianza clave para las microempresarias busca generar economías de escala, incrementar los puntos de venta y garantizar el suministro de las materias primas. En este caso se sugieren tres asociaciones: a) entre las microempresarias para adquirir directamente con el proveedor grandes cantidades de materias primas como: harina, huevo y azúcar para disminuir costos; b) con los propietarios de las tiendas de abarrotes para la venta de pan; y c) con los productores de pulque.

Estructura de costos: está formada por los costos y gastos de operación que se generan en el proceso de elaboración y comercialización del pan. En este caso, se sugiere integrar el costo de producción por la materia prima directa, mano de obra directa y costos indirectos de fabricación. Además de lo anterior, es importante considerar los gastos que se generan por la venta del producto terminado.

Es importante señalar que, aunque los elementos de Lienzo Canvas se integran de manera independiente, no debe perderse de vista que cada decisión que se tome respecto a un módulo del modelo, tendrá una repercusión en uno o más bloques.

La definición de los elementos del lienzo Canvas permitirá a la microempresaria crear y capturar valor para los clientes y con ello, generar ingresos para maximizar los beneficios obtenidos por su actividad económica. Tal y como lo plantea Ricart [23] “El modelo de negocio, al conectar elecciones y consecuencias permite integrar en un solo elemento los aspectos de posicionamiento y sostenibilidad para lograr ventajas competitivas”.

Trabajo a futuro

Esta investigación da posibilidad a futuras líneas de investigación sobre el diseño de estrategias para cada uno de los módulos del Lienzo Canvas, que contribuyan al crecimiento y profesionalización de las empresas rurales de pan artesanal.

Conclusiones

Las empresas rurales de pan artesanal son de gran relevancia en la economía de una región, por su contribución en la generación de ingresos y empleos en poblaciones alejadas de la urbanización, lo que trae consigo, la mitigación de la pobreza. Además, del valor cultural que tiene este tipo de productos, no sólo para Villa Chilapa de Díaz sino para el estado de Oaxaca, porque mantiene la tradición en la elaboración del pan artesanal que es

 ISSN: 2007 8102

transmitida de generación en generación. Por tal motivo, está propuesta pretende que las microempresarias tengan un conocimiento claro de los elementos que integran su propuesta de valor, segmento de mercado, canales, relaciones con los clientes, fuentes de ingresos, estructura de costos, recursos, actividades y socios clave de su modelo de negocio, y con ello aumenten su competitividad en el mercado.

La propuesta Modelo de Negocio Canvas se integró a partir de dos áreas fundamentales en el ámbito de los negocios: el mercado y la empresa. Tras haber analizado el segmento de mercado, se identificaron las razones por las que los clientes prefieren determinada microempresa de pan artesanal, además de conocer sus gustos y preferencias:

- La variedad de pan: empanadas con rellenos de mermelada casera de fresa, piña y natilla, así como un pan con menos cantidad de azúcar.
- Productos complementarios: la venta de una línea de bebidas calientes.
- Servicio al cliente: ofrecer autoservicio y hacer la adaptación del lugar para que el cliente pueda disfrutar en el momento un pan recién salido del horno acompañado de una bebida caliente. Aunado a esto, también se identificó que, para generar una mejor experiencia de compra, el establecimiento debe ambientarse con música y acondicionarlo con mobiliario cómodo y agradable para el cliente.

De esta forma se define y complementa la propuesta de valor y se logra en el encaje con el cliente, objetivo principal de la metodología Canvas. Contar con un diferenciador permite a la microempresarias satisfacer las necesidades de sus clientes, que a su vez contribuye al fortalecimiento de su posicionamiento y sostenibilidad .

Con la investigación realizada, se detectó que las propietarias de las empresas rurales de pan artesanal tienen identificado claramente como operar su panadería y cómo atender a sus clientes, no obstante, existen áreas de oportunidad, las cuales con un programa de capacitación constante lograrán la profesionalización de sus negocios e incrementar sus ingresos.

Referencias

[1] International Fund for Agricultural Development, "Diez pequeñas empresas rurales que están generando un gran impacto", 2023. ¨[Online]. Disponible: https://www.ifad.org/ . ¨[Acceso en Jul. 12, 2023].

[2] P. Román, M. Hernández, A. León, D. M. Sangerman-Jarquín, "Capital social en empresas exitosas de desarrollo rural sustentable," Revista mexicana de ciencias agrícolas, vol. 8, no. SPE18, pp. 3769-3784, 2017.

[3] A. Díaz, G. Feliciano, J. N. Dávila y R. Pérez. “Análisis comparativo de empresas rurales y urbanas en el estado de México, México” Gestión I+D, vol. 3, no. 2, pp. 61-80, 2018.

[4] A. Osterwalder e Y. Pigneur, "Generación de modelos de negocio un manual para visionarios, revolucionarios y retadores”, 2010.

[5] E. Escobar, M. Ramírez, J. Gonzáles y D. Donoso, " Development of the canvas business model in micro-enterprises of the rural parishes of the Metropolitan District of Quito," Innova Research Journal, vol. 3, no. 2., pp. 46-52, 2018.

[6] F. J. C. Morán, M. P. Marcillo, L. D. R. B. Sánchez, C. Nahum y M. Avilés, "K-Means Neutrosófico para la segmentación de mercado."*Neutrosophics Computing and Machine Learning*, vol. 10, p.94, 2019.

[7] D. J. Martel-Zevallos, N. J. Salinas-Alejandro, R. V. Rasmuzzen-Santamaría y S. Maylle-Montalvo. “Propuesta de valor y el impacto del turismo. Un estudio en el centro poblado Las Pampas de Tomayquichua-Huánuco, Perú”, *Investigación Valdizana,* vol. 13, no. 3, pp. 128-134. Septiembre 2019.

[8] R. Sumba-Bustamante, M. Vinueza-Ramírez y T. Pibaque-Molina, “Canales de distribución en las ventas de limón de los productores de la parroquia Ayacucho, cantón Santa Ana, provincia de Manabí”, *Revista publicando,* vol. 8, no. 31, pp. 240-257, 2021.

[9] E. Guadarrama y E. M. Rosales, “Marketing Relacional: Valor, Satisfacción, Lealtad y Retención del Cliente. Análisis Y Reflexión Teórica”, *Ciencia y Sociedad*, vol.40, no.2, pp. 307-340. https://www.redalyc.org/pdf/870/87041161004.pdf.

[10] E. Hidalgo, Fuentes de ingreso para la idea de negocios plataforma virtual de servicios Sally en la provincia de Santa Elena, (Tesis de licenciatura), Faculta de ciencias Administrativas, Universidad Estatal Península de Santa Elena, La libertad, EC, 2021.

[11] A. Magallanes y A. Antonio, “Recursos clave y actividades claves para la idea de negocio Bike and Confort provincia de Santa Elena, cantón Santa Elena”, (Tesis de licenciatura), Facultad de Ciencias Administrativas, Universidad Estatal Península de Santa Elena, La libertad, EC, 2021.

[12] E. Bravo, M. Dini y M. Rueda, “La contribución de las asociaciones empresariales al desarrollo de las políticas productivas: elementos para la elaboración de un marco analítico”, 2020.
[13] O. Gomes, “Los costos y procesos de producción, opción estratégica de productividad y competitividad en la industria de confecciones infantiles de Bucaramanga”, *Revista Escuela de Administración de Negocios*, no. 70, pp. 167-180, enero-junio, 2011.
[14] T. Mendoza y A. Tello, “Modelo de negocios: ¿Cómo diseñarlos?, Huancayo: Universidad Continental, Fondo Editorial, 2019.
[15] Secretaría de Economía, "Conoce más sobre la industria panificadora en México", 2017. ¨[Online]. Disponible: https://www.gob.mx/se/ [Acceso en Jul. 12, 2023].
[16] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. “Elaboración de pan y otros productos de panadería”, 2020. [Online]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx [Acceso en Jul. 12, 2023].
[17] M. Colín, "Caracterización de las agroindustrias panaderas artesanales en la comunidad de Santa Cruz Cuauhtenco, Zinacantepec”, Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México, CDMX, 2018.
[18] L. Cano, “Problemas y Necesidades de las Microempresas Xalapeñas para Invertir en Agencias de Publicidad”, Tesis de maestría, Universidad Veracruzana, Veracruz, 2014.
[19] E. Hernández, C. Fernández y M. Baptista. “Metodología de la investigación”, México, McGraw-Hill, 2014.
[20] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. “Población total”, 2020. [Online]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx [Acceso en Jul. 12, 2023].
[21] R. Crespo. “Fórmulas y apuntes de Estadística aplicada a las ciencias sociales”, Ciencia sociológica, 2013.
[22] M. del R. Cortés. “Características comunes de las Micro pequeñas y medianas empresas en Latinoamérica y México”, Con-Ciencia Boletín Científico de la Escuela Preparatoria no. 3, vol. 6, no. 11, 2019.
[23] J. Ricart. “Modelo de Negocio: El eslabón perdido en la dirección estratégica”, Universia Business Review, tercer trimestre, 2009.

ISSN: 2007 8102

Punto de vista de los stakeholders acerca de las ciudades +B

Sainz Barajas M. T. [1], Chiñas Valencia J. J.[2], Aguirre Alemán M. G.[3], Vázquez Roque K. L. [4]*
Universidad Veracruzana[1] y tsainz@uv.mx[1], Universidad Veracruzana[2] y jchinas@uv.mx[2], Universidad Veracruzana[3] y gaguirre@uv.mx[3], Universidad Veracruzana[4] y zs18014577@estudiantes.uv.mx [4]

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

Es imperante que en el planeta, se incrementen las ciudades sustentables capaces de hacer uso equilibrado y racional de los recursos naturales, sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras; sin embargo, lograrlo demanda una participación ciudadana que no solo critique las problemáticas sociales, sino antes bien, que se ocupe en buscar y aplicar soluciones robustas que aminoren dichas penurias; es por ello, que surge la inquietud de realizar una investigación de tipo no experimental, transversal, descriptiva, correlacional y explicativa; cuyo objetivo consistió en diagnosticar la perspectiva de los stakeholders internos y externos con respecto a las ciudades +B, en el contexto de Coatzacoalcos. Entre los principales hallazgos, se puede afirmar que los encuestados, hasta el momento no cuentan con un amplio espectro sobre lo que son las ciudades +B; sin embargo, opinan que sí se están llevando a cabo acciones que coadyuban a logro de los ODS.
***Palabras clave**: Stakeholders, ODS, ciudades +B*

Abstract

It is imperative that sustainable cities increase on the planet, capable of making balanced and rational use of natural resources, without compromising the needs of future generations; However, achieving it requires citizen participation that not only criticizes social problems, but rather, that deals with seeking and applying robust solutions that reduce said hardships; That is why the concern arises to carry out a non-experimental, cross-sectional, descriptive, correlational and explanatory investigation; whose objective consisted of diagnosing the perspective of internal and external stakeholders regarding the cities + B, in the context of Coatzacoalcos. Among the main findings, it can be affirmed that the respondents, up to now, do not have a broad spectrum of what cities +B are; however, they believe that actions are being carried out that contribute to the achievement of the SDG.
***Key words**: Stakeholders, SDG, cities +B*

Introducción

De acuerdo con Abler, Adams y Gould [1] una ciudad es una organización espacial de personas y actividades especializadas, diseñadas para maximizar los intercambios, mientras que para Beaujeu y Chambot [2] es un agrupamiento cuyos medios de existencia consisten en la concentración de formas de trabajo que no están consagradas a la agricultura, sino al comercio y a la industria.

En las ciudades se materializa la calidad de vida de las personas, en ellas los problemas, así como los buenos momentos que hacen de la vida cotidiana una experiencia maravillosa se comparten por quienes las habitan; es por ello, que en 2017 se inicia con la transformación de las urbes que garanticen el bienestar de las personas y de la naturaleza, por lo que, se decide comenzar como prueba piloto en Río +B en Brasil, Santiago +B en Chile y Mendoza +B en Argentina, sentando así, las bases para el desarrollo del movimiento global llamado Ciudades +B [3].

Luego entonces, Coatzacoalcos, Veracruz al ser una ciudad en donde de acuerdo con el Gobierno de Coatzacoalcos [4], en 2020 existía una población total de 279,696 habitantes, donde el 6.12% de personas vivían en pobreza extrema; y que el 24.09% son considerados como no pobres y no vulnerables, lo que implica una brecha muy notable en los niveles socioeconómicos, debido a que el groso poblacional puede ser clasificado en tres diferentes estatus de penuria: pobreza, pobreza media o pobreza extrema. En lo que se refiere a las diversas carencias sociales, el 14.71% de la población presentan un rezago educativo promedio por hogar; el 23.67% carece de acceso a los servicios de salud; mientras que el 10.87% no cuentan con seguridad social. Por lo que respecta a la calidad y espacios de vivienda, el 10.46%, no poseen los servicios básicos y el 22.75% disfrutan de una alimentación; en este sentido el 55.02%, cuentan con un ingreso inferior a la línea de bienestar. En lo que se

 ISSN: 2007 8102

refiere al Índice de Desarrollo Humano (IDH), los años promedio de escolaridad ascienden a tan solo 9.4, los esperados de escolaridad están alrededor de 13.8 y la tasa de mortalidad infantil es igual a 13.0; en general, el índice de educación tiene un valor de 0.699, el indicador de ingreso de 0.904 y la tasa de salud de 0.798; en consecuencia, se obtiene un IDH de 0.796, lo cual revela en un nivel medio de desarrollo humano.

Esta narrativa, sin duda no demuestra un escenario óptimo, sin embargo, es posible vislumbrar una atmósfera que invita a trabajar de manera activa para sensibilizar y crear consciencia en las infancias, adolescencias y gente en la etapa de madurez, así como en los órganos sociales, políticos y económicos de la comunidad [5] en pro de garantizar el bienestar común de los habitantes, a través de una eficaz metamorfosis ciudadana.

Esta situación despierta el interés en indagar si los stakeholders pertenecientes a la ciudad de Coatzacoalcos están conscientes o tienen alguna idea de las acciones que se han llevado a cabo para el mejoramiento del bienestar social, ya que ellos son los actores sociales que tienen en sus manos la responsabilidad social de incidir en la transformación de las ciudades a metrópolis sostenibles, inteligentes o +B; es por ello, que el objetivo consistió en diagnosticar la percepción de los stakeholders internos y externos con respecto a las ciudades +B en el contexto de Coatzacoalcos, Veracruz.

Revisión de literatura

Teoría de los stakeholders o partes de interés

Stakolders, es un concepto acuñado por Robert Edward Freeman en 1980, quien lo define como todo individuo u organización presente o futuro que se ven afectados por la consumación de los objetivos de cualquier empresa, y por ello, siempre deben tomarse en cuenta durante la planeación estratégica de esta [6], [7], así mismo, son personas o gremios que tienen intereses y aspiraciones individuales, colectivos o universales, derivados de transacciones con dichos entes económicos, o bien, de actividades unilaterales [8].

En este sentido, de acuerdo con González [9], cada empresa tiene la obligación de identificar claramente a cada uno de sus grupos de interés, con la finalidad de reconocer a aquellos conocidos como stakeholders centrales por contar con una capacidad de interlocución válida, de tal manera que pueda influir en las decisiones y actividades de la empresa; expectativas urgentes y legítimas; entretanto, aquellos que solo cuenten con dos de estos tres atributos, serán clasificados como latentes, debido a que en cualquier momento, pueden convertirse en centrales y así, elementos esenciales en la determinación de las responsabilidades de la empresa.

Existe una diversidad de tipologías de stakeholders; sin embargo, aquí solo se describirá la mencionada por Moreno [7], y Navarro [10], debido a que es la que se adecúa al diseño de investigación planteado para tal efecto, misma que es con base a la vinculación con la empresa, designándolos en 10 categorías y denominándolos como stakeholders internos, a aquellos que están relacionados directamente con la empresa y externos, a los que no guardan una relación inmediata; las cuales se enlistan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tipología de los stakeholders con base a la correlación con la empresa

Stakeholders	Denominación	Concepto
Internos	Accionistas o propietarios	Personas que tienen la propiedad de una empresa
	Empleados	Individuos que desarrollan su trabajo en la organización
	Clientes	Aquellos que compran o consumen un bien o servicio comercializado
Externos	Distribuidores y socios comerciales	Comercializan productos, acercándolos a los clientes, ya sean compradores o consumidores
	Proveedores	Venden algo a la empresa para que esta pueda desarrollar sus actividades
	Competidores	Comercializan el mismo producto para los mismos clientes
	Agentes sociales	Grupos de interés público, que con su acción pueden influir en la forma de gestionar empresas
	Administraciones públicas	Legisladores, reguladores y poderes públicos, capaces de configurar el marco jurídico en el que las organizaciones desarrollan sus actividades

 ISSN: 2007 8102

	Comunidad local	Conjunto de entidades de iniciativa pública o privada, tales como iglesias, asociaciones vecinales, fundaciones, partidos políticos, prensa, etc.
	Público en general	Personas, organizaciones y consumidores en general, que influyen en las empresas, a través de la expresión de su opinión positiva o negativa

Fuente: **Adaptado con lo expuesto en** [7]**,** [10]

Como puede observarse, no hay persona alguna que quede excluida, es decir, cada uno de los integrantes de una comunidad, juegan un papel sustantivo para que la mutación ciudadana sea garantía, considerando a su vez, que dichos miembros viven, trabajan, se mueven consumen y contaminan en la urbe [5]. En este sentido, la ONU, en 2015 destinó un ODS enfocado a las Ciudades y Comunidades Sostenibles, pretendiendo conseguir que las ciudades o asentamientos sean inclusivos, seguros, resilientes y, sobre todo, sostenibles.

Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS)

Los ODS se crearon en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sustentable, que se llevó a cabo en 2012 con sede en Río de Janeiro, se adoptaron como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030; es por ello, que los 17 ODS están alojados en la Agenda 2030 y están interrelacionados entre sí, es decir, las intervenciones de un área afectarán los resultados de otras, por lo que es necesario la participación de todo el mundo para lograrlos, adicional, son indispensables la creatividad, el conocimiento, la tecnología y los recursos financieros de toda la sociedad para conseguirlos en cada ámbito [11].

La estructura de la Agenda 2030, se centra en cinco ejes centrales: 1) Personas (erradicar la pobreza y el hambre en todas sus formas, asegurando la dignidad e igualdad de la población); 2) Planeta (brindar la protección de los recursos naturales del mundo y detener el cambio climático, con el fin de certificar un ambiente meritorio para las próximas generaciones), Prosperidad (atestiguar que la humanidad pueda gozar de una existencia feliz y en completa concordia con el ecosistema), Paz (promover poblaciones sosegadas, imparciales e incluyentes) y Alianzas (a través de alianzas globales y fuertes, materializar la Agenda 2030). Cada uno de estos ejes, agrupa a los ODS que presentan una correlación estrecha, con el fin de trabajar en un tópico en específico y saber qué acciones llevar a cabo [12].

Ciudades +B

Ciudades +B es un movimiento global de ciudades que trabajan por ser cada vez más prósperas, sostenibles, inclusivas y resilientes. Este movimiento sigue avanzado a través del trabajo colaborativo entre aquellos sectores pertenecientes a la ciudad, es decir, empresas, el gobierno, emprendedores, innovadores sociales e incluso los ciudadanos y de esta manera impulsar un cambio cultural en el que se redefina la forma en que se asume la responsabilidad y el impacto en la calidad de vida de las personas, el medio ambiente y en las ciudades.

De esta forma, una Ciudad +B es un movimiento global diseñado para movilizar a cientos de miles de personas (ciudadanos y organizaciones) para colaborar en la búsqueda de los ODS, a través de una gobernanza descentralizada y de múltiples partes interesadas [13]. Esta corriente consiste en reunir a distintos actores de una ciudad, también conocidos como stakeholders, para crear un propósito compartido, donde se busque asegurar la participación de todos, contribuyendo con sus propios esfuerzos para lograr propósitos comunes.

Estas ciudades, también denominadas inteligentes o sustentables, tienen como objetivos [13]:

- Cultivar redes globales colaborativas: entre las urbes del mundo, fortalecer mallas integrales y colaborativas con el fin de compartir experiencias, conocimientos y aprendizajes.
- Cultivar redes locales colaborativas: construir redes locales con la participación de organizaciones públicas, privadas y de la sociedad civil, que comulguen con la traslación de habitantes, organizaciones y empresas en pro de una verdadera transición en sus ciudades, territorios y entornos.
- Construir equipos motores: cada ciudad, debe ocuparse en edificar colectivos multisectoriales impulsores, capaces de desempeñarse de una manera modular y estable, que pueda asegurar una ciudad más inclusiva, resiliente, próspera y sostenible.

 ISSN: 2007 8102

- Comprometer al sector privado con los desafíos de su ciudad: invitar a las empresas a que redefinan sus modelos de negocios, adoptando acciones para favorecer positivamente en la sociedad y en el ambiente.
- Buscar activamente sinergias: identificar a los agentes económicos más importantes de cada ciudad para implicarlos en trabajos colaborativos que persigan una meta común, auxiliándose de su posición en el mercado, como facilitador de variaciones reales y efectivas.

Metodología

Materiales

La ejecución de la investigación demandó el diseño de una indagatoria de tipo no experimental, transversal, descriptiva, correlacional y explicativa. Es no experimental cuantitativa, ya que estos estudios se realizan sin la manipulación de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos; es transversal descriptiva porque examina la repercusión de las modalidades, categorías o niveles de una o más variables en una población, es decir, son estudios puramente descriptivos; correlacional porque su propósito es conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en específico, y, finalmente, explicativa porque trata de determinar las causas de los hechos o fenómenos en estudio [14].

El instrumento de recopilación a utilizar será un cuestionario dirigido a los stakeholders tanto internos, como externos, mismo que ha sido confeccionado con base a lo estipulado en el documento llamado "¿Cómo logramos los Objetivos de Desarrollo Sostenible?" [3]. Está conformado por 46 ítems, divididos en tres secciones; en la primera alojan datos sociodemográficos para homogeneizar a la muestra, en la segunda, se localizan 19 expresiones vinculadas con las ciudades +B, medidos mediante la escala: 1=Totalmente en desacuerdo, 2=Desacuerdo, 3=Indiferente, 4=Acuerdo y 5=Totalmente de acuerdo; la última parte, se conforma por enunciados de corte dicotómico, que abordan acciones hacia el cumplimiento de los ODS. El análisis de confiabilidad del instrumento fue validada a través del coeficiente Alfa de Cronbach, en dos momentos, el primero, cuando fue sometido a una prueba piloto, arrojando un valor de 0.964 y el segundo, cuando ya fue aplicado a la muestra final, consiguiendo una cuantía de 0.916, lo que con base a lo estipulado por George y Mallery [15], permite afirmar que el instrumento de medición cuenta con un grado de fiabilidad excelente; adicional, resulta pertinente mencionar que a la par de la ejecución de la prueba piloto, el instrumento también estaba en un proceso de evaluación por parte de tres expertos en el tema y cuyas observaciones fueron aplicadas en la versión final.

Es relevante mencionar, que la población objetivo estuvo constituida por los habitantes de la ciudad de Coatzacoalcos, quienes juegan un papel protagónico en el contexto social; la estrategia de muestreo utilizada es no probabilística por conveniencia, debido al groso de la población y a la dificultad para evaluarla en su totalidad, permitiendo así que los sujetos de estudios puedan ser seleccionados con base a un juicio subjetivo, seleccionando las muestras que se encuentran convenientemente disponibles y fáciles de reclutar, en vez de hacer una selección al azar [16].

Resulta primordial aclarar, que para el análisis, los sujetos fueron categorizados como stakeholders internos y externos; luego entonces, el nivel de confiabilidad de la herramienta de la encuesta, fue medido mediante la resulta del coeficiente Alfa de Cronbach, obteniéndose para los grupos de interés internos un valor de 0.807 y para los externos 0.916; lo que indica que ambas estimaciones se localizan en el rango de bueno a excelente; garantizando así que el instrumento está recogiendo lo que el investigador pretende recabar [15].

Resultados y discusión

En las Tabla 2 y Tabla 3, se observan los datos de homogeneización de los stakeholders internos y externos respectivamente. En lo que respecta al género, en ambos casos, el 50% de los encuestados son mujeres y el 50% son hombres. Por lo que refiere a la edad, el groso se localiza entre los 15 y 44 años, lo que refleja que los individuos jóvenes, estuvieron dispuestos a participar. En cuanto al estado civil, prevalecieron las personas solteras, a las casadas. En relación con el nivel máximo de estudios, en la muestra correspondiente a los internos, hay personas sin estudios y en los externos, con doctorado; adicional, se puede atestiguar que estos últimos en su totalidad cuentan con un nivel de estudios más elevado que los internos. La muestra final, estuvo compuesta por 236 encuestados, de los cuales, 126 corresponden a los externos, repartidos en distribuidores y socios

 ISSN: 2007 8102

comerciales (12), proveedores (13), competidores (18), agentes sociales (13), administraciones públicas (14), comunidad local (14) y finalmente, público en general (42); entretanto, los internos, en accionistas/propietarios (28), empleados (45) y clientes (37).

Tabla 2. Datos sociodemográficos stakeholders internos

Variable	Frecuencia absoluta						Total
Género	Femenino				Masculino		
	55				55		
Edad	15-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65-74	
	24	22	25	20	14	5	
Estado civil	Soltero (a)				Casado (a)		
	61				49		110
Nivel máximo de estudios	Sin estudios	Primaria	Secundaria		Bachillerato	Licenciatura	
	3	25	57		19	6	
Stakeholders	Accionista/propietario	Empleados			Clientes		
	28	45			37		

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 25

Tabla 3. Datos sociodemográficos stakeholders externos

Variable	Frecuencia absoluta							Total
Género	Femenino				Masculino			
	63				63			
Edad	15-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65-74		
	33	21	23	31	15	3		
Estado civil	Soltero (a)				Casado (a)			
	65				61			
Nivel máximo de estudios	Secundaria	Bachillerato	Licenciatura		Maestría	Doctorado		126
	10	42	49		17	8		
Stakeholders	Distribuidores y socios comerciales	Proveedores	Competidores	Agentes sociales	Administraciones públicas	Comunidad local	Público en general	
	12	13	18	13	14	14	42	

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 25

En la Tabla 4, se enlistan las medias por ítem, así como las generales por clasificación universal de las partes interesadas. Los valores oscilan entre 3.7 y 4.4 (internos) y entre 3.7 y 4.2 (externos), lo que indica que los sujetos seleccionaron en su mayoría las alternativas con valor 3 (indiferente) y 4 (de acuerdo), establecidas en la escala de medición. Los stakeholders internos, consideran que los ciudadanos del ahora, tienen la capacidad de liderar el cambio en forma directa y no solo a través de sus representantes (media mayo 4.4); mientras que, en el caso de los externos, la media de 4.2, es la más alta, es decir, perciben que no se trata de cambiar a los gobernantes para que ellos a su vez cambien el mundo, sino que actuar coordinadamente para ser y hacer pasar los cambios que se quieren. En el caso de las medias menores, se encuentran los constructos 14, para el caso de los intrínsecos y 18 para los extrínsecos, ambos con media de 3.7, de los cuales, el primero hace alusión a si existe sinergia entre empresas, personas, proveedores, asociaciones, instancias de gobierno, en pro de la sostenibilidad y el segundo ha si identifican iniciativas que pueden convocar a miles de personas a participar colaborativamente en una IMIC (Iniciativa Masiva de Impacto Colectivo).

Existen coincidencias en ambas muestras, para dos valores de las medias, el primero de 4.0, para los cuestionamientos 3 (acepto los intereses y preocupaciones de las otras personas, aunque se opongan a las mías), 8 (considero que la ciudadanía ha desarrollado una gran fuerza para exigir los cambios que aseguren la dignidad, la paz, la justicia, la tolerancia, la igualdad o el bienestar) y, 19 (confío en que se pueden formar grupos motores multisectoriales, que trabajen en forma articulada y permanente para avanzar hacia el logro de una ciudad más inclusiva, resiliente, próspera y sostenible). En el segundo caso, se obtuvo una significación de 4.1 entre las frases 2 (cuento con sentido de pertenencia con mi ciudad/estado/país), 4 (muestro empatía con las personas de mi familia/comunidad/sociedad) y, 7 (creo que la ciudadanía está recurriendo a un poder creciente para marchar, organizarse y hacer valer con fuerza sus demandas). Por último, en las medias generales la diferencia es mínima de 0.1, lo que indica que los ciudadanos participantes están de acuerdo con las cuestiones relacionadas con las

 ISSN: 2007 8102

ciudades +B, es decir, concuerdan con que las alocuciones efectivamente están correlacionadas con lo que conforma a una ciudad +B.

Tabla 4. Medias generales por ítem de los stakeholders internos y externos sobre Ciudades +B

Variable	Media	
	Internos	Externos
1. Movimiento para movilizar a personas	4.2	4.1
2. Sentido de pertenencia	4.1	4.1
3. Intereses y preocupaciones	4.0	4.0
4. Empatía con las personas	4.1	4.1
5. Empresas privadas	4.2	4.1
6. Responsabilidad de empresas privadas	4.3	4.1
7. Poder creciente la ciudadanía	4.1	4.1
8. Desarrollo de una gran fuerza de la ciudadanía	4.0	4.0
9. Capacidad de liderar el cambio	4.4	4.0
10. Cambiar a los gobernantes	4.3	4.2
11. Partes del pasado	4.0	3.8
12. Procesos, procedimientos, hábitos y costumbres	4.2	4.0
13. Ciudad más inclusiva y sostenible	4.0	3.9
14. Sinergia entre partes	3.7	3.8
15. Impacto colectivo visible	4.0	4.1
16. Acciones colectivas	3.8	4.0
17. Iniciativas con financiamiento	4.1	4.0
18. Participar con una IMIC	3.8	3.7
19. Grupos motores multisectoriales	4.0	4.0
Media general	4.1	4.0

Fuente: **Elaboración propia a partir del análisis de los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 25**

Tabla 5. Frecuencias absolutas y relativas por ítem respecto a las acciones hacia el cumplimiento de los ODS

Stakeholders	Internos				Externos			
"En tu ciudad" existen empresas, personas, escuelas, proveedores, asociaciones e instancias del gobierno que estén realizando actividades, prácticas, espacios de acción en pro de:	SI		NO		SI		NO	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Crear empleos sostenibles	67	60.9	43	39.1	58	46	68	54
Promover la equidad de género	85	77.3	25	22.7	84	66.7	42	33.3
Reducción del desperdicio de comida	41	37.3	69	62.7	47	37.3	79	62.7
Apoyar a los agricultores locales	56	50.9	54	49.1	72	57.1	54	42.9
Garantizar una vida saludable	65	59.1	45	49.9	69	54.8	57	45.2
Promover el bienestar universal	62	56.4	48	43.6	52	41.3	74	58.7
Educar a los niños en la comunidad	80	72.7	30	27.3	79	62.7	47	37.3
Empoderar a las mujeres y niñas	79	71.8	31	28.2	78	61.9	48	38.1
Defender la igualdad de género	84	76.4	26	23.6	75	59.5	51	40.5
Limpiar el agua de los ríos y océanos	35	31.8	75	68.2	39	31	87	69
Adoptar la energía asequible y no contaminante	53	48.2	57	51.8	32	25.4	94	74.6
Favorecer el crecimiento económico	67	60.9	43	39.1	80	63.5	46	36.5
Invertir en la industria, innovación e infraestructura (carreteras, agua, saneamiento y electricidad)	73	66.4	37	33.6	70	55.6	56	44.4
Reducir las desigualdades	61	55.5	49	44.5	55	43.7	71	56.3
Participar en la conversión sostenible de ciudades y comunidades	68	61.8	42	38.2	48	38.1	78	61.9
Fomentar la producción y el consumo responsables	73	66.4	37	33.6	56	44.4	70	55.6
Incidir en la disminución del calentamiento global	46	41.8	64	58.2	36	28.6	90	71.4
Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible	47	42.7	63	57.3	37	29.4	89	70.6
Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad	42	38.2	68	61.8	30	23.8	96	76.2
Luchar en pro del acceso universal a la justicia y la construcción de instituciones responsables y eficaces a todos los niveles	64	58.2	46	41.8	51	40.5	75	59.5
Revitalizar alianzas para el desarrollo sostenible	57	51.8	53	48.2	55	43.7	71	56.3

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 25

Como se observa en la Tabla 5, los resultados relativos a las acciones que ellos identifican se están realizando en su ciudad y que abonan al cumplimiento de los ODS. Ambas muestras coinciden en las labores para promover la equidad de género con la tasa más alta. A su vez, comparten las opiniones relacionadas con las faenas para reducir el desperdicio por la comida, al obtener un resultado del 37.3%. En cuanto a las acciones para limpiar ríos y océanos, el 69% juzgan que no se están tomando medidas que favorezcan en su. En la participación en la

 ISSN: 2007 8102

conversión sostenible de ciudades y comunidades, el 61.8% de stakeholders internos, declaran que sí participan, mientras que, el 61.9% de los externos, afirman lo contrario. Esta vicisitud se vuelve a presentar en la incidencia de los stakeholders en la disminución del calentamiento global, debido a que el 41.8% de los internos sostienen que sí, mientras que el 71.4% de los externos aseveran que no. El 56.4% de los internos creen que, si se está promoviendo el bienestar universal, mientras que el 58.7% de los externos reflexionan lo contrario. La mayoría de los internos, con un 72.7% dictaminan que sí es está educando a los niños en la comunidad; mientras que la mayoría de los externos con un 76.2% certifican que no se está realizando una gestión sostenible de los bosques, una lucha contra la desertificación se está deteniendo o restituyendo la degradación de las tierras o interrumpiendo la pérdida de la biodiversidad.

Para la prueba de hipótesis se tomó en cuenta que las muestras poseen un tamaño de participación mayor a 50 [17], por lo cual se eligió la Z de Kolmogorov-Smirnov (Tabla 6) en donde se obtuvo un p-valor de 0.000; lo que demuestra que la distribución de los datos es no normal, esto tomando en cuenta que cuando es mayor a 0.05 es considerada una distribución normal. Con ello se determinó que el contraste de la hipótesis que se plantea se analizará con pruebas no paramétricas.

Tabla 6. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

Stakeholders		**Internos**		**Externos**	
		Stakeholders	Ciudad+B	Stakeholders	Ciudad+B
N		110	110	126	126
Parámetros normales[a,b]	Media	2.1	3.77	7.70	4.14
	Desv. Desviación	0.81218	1.011	2.125	0.787
Máximas diferencias extremas	Absoluto	0.213	0.262	0.194	0.293
	Positivo	0.213	0.166	0.139	0.247
	Negativo	-0.202	-0.262	-0.194	-0.293
Estadístico de prueba		0.213	0.262	0.194	0.293
Sig. asintótica(bilateral)		.000[c]	.000[c]	.000[c]	.000[c]

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 25

En la Tabla 7 se indica una significancia de 0.018 para los grupos de interés intrínsecos y de 0.761 para los extrínsecos, en ambos casos, esto revela que no existen diferencias significativas entre las percepciones de la aplicación de las ciudades +B en Coatzacoalcos con base a lo externado por los stakeholders internos y externos respectivamente, considerando de nueva cuenta como parámetro 0.05; por lo tanto, no es posible aceptar la hipótesis general de investigación, que enuncia que los stakeholders internos y externos de Coatzacoalcos, tienen una amplia perspectiva con respecto a las ciudades +B, debido a que las resultas reflejan lo contrario.

Tabla 7. Prueba de hipótesis a través de U de Mann-Whitey

Estadísticos de prueba		
	Stakeholders internos	Stakeholders externos
U de Mann-Whitney	349	239
W de Wilcoxon	1052	317
Z	-2.367	-0.304
Sig. asintótica(bilateral)	0.018	0.761

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 25

La conclusión con respecto a la hipótesis invitó a someter a los datos a un nuevo análisis, que coadyuvara en el óptimo entendimiento del fenómeno; por ende, se seleccionó el Análisis de Correspondencia Múltiples (ACM), que de acuerdo con [18], permite posicionar relacionalmente unidades de análisis conforme a un conjunto de variables y plasmar la multiplicidad resultante tanto gráfica como analíticamente. En la Tabla 8, se observa el resumen del modelo para el ACM. La varianza para el caso de los stakeholders internos en la dimensión 1, es de 33.149 y de la segunda es de 8.481, con la concatenación se obtiene un total de 41.63, a su vez, se presenta una varianza de los datos obtenidos de 20.815; para el suceso de los externos, se obtuvo para el caso de la dimensión 1, una estimación de 28.493 y en la dos, 9.065, dando como resulta de la adición 37.558, lo que implica que el modelo representa un 18.779 de la varianza del total de los datos obtenidos; por consiguiente, es posible afirmar, para ambos compendios, que los datos de los modelos relatan que el ACM será óptimo para visualizar la asociación entre las variables.

 ISSN: 2007 8102

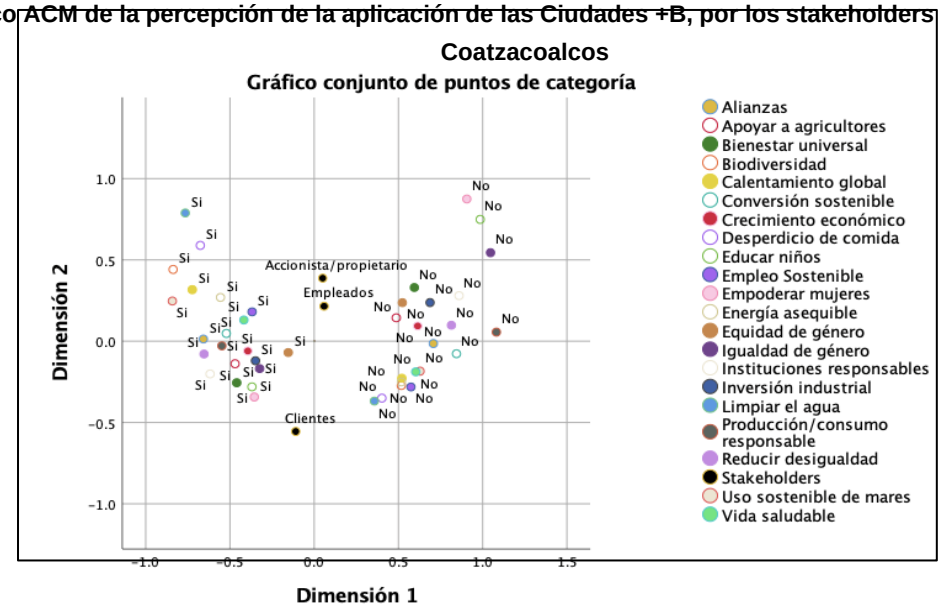
Tabla 8. Resumen del modelo para el ACM derivados de la prueba de X^2

Dimensión	Internos				Externos			
	Alfa de Cronbach	Varianza contabilizada para			Alfa de Cronbach	Varianza contabilizada para		
		Total (autovalor)	Inercia	% de varianza		Total (autovalor)	Inercia	% de varianza
x2	0.904	7.293	0.331	33.149	0.880	6.268	0.285	28.493
2	0.486	1.866	0.085	8.481	0.522	1.994	0.091	9.065
Total		9.159	0.416			8.263	0.376	
Media	.819[a]	4.579	0.208	20.815	.794a	4.131	0.188	18.779

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de los datos obtenidos del software IBM SPSS Statistics 25

En la Figura 1, se muestra el ACM correspondiente a la asociación entre las variables de estudio (stakeholders internos y su percepción con respecto a la aplicación de acciones en pro de una ciudad +B en Coatzacoalcos). La combinación de los ejes de la dimensión 1 (horizontal) y 2 (vertical) indican las asociaciones, y se muestra un poder explicativo que rebasa el 20% de la variabilidad total de las variables.

Figura 1. Gráfico ACM de la percepción de la aplicación de las Ciudades +B, por los stakeholders externos en Coatzacoalcos



Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de los datos obtenidos del IBM SPSS Statistics 25

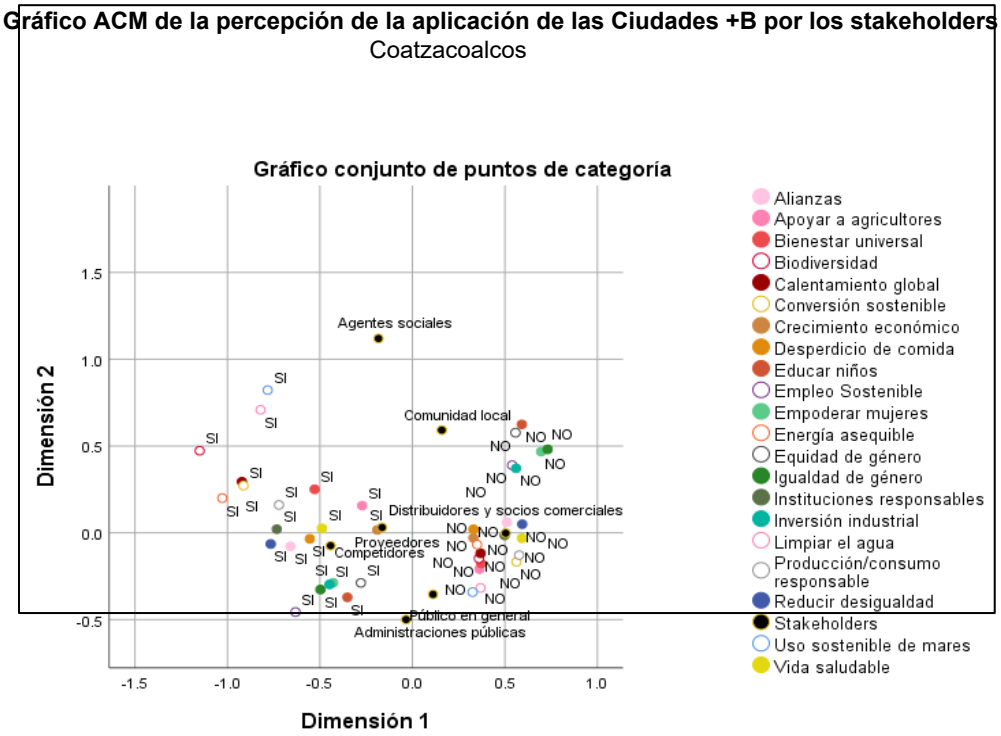
De acuerdo con la creación de empleos sostenibles, los que perciben que sí se está trabajando en ello son los accionistas/propietarios y los empleados; pero los clientes no. En lo que refiere a promover la equidad de género, empleados y clientes consideran que, si se están realizando acciones para lograrlo, mientras que para los accionistas o propietarios el 50% si lo cree y el otro 50% no.

Respecto a si se están aplicando acciones para reducir el desperdicio de la comida, los accionistas/propietarios tienen inclinación positiva, mientras que los empleados y clientes negativa. Se observa que los hechos que están más cerca de los clientes y que ellos consideran que sí se están ejecutando labores son: empoderar a las mujeres, buscar la igualdad de género eficaz, educar a los niños y el bienestar universal. Podría aseverarse, que los clientes de manera general presentan una visión más optimista que los accionistas/propietarios y los empleados, pues tienen una pequeña inclinación hacia el eje de las contestaciones vedadas. Mientras que para la cuestión de si se están realizando acciones orientadas a limpiar el agua de los ríos y océanos todos están más encaminados hacia el no. En cuanto a si se están aplicando acciones para fomentar la producción y el consumo responsable, los tres stakeholders internos coinciden en la aceptación; sin embargo, en lo que se menciona de la conservación y utilización de forma sostenible los océanos, todos tienen un sentir negativo.

En la Figura 2, se muestra el ACM correspondiente a la asociación entre las variables de estudio (stakeholders externos y la percepción de la aplicación de las ciudades +B en Coatzacoalcos). La combinación de los ejes de la dimensión 1 (horizontal) y 2 (vertical) indican las asociaciones, y se muestra un poder explicativo que rebasa el 18% de la variabilidad total de las variables. De manera inicial, se tiene que el público en general percibe que, si se están creando empleos sostenibles, promoviendo la equidad de género, educando a los niños de la comunidad, empoderando mujeres y niñas, defendiendo la igualdad de género e invirtiendo en la industria.

 ISSN: 2007 8102

Figura 2. Gráfico ACM de la percepción de la aplicación de las Ciudades +B por los stakeholders externos en Coatzacoalcos



Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de los datos obtenidos del IBM SPSS Statistics 25

En cuanto a la comunidad local solo está de acuerdo en que en Coatzacoalcos se está apoyando a los agricultores y limpiando el agua de ríos y mares. Respecto a las administraciones públicas, las personas perciben que, si se están creando empleos sostenibles, promoviendo la equidad de género, reduciendo el desperdicio de comida, garantizando la vida saludable, educando a los niños, empoderando a las mujeres y niñas, defendiendo la igualdad de género, favoreciendo el crecimiento económico, invirtiendo en la industria, y revitalizando alianzas.

Asimismo, se observa que los proveedores perciben una mayor aplicación acerca de la creación de empleos sostenibles, la promoción de equidad de género, la reducción del desperdicio de comida, el apoyo a los agricultores locales, el garantizar una vida saludable, la promoción del bienestar universal, la educación a los niños en la comunidad, el empoderamiento a las mujeres y niñas, la defensa de la igualdad de género, el favorecimiento al crecimiento económico, la inversión en la industria, la reducción de las desigualdades, la fomentación de la producción y el consumo responsables, la lucha en pro del acceso universal a la justicia y finalmente, a revitalizar alianzas. Sin embargo, estos no consideran que se esté limpiando el agua de los ríos y mares, que se esté adoptando la energía asequible, que haya una participación en la conversión sostenible, que se esté disminuyendo el calentamiento global, que se esté conservando los mares ni que se estén gestionando sostenibleme nte los bosques. Por otro lado, los distribuidores y socios comerciales están más orientados hacia el no en todas estas acciones, es decir, no consideran que se estén aplicando estas iniciativas en Coatzacoalcos. Los competidores, únicamente no consideran que se esté limpiando ni conservando el agua de ríos y mares ni que se estén gestionando sostenibleme nte los bosques; a diferencia de los agentes sociales, quienes puntualizan lo contrario.

Conclusiones

Si bien es cierto, ambas muestras indican que su percepción con respecto a lo que es una ciudad inteligente, sostenible o +B, es ligeramente suficiente, teniendo como punto de referencia las medias generales obtenidas para los grupos de interés internos y externos, las cuales ascienden a 4.1 y 4.0 respectivamente, y también, tomando en cuenta la escala utilizada, se podría afirmar, que están de acuerdo con los postulados que hacen alusión a lo que es una ciudad +B; no obstante, sí identifican que en su localidad se están llevando a cabo acciones que están encaminadas a apoyar a los ODS, sin que necesariamente su percepción esté alineada con este contexto.

Esta investigación, tan solo ha servido como un punto de partida en la realización de un autodiagnóstico social, que abone en la mutación de Coatzacoalcos, Veracruz, en una ciudad resiliente, capaz de reducir las

 ISSN: 2007 8102

vulnerabilidades y de construir un mejor lugar para vivir. Sin embargo, transformar una urbe en una ciudad +B, no es una cuestión sencilla que solo demande la actuación de unos pocos, sino antes bien, requiere de una actuación activa, valiosa y holística de todos y cada uno de los habitantes, debido a que en ellos debe solidificarsela idea de trabajar por un bienestar social que permita que todos los seres vivos presentes y futuros, puedan garantizar una sustentable calidad de vida.

Referencias

[1] R. Abler, J. S. Adams y P. Gould, Spatial organization. The Geographer´s view of de Word, Londres y Englewoods Cliffs: Prentice Hall International INC, 1972.

[2] J. Beaujeu Garnier y C. Chambot, Tratado de geografía urbana, Barcelona: Editorial Vicens-Vives, 1970.

[3] L. Maldonado, «Citiescanb.org,» 2021. [En línea]. Available: https://www.gulliver.cl/colaboracionextrema.

[4] Gobierno de Coatzacoalcos, «Veracruz.gob.mx,» 2022. [En línea]. Available: http://www.veracruz.gob.mx/finanzas/wp-content/uploads/sites/2/2022/PMD/PMD%20Coatzacoalcos.Veracruz.2022-2025.pdf.

[5] M. T. Sainz Barajas, J. J. Chiñas Valencia, M. G. Aguirre Alemán, M. A. Clara Zafra y M. F. Reyes Sánchez, «Ciudades +B desde la perspectiva de los stakeholders externos,» *Journal CIM,* vol. 10, nº 1, pp. 373-383, 2022.

[6] M. J. Herrera, J. M. Larrán y C. I. Martínez, «Relationship between corporative social responsability and competitive performance in Sanish SME´s: Empirical evidence form a stakeholders perspective,» *BRQ Business Research Quartely,* vol. 19, nº 1, pp. 55-72, 19 agosto 2016.

[7] P. Moreno, «Stakeholders y la Responsabilidad Social Corporativa,» de *El gobierno corporativo en Iberoamérica*, CYAN, 2015, pp. 475-538.

[8] J. Fernández y A. Bajo, «La Teoría del Stqakeholder o de los Grupos de Interés, pieza clave de la RSE, del éxito empresarial y de la sostenibilidad,» *Revista Internacional de Investigación en Comunicación aDResearch ESIC,* vol. 6, nº 6, pp. 130-143, 2012.

[9] E. González Esteban, «La teoría de los stakeholders. Un puente para el desarrollo práctico de la ética empresarial y de la responsabilidad social corportaiva,» *VERITAS Revista de Filosofía y Teología,* vol. 2, nº 17, pp. 205-224, 2007.

[10] F. Navarro, «Clasificación de Stakeholders y su influencia en la RSC,» *Revistadigital INESEM,* 2023.

[11] ONU, «Un.org,» 2023. [En línea]. Available: https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/page/objetivos-de-desarrollo-sostenible#:~:text=Los%2017%20Objetivos%20de%20Desarrollo,1%20de%20enero%20de%202016..

[12] CEPAL, «Biblioguias.cepal.org,» 2023. [En línea]. Available: https://biblioguias.cepal.org/c.php?g=447204&p=6366258#:~:text=La%20Agenda%202030%20se%20encuentra,%2C%20Prosperity%2C%20Peace%20and%20Partnerships..

[13] CITIESCANB, «Citiescanb.org,» 2023. [En línea]. Available: http://www.citiescanb.org/es#what-is-cities-can-b.

[14] R. Hernández Sampieri, Metodogía de la Investigación, México: Mc Graw Hill, 2014.

[15] M. George y P. Mallery, SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference., Boston: Allyn Bacon, 2003.

[16] T. Otzen y C. Manterola, «Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio,» *International Journal of Morphology,* vol. 35, nº 1, pp. 227-232, 2017.

[17] I. Pedrosa, J. Juarrros Basterretxea, A. Robles Fernández, J. Basteiro y E. García Cueto, «Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar?,» *Universitas Psychologica,* vol. 14, nº 1, pp. 245-254, 2015.

[18] V. H. Soria Algañaraz, «Sedici.unlp.edu.ar,» 2016. [En línea]. Available: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/54585/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

[19] Pacto Mundial Red España, «Pactomundial.org,» 2023. [En línea]. Available: https://www.pactomundial.org/ods/11-ciudades-y-comunidades-sostenibles/.

 ISSN: 2007 8102

Análisis del cierre de las tiendas de abarrotes en el estado de Colima, México durante el año 2022

Francisco Preciado Álvarez[1], Fabian Ojeda Pérez[2], Marco Antonio Sambrano Aguayo[3], Rocío de Jesús Moreno Meza[4]*
[1234]Universidad de Colima, [1]fpreciado0@ucol.mx, [2]fojeda@ucol.mx, [3]msambrano@ucol.mx, [4]morenomeza@ucol.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

El estudio titulado "Análisis del cierre de las tiendas de abarrotes en el estado de Colima, México durante el año 2022" persigue el objetivo de examinar las causas y efectos de la clausura de estos negocios locales. La metodología implementada consiste en tres instrumentos: una encuesta a clientes potenciales para discernir hábitos de consumo y preferencias, una dirigida a propietarios de negocios activos para entender los retos y estrategias exitosas, y otro a dueños de negocios inactivos para investigar los factores que precipitaron el cierre. El trabajo se realiza partiendo de un enfoque mixto, se recopilarán datos cuantitativos y cualitativos para su posterior análisis estadístico y de contenido, respectivamente. Se espera que los resultados proporcionen una visión comprensiva de la problemática, identifiquen los factores de riesgo y resiliencia empresarial, y propongan estrategias de intervención eficaces para fortalecer la economía local y la supervivencia de estas tiendas.

***Palabras clave**: Tiendas de abarrotes, microempresas, resiliencia.*

Abstract

The study titled "Analysis of the closure of grocery stores in the state of Colima, Mexico during the year 2022" pursues the objective of examining the causes and effects of the closure of these local businesses. The implemented methodology consists of three instruments: a survey to potential customers to discern consumption habits and preferences, one aimed at active business owners to understand challenges and successful strategies, and another to inactive business owners to investigate the factors that precipitated the closure. The work is conducted from a mixed approach, with both quantitative and qualitative data being collected for subsequent statistical and content analysis, respectively. It is expected that the results will provide a comprehensive understanding of the problem, identify risk factors and business resilience, and propose effective intervention strategies to strengthen the local economy and the survival of these stores.

***Key words**: Grocery stores, microenterprises, resilience.*

Introducción

La economía del estado de Colima, México, comparte con otras regiones del país una dependencia notable en las microempresas, especialmente en las tiendas de abarrotes. Estos pequeños comercios, arraigados en la estructura económica local desde hace décadas, no sólo ofrecen empleo y generan ingresos, sino que también constituyen una fuente indispensable de bienes esenciales para la comunidad [1].

La historia de las tiendas de abarrotes en Colima se entrelaza con la vida diaria de sus habitantes. Desde el siglo pasado, estas tiendas han sido un pilar en la economía regional, facilitando el acceso a productos básicos y fortaleciendo lazos comunitarios. Su papel se ha mantenido constante, adaptándose a las cambiantes circunstancias económicas y sociales [2].

Posterior a la pandemia de COVID-19, en el año 2022, se observó una tendencia al repunte de los ingresos percibidos en estas tiendas [3]. Sin embargo, la razón detrás de este incremento requiere un análisis más profundo, ya que podría deberse a la reducción de unidades económicas del mismo giro, o al cierre y las bajas ventas de tiendas importantes de cadenas reconocidas [4]. Este fenómeno plantea importantes interrogantes

 ISSN: 2007 8102

sobre la salud económica de la región, y sus implicaciones pueden ser trascendentales, afectando tanto a los propietarios de las tiendas como a la comunidad en su conjunto.

El problema que motiva esta investigación se articula en la pregunta central: ¿Por qué están cerrando las tiendas de abarrotes en Colima, y cuáles son las implicaciones económicas y sociales de este fenómeno? Además, se pretende explorar: ¿Qué factores de resiliencia pueden ayudar a estos negocios a sobrevivir y prosperar?

El objetivo de este estudio es analizar con profundidad las causas y los efectos del cierre de las tiendas de abarrotes en Colima, y explorar estrategias que podrían contribuir a su supervivencia y éxito. Se plantea como hipótesis principal que una combinación de factores económicos, sociales y de gestión puede estar contribuyendo al cierre de estas tiendas, y que el desarrollo y la implementación de estrategias basadas en la resiliencia empresarial pueden ayudar a incrementar los ingresos y mantener operando estos negocios.

La realización de este trabajo es considerada de suma importancia, dado que el cierre de las tiendas de abarrotes puede tener un impacto significativo en la economía local y en el bienestar de la comunidad. Al entender mejor las causas de este fenómeno y las estrategias que pueden ayudar a prevenirlo, se pueden desarrollar políticas y prácticas más eficaces para apoyar la supervivencia y el crecimiento de estas microempresas vitales en la región de Colima.

Metodología

Diseño del estudio

Este estudio de investigación, de carácter descriptivo y transversal, adopta un enfoque de análisis de datos mixto, integrando metodologías cuantitativas y cualitativas. Dada la naturaleza no manipulativa de los datos, se categoriza como investigación no experimental [5]. Se emplea un proceso deductivo, complementado por un análisis documental que se desarrolla de manera general a particular [6].

Para la recopilación de datos, se implementaron cuestionarios de selección múltiple, los cuales se determinaron como los más apropiados para el contexto de esta investigación, dichos instrumentos fueron sometidos a un proceso de validación que consistió en la aplicación de pruebas piloto a muestras pequeñas, esto permitió mejorar la consistencia y claridad, así como corregir errores en las preguntas [7]. Identificamos tres grupos poblacionales clave que podrían aportar información: a) los propietarios de tiendas actualmente en operación, b) los consumidores potenciales, y c) los propietarios de tiendas que han cesado sus operaciones.

Operacionalización de los Instrumentos

Para la definición de los instrumentos que se realizarán, se procede a diseñar una matriz que permite la operación de los tres instrumentos [8], la cual queda plasmada en la tabla 1.

Tabla 1. Matriz de operacionalización de los instrumentos

Propósito del instrumento	Definición del constructo	Dimensiones	Indicadores	Método de medición
Conocer las conductas en el consumo de los prospectos a clientes de tiendas de abarrotes en el estado de Colima, México	Conducta de consumo en tiendas de abarrotes	Preferencias de productos	Porcentaje de clientes que buscan productos de la canasta básica, frituras, golosinas, botanas, bebidas alcohólicas	Encuesta
		Tendencias de compra por año y establecimiento	Porcentajes de compras en Bodega Aurrera, Soriana Mercado, Tiendas mayoristas, Fuera del estado, Tiendas	Encuesta

 ISSN: 2007 8102

			de abarrotes (2018-2022)	
		Razones para cambio de establecimiento	Porcentaje de clientes que cambiaron de establecimiento por precios, ubicación, mal servicio, inseguridad, tiempos, escasa variedad	Encuesta
Conocer las conductas de los ex propietarios de tiendas de abarrotes en el estado de Colima, México.	Duración de la operación de negocios	Años en operación	Porcentaje de negocios operando durante 2 años, 3-5 años, 5-10 años, 10 años o más	Encuesta
	Variación de clientes	Cambio en la clientela en los últimos 3 años	Porcentaje que mencionó reducción, no variación, incremento	Encuesta
	Apoyo y planificación del negocio	Solicitud de apoyo económico o asesoría; Plan de desarrollo; Control de egresos e ingresos; Local propio	Porcentaje que solicitó apoyo; Porcentaje con plan de desarrollo; Porcentaje con control de egresos e ingresos; Porcentaje con local propio	Encuesta
	Razones para cerrar negocios	Motivos del cierre	Porcentaje por cuestiones de salud, falta de apoyos, sobrepoblación de negocios similares, etc.	Pregunta abierta agrupada en categorías
	Razones para la preferencia de los clientes	Motivos por los cuales los clientes acudían	Porcentaje por servicio, crédito, ubicación, variedad de productos, precio	Pregunta abierta agrupada en categorías
Conocer las conductas de los propietarios activos de tiendas de abarrotes en el estado de Colima, México	Años de operación	El tiempo que los negocios han estado operando	Años operando agrupados	Número de años operando
	Variación de clientes	Cambios en la cantidad de clientes en los últimos 3 años	Incremento, reducción o no hubo cambios	Encuesta
	Apoyo de gobierno	Si se han recibido o no apoyos del gobierno	Si / No	Encuesta

 ISSN: 2007 8102

Factores de Reducción de Ingresos	Razones por las cuales se han reducido los ingresos.	Sobrepoblación, Inseguridad, Precios	Encuesta
Planificación y Control del Negocio	Existencia de plan de desarrollo a cinco años y registro de ingresos y egresos.	Plan a 5 años, Registro de ingresos y egresos	Encuesta
Operación del Local	Si los propietarios operan en local propio o rentado.	Propio o rentado	Encuesta
Percepciones de los Clientes	Lo que los propietarios consideran que sus clientes buscan o esperan en sus establecimientos.	Servicio y Atención, Ubicación	Respuestas abiertas agrupadas en categorías principales: énfasis en servicio y atención, énfasis en ubicación.

Cálculo de las muestras

Considerando las tres poblaciones distintas, se realiza el cálculo del tamaño de la muestra necesaria para cada una de ellas de forma independiente:

a) Población A: clientes potenciales, se identifica una población de 734,000 habitantes [9], por lo que se requiere encuestar a 281 personas para obtener resultados con un 92% de confianza y un 8% de margen de error [10].
b) Población B: Propietarios de tiendas inactivas, resulta complejo identificar la población, dado que al ser tiendas de abarrotes que ya no están operando, no se encuentran publicadas en bases de datos, por lo que se hace un cruce de un listado parcial de negocios del 2021 con uno actualizado del 2022, identificándose un total de 17 unidades inactivas.
c) Población C: Propietarios de tiendas activas, se identifica una población de 3,195 unidades económicas [11], por lo que se requiere encuestar a 96 propietarios de negocios para poder obtener resultados con un 90% de confianza y un 10% de margen de error.

Resultados

Clientes potenciales

De los resultados obtenidos en el instrumento se destaca que el 85.5% de los encuestados buscan en las tiendas de abarrotes principalmente productos de la canasta básica, mientras que el 9.7% buscan algún tipo de frituras, golosinas o botanas, el resto (4.8%) mencionan buscar específicamente bebidas alcohólicas.

Se hizo una serie de cuestionamientos a los clientes sobre los lugares donde realizaban habitualmente sus compras del 2018 a la fecha de la realización del estudio (2022), los resultados se presentan en la tabla 2 de manera organizada por año.

Tabla 2. Lugares donde los encuestados realizaron sus compras de 2018 a 2022.

Establecimiento	2018	2020	2022
Bodega Aurrera o Bodeguita	27.1%	22.2%	19.6%
Soriana Mercado o Express	12.2%	11%	10.5%
Tiendas mayoristas (Sams Club, City Club)	2.6%	2.3%	2.2%
Fuera del estado	0%	0%	0%

 ISSN: 2007 8102

Tiendas de abarrotes	58.1%	64.5%	67.7%

Se puede observar en la tabla 2 una clara tendencia al incremento en la realización de compras en tiendas de abarrotes, lo que es congruente en la tendencia identificada en la investigación documental plasmada en la introducción. Cuando se les cuestionó sobre las razones por las cuales cambian de establecimiento para realizar sus compras el 62.9% mencionaron que a razón principal ha sido por los precios, seguido de un 12.9% que mencionaron que dejaron de comprar en ciertos establecimientos por la ubicación, el resto de las razones se dividía entre una experiencia de mal servicio, la inseguridad, los tiempos y la escasa variedad de productos.

Expropietarios de negocios inactivos

El 60% de los encuestados mencionaron que sus negocios estuvieron operando durante 2 años, el 18% mencionó que tenían entre 3 y 5 años, el 12% entre 5 y 10 años y el resto mencionaron tener 10 años o más operando. Cuando se les preguntó sobre la variación de los clientes en los últimos 3 años, el 63.2% mencionaron que se había reducido, el 22.8% dijeron que no hubo variación y el 14% mencionó que se incrementó.

Se les preguntó si durante el periodo en que estuvieron operando, habían solicitado algún apoyo económico o de asesoría de alguna dependencia de gobierno o universitarias, el 100% mencionó que no. Se les preguntó también si contaban con un plan de desarrollo del negocio, el 100% respondieron que no, el 62% mencionaron que llevaban un control y registro de sus egresos e ingresos, el 100% operaron en local o espacio propio.

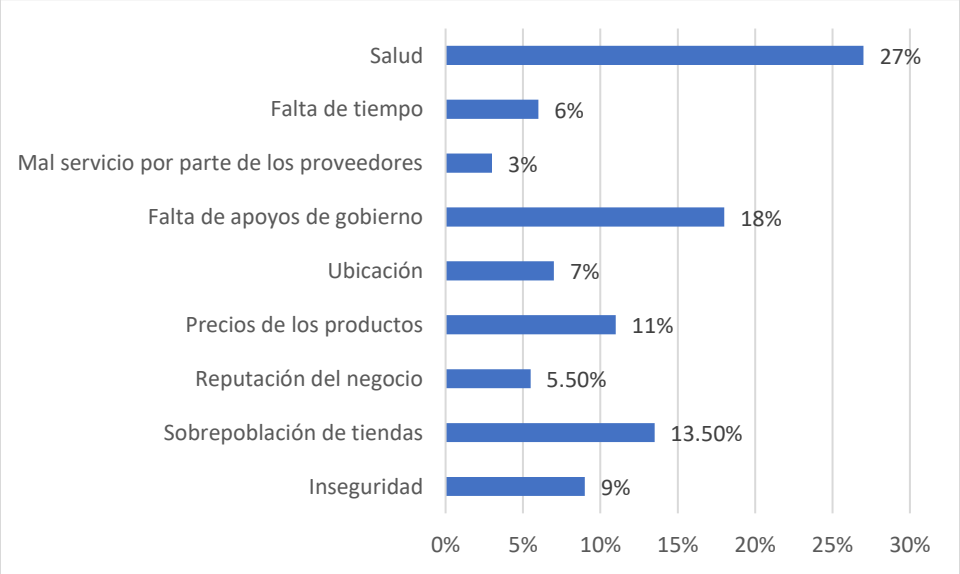


Figura 1. Razones por las cuales decidieron cerrar las tiendas de abarrotes los expropietarios.

Cuando se les cuestionó de manera abierta sobre los factores que influyeron para llegar a la decisión de cerrar sus negocios, los encuestados dieron una serie de argumentos que fueron agrupados como se muestra en la figura 1. Se observa que la gran mayoría de los expropietarios comentan que cerraron sus negocios por cuestiones de salud, seguido que por la falta de apoyos de gobierno y en tercer lugar la sobrepoblación de negocios del mismo giro en el área circundante a su negocio.

 ISSN: 2007 8102

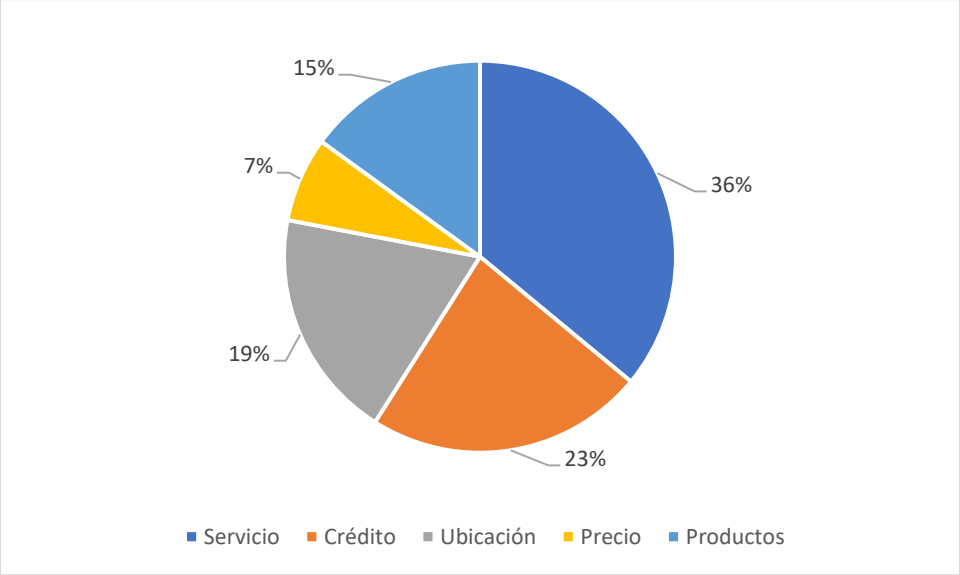


Figura 2. Razones por las cuales consideran los expropietarios de tiendas de abarrotes que los clientes acudían a sus negocios.

Finalmente, se les realizó la pregunta abierta sobre razón por la que consideran que los clientes acudían a su establecimiento (figura 2), las respuestas se agruparon en cinco criterios principales, siendo el primero de estos el servicio, seguido del crédito, posteriormente la ubicación, la variedad de productos y el precio.

Propietarios de negocios activos

Se les cuestionó sobre el número de años que tenían operando el negocio, se identificaron 3 negocios que tenían menos de 1 año, hubo 17 negocios que tenían entre 1 y 10 años operando, y el resto de los encuestados (76) tienen más de 10 años laborando. Al preguntarles sobre la variación de los clientes en los últimos 3 años, el 36.8% dicen que no han tenido cambios, el 31.6% dicen que se han incrementado y el 31.6% dicen que se han reducido. Al preguntárseles si han recibido algún apoyo por parte del gobierno, el 84.2% dijeron que no, y el 15.8% dijeron que sí.

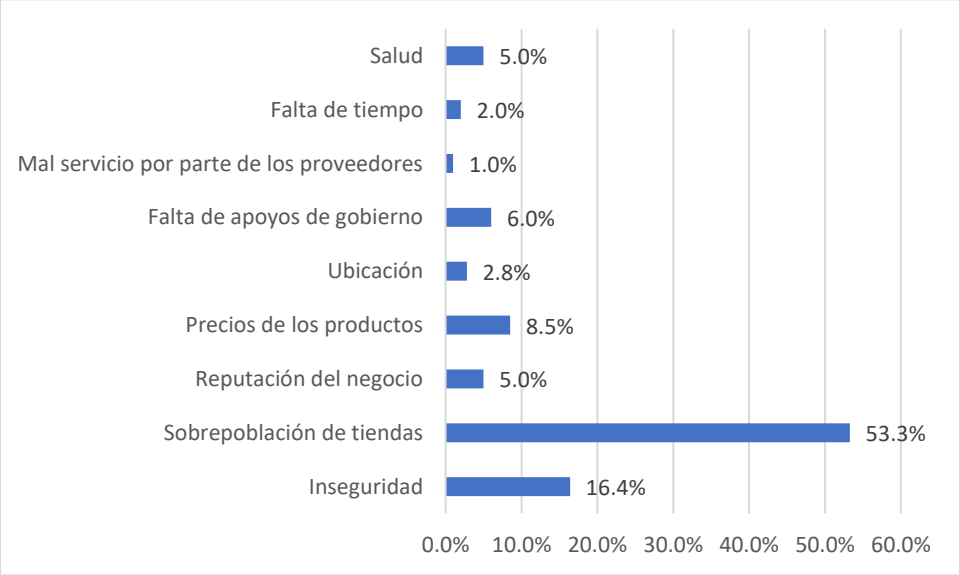


Figura 3. Factores que consideran han mermado en los ingresos de las tiendas de abarrotes.

 ISSN: 2007 8102

Al preguntarles sobre las razones por las cuales consideran que se han visto reducido sus ingresos, la mayoría indicó que, por la sobrepoblación de tiendas del mismo giro en sus zonas, seguido de la inseguridad y los precios de los productos (figura 3).

También se les preguntó si contaban con un plan de desarrollo del negocio a cinco años y el 97.3% mencionaron que no, mientras que el resto dijo que sí; y respecto a llevar un registro y control de ingresos y egresos, mencionaron el 52.6% que, si lo llevaban, mientras que el 47.4% dijeron que no lo hacían; también el 94.7% mencionaron que operan en local propio, mientras que el resto (5.3%) dijeron que rentaban el espacio. Finalmente, cuando se les cuestionó de manera abierta, de acuerdo con su perspectiva, que consideraban que sus clientes buscaban o esperaban al realizar las compras en sus establecimientos, la mayoría hizo énfasis en el servicio y la atención, seguido de la ubicación.

Discusión

Se ha identificado un contraste entre las respuestas de los clientes y las experiencias de los propietarios tanto de las tiendas de abarrotes activas como inactivas, según los datos recopilados.

Los resultados muestran que los clientes tienden a preferir las tiendas de abarrotes para comprar principalmente productos de la canasta básica, independientemente de los precios. Esta tendencia se refleja en los informes de los propietarios de tiendas activas, aunque contrasta con los informes de los propietarios de tiendas inactivas, quienes han informado de una disminución en la clientela.

En cuanto a los expropietarios de negocios inactivos, los datos señalan que cerraron sus negocios principalmente debido a problemas de salud, falta de apoyo gubernamental y sobrepoblación de negocios similares. De manera similar, los propietarios de negocios activos también citaron la sobrepoblación de tiendas similares y la inseguridad como factores que reducen los ingresos.

Además, los datos sugieren que las percepciones de los dueños de tiendas sobre por qué los clientes prefieren sus establecimientos están alineadas con las opiniones de los clientes, destacando el servicio y la atención como factores clave. En contraste, los datos de los expropietarios de tiendas inactivas indican que la mayoría no tenía un plan de desarrollo del negocio ni llevaban un registro de sus ingresos y gastos.

El análisis también revela que la falta de apoyo gubernamental fue un factor recurrente entre los propietarios de tiendas inactivas y activas. Esto sugiere la posibilidad de que las políticas gubernamentales o programas de apoyo puedan influir positivamente en la supervivencia de las tiendas de abarrotes.

Por lo anterior, se observa que los hallazgos subrayan la importancia de factores como el buen servicio y la atención, una gestión adecuada y el apoyo gubernamental en la supervivencia y éxito de las tiendas de abarrotes. Los resultados también destacan la complejidad del entorno en el que operan estos negocios, subrayando la necesidad de una comprensión más profunda y holística de los factores en juego.

Trabajo a futuro

El presente estudio aporta una valiosa comprensión de la problemática que enfrentan las tiendas de abarrotes en el estado de Colima, pero también resalta áreas que requieren futuras investigaciones, como son:

La elaboración de un estudio longitudinal que permita dar un seguimiento del desempeño y los cambios en las tiendas de abarrotes con el tiempo, lo que permitirá identificar tendencias y patrones a largo plazo.

Un análisis de eficacia de los programas de apoyo del gobierno que pudieran aplicar a este tipo de negocios, desde las estrategias de difusión de los programas, los procesos para acceder a los apoyos, la eficiencia de la intervención y los resultados obtenidos.

Por otra parte, un estudio que permita extender la investigación a otras regiones de México permitirá identificar si los factores señalados en el presente, son específicos de Colima o aplicables en un contexto más amplio.

 ISSN: 2007 8102

Conclusiones

Este estudio ha proporcionado una perspectiva detallada sobre la problemática que enfrentan las tiendas de abarrotes en el estado de Colima, México. A partir de la recopilación de datos cuantitativos y cualitativos y su análisis meticuloso, se han confirmado las siguientes conclusiones:

Respecto a la pregunta "¿Qué factores de resiliencia pueden ayudar a estos negocios a sobrevivir y prosperar?": La investigación demuestra que los factores clave de resiliencia que pueden contribuir a la supervivencia y prosperidad de estos negocios incluyen: planificación estratégica, gestión financiera sólida, diversificación de productos y servicios, buena relación con la comunidad, acceso a redes de apoyo, innovación continua, formación y capacitación.

En respuesta a "¿Por qué están cerrando las tiendas de abarrotes en Colima, y cuáles son las implicaciones económicas y sociales de este fenómeno?": Los hallazgos confirman que el cierre de tiendas de abarrotes en Colima es resultado de:

Cuestiones de salud: La investigación demuestra que los problemas de salud han llevado a muchos propietarios a cerrar sus negocios. Esto puede indicar la presión y el estrés asociados con la propiedad de una pequeña empresa.

Falta de apoyo gubernamental: Se ha confirmado la falta de apoyo gubernamental, incluyendo acceso a préstamos o subsidios, como un factor en la decisión de cerrar.

Sobrepoblación de tiendas del mismo giro: Los datos demuestran que la sobrepoblación de negocios similares en las mismas áreas ha contribuido al cierre de tiendas, lo que indica una saturación del mercado.

Las implicancias económicas y sociales identificadas incluyen: pérdida de empleos, pérdida de un recurso comunitario vital, reducción de la competencia y aumento de los precios, disminución del acceso a alimentos.

Respecto a la hipótesis inicial:
Los resultados del estudio validan la hipótesis de que una combinación de factores económicos, sociales y de gestión está contribuyendo al cierre de estas tiendas, y que el desarrollo y la implementación de estrategias basadas en la resiliencia empresarial pueden ayudar a incrementar los ingresos y mantener estos negocios en operación.

Los hallazgos demuestran que la competencia y la falta de apoyo financiero son factores económicos primordiales. Se ha demostrado que la gestión inadecuada y factores sociales como problemas de salud y cambios en los hábitos de compra son contribuyentes al cierre de las tiendas.

En cuanto a la resiliencia empresarial, los resultados respaldan la afirmación de que estrategias enfocadas en atención al cliente, ubicación y variedad de productos son vitales.

En conclusión, los hallazgos de esta investigación corroboran la hipótesis principal. Sin embargo, se sugiere realizar más investigaciones para desarrollar y probar estrategias de resiliencia empresarial efectivas en este contexto particular.

Referencias

[1] Tenjo Beltrán, J. W. (2019). Innovación y gestión de la identidad en tiendas de abarrotes en México y Colombia. Sintaxis, (3), 96–112. https://doi.org/10.36105/stx.2019n3.05

[2] González, R. F., Polanco, M. (2015). Análisis de la elección del consumidor entre tiendas de conveniencia y tiendas de abarrotes en Colima. Uso del modelo de regresión multinomial logit. Paradigma económico, 7 (2), pp. 27-46.

[3] Nayarit Noticias. (10 de abril de 2023). Ventas en tiendas de abarrotes se recuperan tras la pandemia. https://nayaritnoticias.com/2023/04/10/ventas-en-tiendas-de-abarrotes-se-recuperan-tras-la-pandemia/

[4] Perú Retail. (2023, mayo 31). Walmart anuncia otro cierre de una de sus tiendas y CEO advierte que vendrán más. https://www.peru-retail.com/walmart-anuncia-otro-cierre-de-una-de-sus-tiendas-y-ceo-advierte-que-vendran-mas/

ISSN: 2007 8102

[5] Nicomedes, E. (2018). Tipos de investigación. Universidad Santo Domingo de Guzman. https://core.ac.uk/display/250080756?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1
[6] Loayza-Maturrano, E. F. (2020). La investigación cualitativa en Ciencias Humanas y Educación. Criterios para elaborar artículos científicos. Educare et Comunicare, 8 (2), 56 – 66. https://www.aacademica.org/edward.faustino.loayza.maturrano/16.pdf
[7] Chaux, A. (2021). Validación de instrumentos de medición. https://alcideschaux.com/c%C3%B3mo-validar-un-instrumento-de-medici%C3%B3n-32e8a20e626
[8] Townsend Valencia, José. (2021). De lo abstracto a lo concreto en la construcción de una matriz de operacionalización. Revista Universidad y Sociedad, 13(5), 586-595 http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000500586&lng=es&tlng=es.
[9] INEGI (2022). Población del estado de Colima. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
[10] Rendón, M. E. (2017). El protocolo de investigación V: el cálculo del tamaño de la muestra. Revista Alergia México, vol. 64 (2). https://doi.org/10.29262/ram.v64i2.267
[11] DENUE (2022). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Economicas. Instituto Nacional de Estadística y Geografía

 ISSN: 2007 8102

Validez de instrumento para medir la cultura social inclusiva respecto a discapacidad: Juicio de expertos

M. Sampayo Cárcamo[1], M.P. Quintero Fuentes[2], M. A. Limón Díaz[3], J.E. Romero Lezama[4], N. Chiunti González[5]
[1,2,4,5] Colegio Interdisciplinario de Especialización-Departamento del Doctorado en Ciencias de la Gestión Estratégica-Calle, Rio Suchiate # 5910 entre calle Grijalva y Avenida Circunvalación. Col. Jardines de San Manuel. C.P. 72570 Puebla, Puebla.
[1,3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, Av. Tecnológico No 80, 5 de octubre, 73174 Huauchinango, Pue.
[4] Petróleos Mexicanos, Subdirección de Tecnologías de Información, Gerencia de Continuidad Operativa, SCADA T.I. Mendoza. Autopista México-Córdoba, km.260.5. El Encinar, Nogales, Ver. 94720.
[5]Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Avenida Universidad 350, 94910 Cuitláhuac, Ver.

[1]m.sampayo.carcamo@gmail.com, [2] prof.martha.quintero@colegiointer.edu.mx
[3]miguel.ld@huauchinango.tecnm.mx, [4]jose.romero.21@colegiointer.edu.mx
[5]nayeli.chiunti.22@colegiointer.edu.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

El objetivo de la investigación, es realizar la validez de contenido de un instrumento de medición a través de Juicio de expertos, para medir la cultura social inclusiva. El instrumento fue diseñado en 2 secciones, la primera contiene los datos sociodemográficos, y la segunda establece 3 dimensiones para medir la cultura inclusiva que son: cultura social inclusiva, actitud personal hacia la inclusión y discriminación. El instrumento fue validado por 5 expertos en el área. Resultados: se determinó la concordancia entre expertos de las variables sociodemográficas mediante el I-CVI=1 y la concordancia de las dimensiones de la variable de cultura inclusiva mediante kappa de Fleiss con una concordancia moderada (K>0.306), excepto por la dimensión de discriminación (K<0.146) y por una fuerza W de Kendall > 0.400. El instrumento final quedó estructurado con 12 variables sociodemográficas y 32 ítems del constructo de cultura social inclusiva.

***Palabras clave**: cultura social inclusiva, juicio de expertos, Kappa de Fleiss, W de Kendall*

Abstract (150 *words at most, Arial 10*)

The objective of the research is to carry out the content validity of a measurement instrument through expert judgment, to measure inclusive social culture. The instrument was designed in 2 sections, the first contains the sociodemographic data and the second establishes 3 dimensions to measure inclusive culture that are: inclusive social culture, personal attitude towards inclusion and discrimination. The instrument was validated by 5 experts in the area. Results: the agreement between experts of the sociodemographic variables was determined using the I-CVI=1 and the agreement of the dimensions of the inclusive culture variable using Fleiss' kappa with a moderate agreement (K>0.306), except for the dimension of discrimination (K<0.146) and by a Kendall's W force > 0.400. The final instrument was structured with 12 sociodemographic variables and 32 items of the inclusive social culture construct.

 ISSN: 2007 8102

***Key words**: inclusive social culture, expert judgment, Fleiss's Kappa, Kendall's W*

Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) al 2023, aproximadamente de 1300 millones de personas en el mundo viven con algún tipo de discapacidad, aproximadamente el 16% de la población mundial. Cifra que va en aumento debido al envejecimiento de la población y al crecimiento de enfermedades no transmisibles [1].

México, al igual que muchos otros países miembros de la ONU (Organización de Naciones Unidas) adoptaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, donde se comprometieron a lograr los 14 ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) para no dejar nadie atrás, incluidas las personas con discapacidad, para ello se desarrolló la Estrategia de Inclusión de la Discapacidad 2022-2025, por la Oficina de Coordinación del desarrollo de las Naciones Unidas [2].

Los ODS que apoyan la inclusión de las personas con discapacidad son el número 4: Educación de calidad, 8: Trabajo decente y crecimiento económico, 10: Reducción de las desigualdades, 11: Ciudades y comunidades sostenibles y 17: Alianzas para lograr los objetivos [3].

La cultura es conjunto de rasgos de comportamiento aprendidos que las personas de una comunidad exhiben y comparten. Los ideales, conceptos y reglas de comportamiento que determinan lo que es bueno, malo, deseable o rechazable son sus componentes fundamentales [4].

La inclusión es un término utilizado últimamente de manera común en muchos ámbitos de desarrollo humano, como legislativo, educativo, social, salud, comunicación y otros, sin embargo, practicar la inclusión se convierte en todo un reto, pues el propósito principal del término es combatir la exclusión, discriminación y desigualdades presentes en muchos sistemas del mundo, es decir la exclusión social [5]. La cultura inclusiva es una lucha contra la desigualdad y la exploración de procesos de construcción social a través del fomento de valores como la colaboración, respeto, igualdad, justicia y solidaridad [6].

Un instrumento de medición es un conjunto de técnicas que permiten una asignación numérica que pueda ponderar las expresiones de un constructo que solo es medible de manera indirecta [7].

Todo instrumento que se utiliza para realizar investigación debe ser confiable y estar validado, para ello hay diversas formas como validez de constructo, de criterio y de contenido [8].

La validez de contenido es el de estado de aceptación que los ítems de un instrumento de evaluación son relevantes y representativos de un constructo especifico [9] [10].; mencionado en [11]. Haynes nos explica los términos del concepto de validez de contenido [9]. El termino ítems de un instrumento, son los indicadores individuales que forman parte de una dimensión o área de estudio del constructo. El grado de aceptación es un juicio con base cuantitativa a través de expertos del constructo estudiado. El constructo es la variable no observable, la cual es el propósito de la medición.

El ”juicio de experto” es un método común para evaluar la validez de contenido, el cual consiste en exhortar a un grupo de personas expertas evaluar un instrumento con el propósito de analizar la exactitud con que mide a un constructo especifico [11] [12]. Dicho proceso permitirá identificar los ítems y dimensiones adecuadas que conformaran el constructo, con base en su relevancia y representatividad [13].

 ISSN: 2007 8102

El experto e un individuo con experiencia en un tema determinado, cuyo conocimiento le permite emitir una opinión al respecto. [14]. El juicio de expertos, se define como una opinión informada de personas con experiencia en el tema, que son reconocidas como expertos calificados en el tema y que pueden proporcionar información, evidencia, juicios y evaluaciones, es un método de validación útil para confirmar la fiabilidad de la investigación [15]. El número necesario para el juicio de expertos son distintos, el número de expertos recomendado difiere entre los investigadores, [16] [17] recomiendan un número mínimo de tres, mientras que [18] consideran que veinte es un número razonable.

El objetivo de la investigación es realizar la validez de contenido de un instrumento para medir la cultura inclusiva, a través de Juicio de expertos.

Metodología

La presente investigación es un estudio psicométrico de validez de contenido mediante juicio de expertos.

Participantes

La selección de la muestra es no probabilística, por conveniencia; contando con la participación de 5 expertos, que aceptaron participar voluntariamente; de los cuales 2 tienen una formación académica con posgrado, 1 con maestría, 2 con licenciatura y 4 con más de 20 años de experiencia tratando con personas con discapacidad visual; 2 son hombres y 3 mujeres; además 2 participantes se encuentran en situación de discapacidad, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Expertos, áreas de conocimiento, experiencia y situación de discapacidad

Experto	Área de conocimiento	Experiencia laboral	Discapacidad
1	Dr. En Educación	23 años	Si
2	Dra. en Educación	20 años	No
3	Mtra. en Psicopedagogía	25 años	Si
4	Lic. en Psicología	22 años	No
5	Lic. en Psicología	21 años	No

Instrumentos

Se utilizó una plantilla [15] para registrar las opiniones de los expertos respecto al instrumento a validar y por medio de la aplicación de una entrevista se logró conocer el juicio de cada experto.

Procedimiento

El instrumento a validar consta de 12 variables sociodemográficas y 33 ítems, divididos en 3 dimensiones que son: cultura inclusiva, actitud personal hacia la inclusión y discriminación, con 15, 12 y 6 ítems respectivamente;

1. Mediante el formato de [15] se preparó la plantilla, para que los expertos validaran los datos sociodemográficos en 1 criterio: relevancia y las dimensiones en 3 criterios: coherencia, relevancia y claridad.

 ISSN: 2007 8102

2. Se seleccionó a los expertos, se les proporcionó la plantilla y mediante una entrevista mixta, (2 expertos de forma presencial y 3 a distancia) validaron el instrumento.

3. Los expertos revisan las instrucciones de la plantilla, los criterios y la puntuación correspondiente según su percepción que va de 1 a 4, donde 1 indica un aspecto más negativo y 4 más positivo, como se observa en la figura 1, además se les invita hacer uso del espacio de observaciones para ampliar su opinión.

CATEGORIA	CALIFICACIÓN	INDICADOR
SUFICIENCIA Los ítems que pertenecen a una misma dimensión bastan para obtener la medición de ésta	1. No cumple con el criterio 2. Bajo Nivel 3. Moderado nivel 4. Alto nivel	Los ítems no son suficientes para medir la dimensión Los ítems miden algún aspecto de la dimensión, pero no corresponden con la dimensión total Se deben incrementar algunos ítems para poder evaluar la dimensión completamente. Los ítems son suficientes
CLARIDAD El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.	1. No cumple con el criterio 2. Bajo Nivel 3. Moderado nivel 4. Alto nivel	El ítem no es claro El ítem requiere bastantes modificaciones o una modificación muy grande en el uso de las palabras de acuerdo con su significado o por el orden de las mismas. Se requiere una modificación muy específica de algunos de los términos del ítem. El ítem es claro, tiene semántica y sintaxis adecuada.
COHERENCIA El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo.	1. No cumple con el criterio 2. Bajo Nivel 3. Moderado nivel 4. Alto nivel	El ítem no tiene relación lógica con la dimensión El ítem tiene una relación tangencial con la dimensión. El ítem tiene una relación moderada con la dimensión que está midiendo. El ítem se encuentra completamente relacionado con la dimensión que está midiendo.
RELEVANCIA El ítem es esencial o importante, es decir debe ser incluido	1. No cumple con el criterio 2. Bajo Nivel 3. Moderado nivel 4. Alto nivel	El ítem puede ser eliminado sin que se vea afectada la medición de la dimensión El ítem tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo lo que mide éste. El ítem es relativamente importante. El ítem es muy relevante y debe ser incluido.

Figura 1. Criterio y escala de puntuación para los expertos. Tomado de [15]

4. Para el manejo de los datos de las variables sociodemográficas, antes de realizar el cálculo del CVI la tasa de relevancia debe ser recodificada como 1 (escala de relevancia de 3 o 4) ó 0 (escala de relevancia de 1 o 2). [19] Se procedió hacer los cálculos del I-CVI y del S-CVI.

En la tabla 2 se observa el número recomendado de expertos, con su respectiva puntuación de corte aceptable del índice de validez de contenido.

Tabla 2. El número de expertos y los valores de corte aceptables del CVI. Tomado de [19].

Numero de expertos	Valores CVI aceptables	Fuente de recomendación
Dos expertos	Al menos 0.80	Davis (1992)
Tres a cinco expertos	Podría ser 1	Polit& Beck (2006), Polit *et al*., (2007)
Al menos seis expertos	Al menos 0.83	Polit& Beck (2006), Polit *et al*., (2007)
Seis a ocho expertos	Al menos 0.84	Lynn (1986)
Al menos 9 expertos	Al menos 0.78	Lynn (1986)

 ISSN: 2007 8102

5. Los datos obtenidos de las dimensiones, fueron ordenados en hojas de Excel de Microsoft 365 para su mejor manejo, posteriormente se procesaron en el programa SPSS versión 26, donde mediante el estadístico el coeficiente Kappa de Fleiss y el coeficiente de concordancia de W. de Kendall como estadísticos de análisis, se obtuvo el grado de concordancia entre los 5 evaluadores. Para interpretar el coeficiente resultante de Kappa de Fleiss, se consideró la escala de Landis y Koch donde se observa cualitativamente el grado de concordancia entre los evaluadores como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Valoración del coeficiente kappa. Tomado de [20]

Coeficiente Kappa de Fleiss	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0.1-0.20	Leve
0.21-0.40	Aceptable
0.41-0.60	Moderada
0.61-0.80	Considerable
0.81-1.0	Casi perfecta

Resultados y discusión

Resultados

La Tabla 4 muestra los resultados de la escala de relevancia de las variables sociodemográficas, obteniendo valores aceptables para I-CVI=1, para cinco expertos según [19]

Tabla 4. Calificaciones de relevancia en la escala de ítems por cinco expertos

Ítem	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5	Exp en acuerdo	I-CVI
Edad	1	1	1	1	1	5	1
Género biológico	1	1	1	1	1	5	1
Ocupación	1	1	1	1	1	5	1
Colonia de residencia	1	1	1	1	1	5	1
Nivel académico	1	1	1	1	1	5	1
Se encuentra en situación de discapacidad	1	1	1	1	1	5	1
Conoce alguna persona en situación de discapacidad	1	1	1	1	1	5	1
Su conocido es compañero (a) de escuela o trabajo	1	1	1	1	1	5	1
Su conocido trabaja	1	1	1	1	1	5	1
Su conocido es menor de edad	1	1	1	1	1	5	1
Su conocido es familiar suyo	1	1	1	1	1	5	1
Su conocido tiene alguna formación escolar	1	1	1	1	1	5	1
						S-CVI/AVE	**1**

Como se puede observar en la Tabla 5, el coeficiente de Kappa de Fleiss, muestra una fuerza de concordancia entre los expertos de leve a considerable, la dimensión de Cultura social inclusiva obtuvo resultado de moderada a considerable, la dimensión de Actitud personal hacia la inclusión de aceptable a moderada y la de Discriminación de leve a moderada. La fuerza de concordancia de W. de Kendall muestra ser suficiente.
El ítem 31, correspondiente a la dimensión de Discriminación, obtuvo puntuaciones de 2 por los 5 expertos, en el criterio de relevancia, por lo tanto, dicho ítem fue eliminado.

 ISSN: 2007 8102

Fuerza del acuerdo entre evaluadores con respecto a las dimensiones del instrumento original

Tabla 5. Fuerza del acuerdo entre evaluadores con respecto a las dimensiones del instrumento original

Dimensiones	Criterios	Coeficiente Kappa de Fleiss	Fuerza de concordancia	Coeficiente de concordancia W de Kendall
Cultura social inclusiva	Coherencia	0.718	Considerable	0.800
	Relevancia	0.569	Moderada	0.676
	Claridad	0.603	Moderada	0.692
Actitud personal hacia la inclusión	Coherencia	0.680	Moderada	1.000
	Relevancia	0.306	Aceptable	0.600
	Claridad	0.444	Moderada	0.581
Discriminación	Coherencia	0.444	Moderada	0.600
	Relevancia	0.146	Leve	0.400
	Claridad	0.444	Moderada	0.600

Para finalizar con los resultados, mediante la tabla 6, se muestra el instrumento de cultura inclusiva validado por juicio de expertos en 2 secciones: 1 Datos sociodemográficos y 2 Datos de la cultura inclusiva, después de eliminar el ítem 31 “Alguna vez he ejercido discriminación hacia las personas en situación de discapacidad”, como recomendaron los expertos, se reestructuró la numeración quedando 32 ítems en total.

Referente a las opciones de respuesta para el instrumento, en la primera sección la Edad es de respuesta abierta, en Ocupación se mostrarán 8 opciones de respuesta (estudiante, empleado de gobierno, comerciante, labores del hogar, labores del campo, académico, emprendedor o empresario y desempleado), en Colonia de Residencia se mostrarán 3 opciones (colindante al centro y de la ciudad, lejana al centro y junta auxiliar); y en Nivel de estudios 6 opciones (primaria, secundaria, bachillerato, universidad, posgrado y sin educación formal). En la segunda sección, la escala para emitir la opinión de los posibles encuestados es la siguiente: 1: En total desacuerdo, 2: en desacuerdo, 3: ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4: de acuerdo, 5: Totalmente de acuerdo.

Tabla 6. Dimensiones y reactivos del instrumento

DIMENSIÓN	ID	ÍTEM	OPCIONES DE RESPUESTA
Datos sociodemográficos	A	Edad	
	B	Sexo biológico	H M
	C	Ocupación	
	D	Colonia de residencia	
	E	Nivel de estudios	
	F	¿Se encuentra en situación de discapacidad?	Si No
	G	¿Conoce a alguna persona en situación de discapacidad?	Si No
	H	¿Su conocido es compañero de escuela o trabajo?	Si No
	I	¿Su conocido trabaja?	Si No

 ISSN: 2007 8102

	J	¿Su conocido es menor de edad?	Si No
	K	¿Su conocido es familiar suyo?	Si No
	L	¿Su conocido tiene alguna formación escolar?	Si No
Cultura social inclusiva	1	Se reconoce a las personas en situación de discapacidad	1 2 3 4 5
	2	Se brinda igualdad de condiciones a todas las personas, tengan o no situación discapacidad	1 2 3 4 5
	3	Se brinda igualdad de oportunidades de desarrollo a todas las personas, tengan o no situación de discapacidad	1 2 3 4 5
	4	Se respetan los espacios de estacionamiento destinados a personas en situación de discapacidad	1 2 3 4 5
	5	La infraestructura de la ciudad es adecuada y accesible para personas en situación de discapacidad	1 2 3 4 5
	6	Existen programas que apoyan a las personas en situación de discapacidad	1 2 3 4 5
	7	Los programas del gobierno han servido para informar y educar a la sociedad acerca de la discapacidad temporal y/o permanente que puede presentar una persona	1 2 3 4 5
	8	Las autoridades gubernamentales realizan actividades formativas para los ciudadanos a fin de ayudar a responder a las distintas necesidades de las personas en situación de discapacidad.	1 2 3 4 5
	9	Las autoridades están lo suficientemente informadas para brindar un trato digno a personas en situación de discapacidad [N].	1 2 3 4 5
	10	La sociedad está lo suficientemente informada para brindar un trato digno a personas en situación de discapacidad	1 2 3 4 5
	11	Los representantes vecinales realizan acciones de sensibilización a los habitantes de la colonia en relación con la inclusión de vecinos (as) en situación de discapacidad.	1 2 3 4 5
	12	Los ciudadanos fomentan la participación de personas con alguna discapacidad en actividades sociales	1 2 3 4 5
	13	Los ciudadanos ayudan a las personas con alguna discapacidad cuando necesitan apoyo	1 2 3 4 5
	14	Para lograr una sociedad inclusiva se requiere trabajar de manera colaborativa entre todos [21] los ciudadanos	1 2 3 4 5
Actitud personal hacia la Inclusión	15	Respeto las diferencias de los demás	1 2 3 4 5
	16	Ayudo a las personas en situación de discapacidad cuando [21] veo que hay obstáculos físicos en su camino	1 2 3 4 5
	17	Incluyo a personas en situación de discapacidad en las actividades [21] sociales públicas (como las que organiza el gobierno municipal)	1 2 3 4 5
	18	Incluyo a familiares, amigos y/o conocidos en situación de discapacidad en las actividades sociales, familiares o privadas (como fiestas de cumpleaños, graduaciones, etc.)	1 2 3 4 5

 ISSN: 2007 8102

	19	Apoyo a las personas en situación de discapacidad para que sean atendidas sin hacer fila	1 2 3 4 5
	20	He convivido por lo menos con una persona en situación de discapacidad	1 2 3 4 5
	21	Defiendo el uso exclusivo de los espacios de estacionamiento destinado a personas en situación de discapacidad	1 2 3 4 5
	22	He participado en alguna actividad que promueve la inclusión de personas en situación de discapacidad	1 2 3 4 5
	23	Conozco las diversas discapacidades que existen	1 2 3 4 5
	24	Debo aumentar mis conocimientos en cuanto a la discapacidad	1 2 3 4 5
	25	Me agrada tener trato con personas en situación de discapacidad	1 2 3 4 5
	26	Apoyo la inclusión en la sociedad	1 2 3 4 5
Discriminación	27	He observado discriminación hacia las personas en situación de discapacidad	1 2 3 4 5
	28	Conozco claramente el significado de la palabra discriminación	1 2 3 4 5
	29	Alguna vez he sido víctima de algún tipo de discriminación por parte de otros ciudadanos [21]	1 2 3 4 5
	30	Los medios de comunicación locales realizan algunas acciones para combatir la discriminación	1 2 3 4 5
	31	Las personas con discapacidad tienen suficientes opciones de trabajo	1 2 3 4 5
	32	Las personas con discapacidad ocupan empleos que deberían ser para personas sin discapacidad	1 2 3 4 5

Discusión

La dimensión de Discriminación es utilizada en el instrumento “Cultura Organizacional inclusiva en instituciones de educación superior chilenas”, del autor [21] con diferentes ítems, así mismo se adaptaron los ítems 9,14,16,17 y 29 para ser aplicados al contexto social.

Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro se planea validar el instrumento por análisis factorial exploratorio y confirmatorio.

Conclusiones

Se realizó la validación de contenido por juicio de expertos para el constructo de cultura social inclusiva, con resultados favorables con base a los niveles de concordancia. El instrumento obtenido consta de dos secciones: sección 1, con 12 variables sociodemográficas y sección 2: constructo de cultura inclusiva con tres dimensiones, cultura social inclusiva, actitud personal hacia la inclusión y discriminación con un total de 32 ítems.

La evaluación de los expertos se realizó en cada una de las dimensiones Cultura social inclusiva, Actitud personal hacia la inclusión y Discriminación, mediante kappa de Fleiss con una concordancia moderada (K>0.306), excepto

 ISSN: 2007 8102

por la dimensión de discriminación (K<0.146) y por una fuerza W de Kendall > 0.400. Así mismo, se validaron las variables sociodemográficas por I-CVI=1.

Poseer un instrumento confiable para medir la cultura social inclusiva, ofrece a la sociedad una herramienta útil para integrar a todos los individuos que la conforman, de lo contrario las posibilidades de las personas en situación de discapacidad seguirán impedidas de ser partícipes de la vida social en el territorio al que pertenecen.

La cultura social inclusiva es indispensable para que la sociedad esté preparada ante las demandas de todas las personas que la conforman. Ser capaz de participar en la sociedad implica tener la oportunidad de involucrarse en todos los aspectos sociales, incluido el mercado laboral, la educación, los servicios, el ocio y la cultura, entre otros. Por lo tanto, todas las personas deben tener las mismas posibilidades de participar en todos los ámbitos sociales desde la perspectiva de la justicia social.

Agradecimientos

Agradezco al Colegio Interdisciplinario de Especialización A. C. y al TECNM campus Huauchinango, por su apoyo durante el desarrollo de la presente investigación.

Referencias

[1] OMS Discapacidad 7 de marzo de 2023 https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health. Consultado el 12.07.23

[2] M.E.,García Mora, S., Schwartz Orellana y G. Freire. 2021. Inclusión de las personas con discapacidad en América Latina y el Caribe: Un camino hacia el desarrollo sostenible. Washington, DC: Banco Mundial.2021

[3] S. B., Téllez, & N. V. Vite, (2020). La discapacidad y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). *Revista legislativa de estudios sociales y de opinión pública*, *13*(27), 75-102.

[4] R.-E. Valle-Flórez, A. M. de Caso Fuertes, R. Baelo y R. Marcos-Santiago, “Inclusive Culture in Compulsory Education Centers: Values, Participation and Teachers’ Perceptions”, Children, vol. 9, n.º 6, p. 813, mayo de 2022. Accedido el 15 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.3390/children9060813

[5] P. A. Plancarte Cansino, (2017). Inclusión educativa y cultura inclusiva. *Revista de Educación Inclusiva*.

[6] J. Jiménez Carrillo, & P. Mesa Villavicencio, (2020). La cultura inclusiva para la atención a la diversidad. *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores*, *8*(spe5), 00001. Epub 28 de enero de 2021.https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2476 Consultado el 25 de julio de 2023

[7] A. M. Soriano Rodríguez, A. M. (2015). Diseño y validación de instrumentos de medición.

[8] L. A. Galicia Alarcón, J. A. Balderrama Trápaga, & R. Edel Navarro, (2017). Validez de contenido por juicio de expertos: propuesta de una herramienta virtual. Apertura (Guadalajara, Jal.), 9(2), 42-53. https://doi.org/10.32870/ap.v9n2.993. A. Singh y A. Ali, “Psychosocial inventory for caregivers (PIC) of persons with mental illness: Content

[9] A. Singh y A. Ali, “Psychosocial inventory for caregivers (PIC) of persons with mental illness: Content validity and cognitive interviewing process”, Asian J. Psychiatry, vol. 70, p. 103020, abril de 2022. Accedido el 15 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1016/j.ajp.2022.103020

[10] S. N. Haynes, D. C. S. Richard y E. S. Kubany, “Content validity in psychological assessment: A functional approach to concepts and methods.”, Psycholog. Assessment, vol. 7, n.º 3, pp. 238–247, septiembre de 1995. Accedido el 14 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1037/1040-3590.7.3.238

[11] T. Luque-Vara, M. Linares-Manrique, E. Fernández-Gómez, A. Martín-Salvador, M. A. Sánchez-Ojeda y C. Enrique-Mirón, “Content Validation of an Instrument for the Assessment of School Teachers’ Levels of Knowledge of Diabetes through Expert Judgment”, Int. J. Environmental Res. Public Health, vol. 17, n.º 22, p. 8605, noviembre de 2020. Accedido el 15 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.3390/ijerph17228605

 ISSN: 2007 8102

[12] L. G. Juárez-Hernández y S. Tobón, «Análisis de los elementos implícitos en la validación de contenido de un instrumento de investigación», Revista ESPACIOS, vol. 39, n. o 53, nov. 2018, [En línea]. Disponible en: https://es.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-23.html

[13] F. Abad, J. O. Díaz, V. P. Gil, y C. G. García, «Medición en ciencias sociales y de la salud», Madrid: Síntesis, ene. 2011, [En línea]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=552272

[14] L. G. Juárez-Hernández y S. Tobón, «Análisis de los elementos implícitos en la validación de contenido de un instrumento de investigación», Revista ESPACIOS, vol. 39, n. o 53, nov. 2018, [En línea]. Disponible en: https://es.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-23.html]

[15] J. Escobar-Pérez, A. Cuervo-Martínez. Valides de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. Avances en medición, vol. 6, no 1, pp. 27, 2008

[16] M. R. Lynn, «Determination and quantification of content validity», Nursing Research, vol. 35, n. o 6, p. 382???386, nov. 1986, doi: 10.1097/00006199-198611000-00017

[17] D. M. Rubio, M. Berg-Weger, S. Tebb, E. S. Lee, y S. Rauch, «Objectifying content validity: Conducting a content validity study in social work research», Social Work Research, vol. 27, n. o 2, pp. 94-104, jun. 2003, doi: 10.1093/swr/27.2.94.

[18] R. K., Gable, M. B. Wolf, (1993). A Review of the steps for developing an affective instrument. Instrument Development in the Affective Domain: Measuring Attitudes and Values in corporate and School Settings, 237-266

[19] M. S. B. Yusoff, ABC of content validation and conten validity index calculation, Education in Medicine Journal, 11 (2), 49-54

[20] J. R. Landis, & G. G. Koch, (1977). An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics*, 363-374.

[21] E. B. Briceño, M. B.Toledo, W. Suárez, & M. V. Montecinos, (2021). Cultura organizacional inclusiva en instituciones de educación superior chilenas. Revista Venezolana de Gerencia: RVG, 26(96), 1058-1075. https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/rvg/article/download/36872/39854/

ISSN: 2007 8102

Validación del Instrumento para medir Creación de Valor Compartido a empresas lácteas: Juicio de expertos

N.C. García Aguilar [1], M.P. Quintero Fuentes [2], M. Sampayo Cárcamo [3], J.E. Romero Lezama [4], N. Chiunti González [5]

[1,2,3,4,5]Colegio Interdisciplinario de Especialización-Departamento del Doctorado en Ciencias de la Gestión Estratégica-Calle, Rio Suchiate # 5910 entre calle Grijalva y Avenida Circunvalación. Colonia Jardines de San Manuel. C.P. 72570 Puebla, Puebla.

[1]Universidad Anáhuac Veracruz Campus Córdoba-Orizaba, Calle Universidad 100, Colonia Rancho San Emigdio, Córdoba, Ver, C.P. 94500, Av. Eugenio Garza Sada 1, Las Quintas, 94500 Córdoba, Ver.

[3]Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, Avenida Tecnológico No 80, 5 de Octubre, 73174 Huauchinango, Pue.

[4]Petróleos Mexicanos, Subdirección de Tecnologías de Información, Gerencia de Continuidad Operativa, SCADA T.I. Mendoza. Autopista México-Córdoba, km.260.5. El Encinar, Nogales, Ver. 94720.

[5]Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Avenida Universidad 350, 94910 Cuitláhuac, Ver.

[1]nadia.garcia.22@colegiointer.edu.mx
[2]prof.martha.quintero@colegiointer.edu.mx
[3]matilde.sampayo.22@colegiointer.edu.mx
[4]jose.romero.21@colegiointer.edu.mx
[5]nayeli.chiunti.22@colegiointer.edu.mx

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo, validar el contenido del instrumento de Creación de Valor Compartido de las empresas lácteas por medio de los productores de leche en México, a través del juicio de expertos. Estudio psicométrico de validez de contenido mediante juicio de expertos, participaron cinco profesionales y cada ítem fue juzgado según los criterios de pertinencia, coherencia y claridad. Se utilizaron el coeficiente Kappa de Fleiss y el coeficiente de concordancia W de Kendall para medir el nivel de acuerdo de los expertos. Los resultados demuestran el grado de afinidad en cada dimensión, con K>0,812 y W de Kendall>0,859, mostrando un acuerdo casi perfecto entre los 5 evaluadores para los 3 criterios. La validación presentada muestra que los ítems elegidos son indicadores de la Creación de Valor Compartido en empresas lácteas en México, con acuerdo satisfactorio entre los jueces, en los criterios de pertinencia, coherencia y claridad.

Palabras clave: Creación de Valor Compartido, validez de contenido, juicio de expertos, empresas lácteas.

Abstract

The objective of this research is to validate the content of the Shared Value Creation instrument of dairy companies through milk producers in Mexico, through expert judgment. Psychometric study of content validity through expert judgment, five professionals participated and each item was judged according to the criteria of relevance, coherence and clarity. Fleiss's Kappa coefficient and Kendall's W coefficient of agreement were used to measure the level of agreement of the experts. The results show the degree of affinity in each dimension, with K>0.812 and Kendall's W>0.859, showing almost perfect agreement among the 5 evaluators for the 3 criteria. The validation presented shows that the chosen items are indicators of the Creation of Shared Value in dairy companies in Mexico, with satisfactory agreement among the judges, in the criteria of relevance, coherence and clarity.

 ISSN: 2007 8102

Key words: *Creation of Shared Value, content validity, expert judgment, dairy companies.*

Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación afirma que la leche es una fuente importante de energía nutricional, proteínas y grasas de alta calidad, además de proporcionar nutrientes clave [1]. Las personas, el medio ambiente y los Objetivos de Desarrollo Sostenible se benefician de la producción, manipulación y consumo éticos de leche y productos lácteos [2].

A pesar de tener las mejores condiciones climáticas del mundo para la producción de leche, México no ha podido aumentar su producción mundial de leche ni su competitividad a lo largo del tiempo [3].
Un tema pertinente para la economía nacional en México es la productividad de la ganadería lechera como actividad clave y su vinculación con las interconexiones de industrialización y comercialización de la leche líquida y sus derivados [4].

México es el principal importador mundial de leche en polvo, representando el 11.2% de todas las importaciones (SIAP, 2019), y ocupa el octavo lugar en términos de producción de leche (2017-2019). Lo anterior demuestra que, si bien la producción va en aumento, es insuficiente para satisfacer la demanda interna. El aumento constante de la productividad a largo plazo es necesario para mantener la competitividad de la industria láctea de México.

Por ello, es crucial que México logre incrementar la producción de leche y disminuir las importaciones de leche en polvo [5], lo que exige una construcción colectiva en la relación entre las empresas y la sociedad que, a través de sus acciones, contribuya al logro de los objetivos de desarrollo sustentable y la creación de valor compartido (CVC) [6], que se basa en las relaciones entre el progreso social y económico y tiene el potencial de marcar el comienzo del próximo período de crecimiento global y mayor ventaja competitiva, mayor productividad, competitividad, satisfacción y mejor calidad de vida para sus ciudadanos, siendo los resultados un mejora de productos y disminución de costos [7], [8].

Creación de Valor Compartido

Creación de Valor Compartido (CVC), es una estrategia para cualquier organización que tiene como objetivo conectar el desarrollo económico empresarial con el progreso social [9], [10]. Asegura que las empresas, en colaboración con las comunidades en las que intervienen, dirijan sus actividades a un aumento notable en los grados de innovación y un incremento significativo y gradual de su desempeño en la economía global [11]. Al igual que con el concepto de Responsabilidad Social Empresarial, la idea de Creación de Valor Compartido tiene como objetivo definir y resaltar las diferencias y similitudes entre los dos, así como señalar los puntos de partida y los recursos que las empresas requieren para determinar los intereses de sus públicos objetivo. [12], [13], [14].

Merzthal (2013) afirmó que la CVC se da en las empresas cuando “las organizaciones alinean su capacidad de crear valor con las necesidades de la sociedad, cuando se da esta relación, se ha creado valor con la sociedad” [15].

La forma de crear productividad según la estrategia de Creación de Valor Compartido es a través del trabajo en equipo de empresas y sociedad, en conjunto están interesados en resolver los problemas sociales, no solo buscar la ganancia de la empresa, sino ayudar a nuestra cadena de suministro a crecer.

Las empresas generan ganancia cuando solucionan problemas sociales, hay estudios que muestran que las empresas que se interesan y reducen la producción de la contaminación en su proceso y las emisiones de gas, no malgastan recursos, sino aumentan su seguridad, los accidentes disminuyen ya que son caros y costosos, cuidan la salud de sus colaboradores la cual es un tesoro, tienen más progreso social y la eficiencia económica en ahorro es sustancial [16].

ISSN: 2007 8102

De acuerdo con el concepto de Valor Compartido, la ganancia económica de una organización genera los beneficios económicos y sociales obtenidos por la sociedad que tienen una relación directa o indirecta en la cadena de valor de la organización (inicio, desarrollo o final). En otras palabras, si la economía produce resultados positivos, pero no hay progreso social, las empresas ganan dinero, pero la calidad de vida de la sociedad baja, se empobrece y a la larga puede desaparecer como resultado del éxito de la economía. De manera similar al último caso, si el progreso social avanza, pero no los retornos económicos, una organización puede finalmente dejar de existir [17].

Productores de leche

Hay diecisiete problemas apremiantes que deben resolverse en nuestra sociedad, según la clasificación de la Organización de las Naciones Unidas, entre los que se encuentran la nutrición inadecuada, el acceso limitado al agua limpia, el cambio climático, la inseguridad, la contaminación, la deforestación, la incompetencia, la falta de suministro de alimentos, y la falta de asistencia médica [18].

La productividad de la ganadería lechera como actividad clave en México, así como sus relaciones con la industrialización y comercialización de la leche líquida y sus derivados, es un problema pertinente para la economía del país [19]. Desde el principio de los tiempos, ha habido una disparidad considerable entre la producción nacional y la demanda de leche. Esta necesidad de llenar este vacío ha llevado a la nación a ocupar el primer lugar en el mundo en la importación de leche en polvo [20]. La industria láctea en México necesita ideas viables y planes factibles que permitan a los agricultores competir con éxito en el mercado, contribuir a la producción nacional y aumentar sus ingresos al tiempo que preservan la biodiversidad y la diversidad cultural del país [21]. Además, es importante enfatizar la calidad y la administración, ya que estos factores se consideran necesarios para que las empresas agrícolas se muevan hacia nuevos tipos de organización competitiva [22]. Por lo tanto, la gestión de las unidades de producción agrícola debe ser organizada, regulada y sistémica en su enfoque [23].

La variabilidad de las unidades de producción animal (número de cabezas de vaca, adopción de tecnología, reproducción, alimentación, comercialización, etc.) en México puede afectar la producción de leche [24].

Validez de contenido

La validez de contenido es la pertinencia del muestreo de prueba del universo, comportamientos posibles, dependiendo de lo que queramos calcular [25].

Desde sus inicios, el concepto de validez de contenido ha sufrido numerosos cambios. Es necesario interpretar los resultados de los ítems del instrumento de medida, las instrucciones de administración y los criterios de corrección y puntuación porque han estado más enfocados a darle importancia como fuente de evidencia de validez que a su definición operativa, que en gran medida se ha mantenido estable. Un método para juzgar la validez del contenido se basa en la opinión de expertos, entre otros métodos. En este método, un equipo de expertos sugiere los componentes o dimensiones que deben incluirse en el constructo de interés o califica los diversos elementos en función de su aplicabilidad y representatividad.

Cada uno de los tres componentes (validez de contenido, validez de criterio y validez de constructo) se refiere a un aspecto diferente de la validez, y cuál se emplea depende del tipo de prueba que se utilice. En la medida en que mejoran la comprensión de los objetivos de medición de la prueba, estas estrategias son ventajosas. Dado que la confiabilidad es una condición necesaria pero insuficiente para la validez, una prueba generalmente es confiable si es válida. Los investigadores con frecuencia expresan interés y preocupación por evaluar la validez del contenido en herramientas de medición como pruebas de rendimiento, pruebas de rendimiento o cuestionarios elaborados por ellos mismos porque, por lo general, no existen estándares externos establecidos para estos instrumentos. Esta forma de prueba se presta bien al análisis de validez de contenido, que examina los elementos de la prueba para evaluar qué tan bien se corresponden con el objetivo [26], [27].

ISSN: 2007 8102

Juicio de expertos

Para evaluar la validez de contenido se utiliza frecuentemente el método conocido como "juicio de expertos"; sin embargo, esto es insuficiente para mejorar la calidad del instrumento de medida; en cambio, es necesario evaluar el nivel de acuerdo de los expertos para determinar con mayor precisión si el instrumento es válido o no y si está midiendo lo que se pretende medir. Es crucial hacer un esfuerzo para cuantificar el nivel de validez de contenido que posee un instrumento utilizando algunos indicadores, y hacerlo puede lograrse utilizando algunos coeficientes [28].

Eliminar aspectos irrelevantes, incorporar elementos clave y/o modificar aquellos que lo requieran, todo depende de la participación como juicio de expertos. Incluso si no hay conclusiones universalmente acordadas durante el procedimiento de validez de contenido, es posible determinar las deficiencias y fortalezas del instrumento. Esto permitirá al investigador realizar un estudio exhaustivo y tomar decisiones sobre qué modificar, incorporar o eliminar [29].

No se encontró un instrumento que mida la creación de valor de compartido de las empresas lácteas por medio de los proveedores de leche en México. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es validar el contenido del instrumento de creación de valor compartido de las empresas por medio de los productores de leche en México, a través del juicio de expertos.

Metodología

Estudio psicométrico de validez de contenido mediante juicio de expertos.

Participantes

Participaron cinco profesionales [30], [31], [32], [33], con estudios de maestría o doctorado en ciencias sociales y al menos diez años de experiencia en docencia e investigación conforman los participantes elegidos, junto con un experto de la industria quien se ofreció voluntariamente a participar. Los criterios de exclusión utilizados fueron la retirada del consentimiento informado y la falta de consentimiento. Los documentos se evalúan dentro de un período de tiempo establecido. Colaboró un asesor estadístico con experiencia en este campo.

Materiales

Se implementó un proceso de estudio descriptivo de validez de contenido por medio de juicio de expertos, en el que se envió por medios electrónicos el constructo para su análisis y evaluación.

Instrumentos

La validación del instrumento se basó en los tres criterios que Escobar y Cuervo (2008): coherencia, relevancia, claridad (Figura A) [34].

CATEGORÍAS	CALIFICACIÓN	INDICADORES
Coherencia El ítem tiene sentido en referencia a la dimensión o indicador que está midiendo.	1. No cumple con los requisitos 2. Nivel menor 3. Nivel moderado 4. Alto nivel	No hay conexión lógica entre el ítem y la dimensión. El ítem y la dimensión están algo relacionados. La relación del ítem con la dimensión que está midiendo es moderada. La medida y el ítem están íntimamente conectados.
Relevancia El ítem es necesario o significativo, por lo tanto, tiene que ser incluido.	1. No cumple con los requisitos 2. Nivel menor 3. Nivel moderado 4. Alto nivel	El ítem no cambiará si se saca el objeto. El ítem es algo significativo, aunque otro ítem también puede proporcionar la medida que captura este elemento. El ítem es algo significativo. El ítem es crucial y debe ser mencionado.

 ISSN: 2007 8102

Claridad La sintaxis y la semántica del ítem son adecuadas, lo que lo hace fácilmente comprensible.	1. No cumple con los requisitos 2. Nivel menor 3. Nivel moderado 4. Alto nivel	El ítem no está claro. El uso de las palabras según su significado o debido al orden en que se usan las palabras en el ítem requiere una alteración significativa o muy grande. Es necesario modificar algunos de los términos del ítem de una manera muy específica. El ítem es claro y utiliza la semántica y la sintaxis correctas.

Figura A: Criterios de validación del instrumento
Fuente: Escobar y Cuervo (2008 p. 35).

Procedimiento

1. Se seleccionó a los expertos que participaron en la evaluación del instrumento. Determinando que fueran 5 con experiencia en el área.
2. Se envió la plantilla de evaluación identificando las dimensiones de: estabilidad económica, manejo responsable de los recursos y vinculación con la comunidad.
3. Se realizó el manejo de datos en SPSS v.29 obteniendo los coeficientes de concordancia de Kappa de Fleiss y W de Kendall.
4. Se analizó e interpretó los resultados de los coeficientes. El criterio para la interpretación del coeficiente de Kappa de Fleiss se consideró el de Landis y Koch [35]. Tabla 1

Tabla 1: Valoración del coeficiente kappa

Coeficiente kappa de Fleiss	Fuerza de concordancia
0,00	Pobre (Poor)
0,1-0,20	Leve (Slight)
0,21-0,40	Aceptable (Fair)
0,41-0,60	Moderada (Moderate)
0,61-0,80	Considerable (Substantial)
0,81-1,0	Casi perfecta (Almost perfect)

Fuente: Landis y Koch

Resultados

La evaluación del instrumento global se realizó mediante el cálculo del coeficiente Kappa de Fleiss y coeficiente de concordancia W de Kendall estimando la concordancia de los 3 criterios de coherencia, relevancia y claridad. En el coeficiente Kappa de Fleiss se obtuvo una concordancia casi perfecta con un p valor significativo ($p<0.05$) Tabla 2. El coeficiente de concordancia W de Kendall los criterios tuvieron una fuerza de concordancia mayor a 0.875 con un p valor significativo ($p<0.05$) Tabla 3.

Tabla 2: Coeficiente de Kappa de Fleiss Global

Criterios	Coeficiente Kappa de Fleiss	Fuerza de concordancia	P Value
Coherencia	**0.861**	Casi perfecta	**0.000**
Relevancia	**0.843**	Casi perfecta	**0.000**
Claridad	**0.847**	Casi perfecta	**0.000**

Tabla 3: Coeficiente de concordancia de Kendall Global

Criterios	Coeficiente W de Kendall	Sig. asin.
Coherencia	**0.890**	**<.001**
Relevancia	**0.876**	**<.001**
Claridad	**0.882**	**<.001**

 ISSN: 2007 8102

Así mismo, el instrumento fue evaluado en sus dimensiones estimando la magnitud en la fuerza de concordancia. El cálculo del coeficiente Kappa de Fleiss en las dimensiones de estabilidad económica, manejo responsable de los recursos, la vinculación con la comunidad obtuvo una concordancia casi perfecta y un p-valor significativo ($p<0.05$) Tabla 4.

Tabla 4: Fuerza de concordancia entre evaluadores para las dimensiones del instrumento
Coeficiente de Kappa de Fleiss

Dimensiones	Criterios	Coeficiente Kappa de Fleiss	Fuerza de concordancia	P Value
Estabilidad económica	Coherencia	**0.889**	Casi perfecta	**0.000**
	Relevancia	**0.843**	Casi perfecta	**0.000**
	Claridad	**0.847**	Casi perfecta	**0.000**
Manejo responsable de los recursos	Coherencia	**0.813**	Casi perfecta	**0.000**
	Relevancia	**0.843**	Casi perfecta	**0.000**
	Claridad	**0.847**	Casi perfecta	**0.000**
Vinculación con la comunidad	Coherencia	**0.857**	Casi perfecta	**0.000**
	Relevancia	**0.843**	Casi perfecta	**0.000**
	Claridad	**0.847**	Casi perfecta	**0.000**

De igual manera, el coeficiente de W de Kendall en las dimensiones tiene la siguiente fuerza de concordancia, estabilidad económica mayor de 0.902, el manejo responsable de los recursos mayor de 0.861 y la vinculación con la comunidad mayor a 0.859 con un p-valor significativo ($p<0.05$) Tabla 5.

Tabla 5: Fuerza de concordancia entre evaluadores para las dimensiones del instrumento
Coeficiente W de Kendall

Dimensiones	Criterios	Coeficiente W de Kendall	Sig. asin.
Estabilidad económica	Coherencia	**0.918**	**<.001**
	Relevancia	**0.903**	**<.001**
	Claridad	**0.918**	**<.001**
Manejo responsable de los recursos	Coherencia	**0.862**	**<.001**
	Relevancia	**0.862**	**<.001**
	Claridad	**0.862**	**<.001**
Vinculación con la comunidad	Coherencia	**0.898**	**<.001**
	Relevancia	**0.873**	**<.001**
	Claridad	**0.860**	**<.001**

Por último, se presenta la versión final del instrumento validado por juicio de expertos con 3 dimensiones: estabilidad económica, manejo responsable de los recursos y vinculación con la comunidad Tabla 6.

Tabla 6: Versión final del instrumento validado en contenido por juicio de expertos

Dimensión	Preguntas
1.- Estabilidad Económica	24.-Considero la producción de leche como un negocio rentable.
	25.-Considero que me alcanzan los ingresos para cubrir los costos de producción. Ejemplo: mantenimiento, servicios, transporte, etc.

 ISSN: 2007 8102

	26.-Considero que los ingresos son suficientes para cubrir mis gastos necesarios. Ejemplo: Gastos de manutención, Educación, Créditos, etc.
	27.-La relación comercial con mi comprador busca la rentabilidad de mi rancho.
	28.-Cuento con opciones de financiamiento por parte del comprador para mejorar mi producción de leche.
	29.-Las opciones de financiamiento de mi comprador son atractivas y competitivas en el mercado.
	18.-Considera que tiene una buena relación con su comprador de leche.
	19.-Considera que su comprador, le apoya en sus actividades relacionadas con la producción de leche.
	20.-Mi comprador es solidario y empático con mis necesidades.
	21.-Considera que la relación comercial con su comprador favorece la rentabilidad de su rancho.
	1.-La venta de leche a su comprador le da ventajas o beneficios económicos por ser parte de su cadena de valor.
	2.-Su comprador de leche fomenta y/o facilita la relación comercial con sus proveedores de insumos.
2.-Manejo responsable de los recursos	3.-Estoy convencido de que la asesoría técnica ha sido un factor determinante para el uso eficiente de los recursos en el rancho.
	4.-Considero que la capacitación técnica me ayuda a producir más leche.
	5.-Considero que la capacitación técnica me ayuda a producir leche de mejor calidad.
	30.-Mi comprador ha contribuido a que pueda usar nuevas tecnologías en la producción de leche.
	31.-Mi comprador ha contribuido a que pueda usar nuevas tecnologías en la producción de forrajes (alimento para el ganado).
	12.-Estoy comprometido con el manejo de los residuos orgánicos.
	13.-He implementado la estrategia del Composteo en el rancho.
	14.-Una de las estrategias que aplicamos en el rancho es la Separación de Sólidos.
	6.-Cuento con tecnología para reducir las emisiones de carbono.
	7.-Estoy implementando un sistema de riego que permite el riego por goteo.
	8.-En el rancho fomentamos la "cosecha de lluvia" como medida de reciclaje de agua.
3.- Vinculación con la comunidad	22.-Considero que tengo buena relación con los vecinos de mi comunidad.
	23.-Puedo considerar que he fomentado una amistad con mis vecinos.
	15.-Mi participación en proyectos comunitarios es importante y tiene un impacto positivo en mi comunidad.
	16.-Considero muy importante promover y participar en proyectos ecológicos dentro de mi comunidad.
	17.-Soy promotor de proyectos que impactan a mi comunidad en áreas como: deporte, ecología, educación, recreación, religión, etc.
	9.-Considero que soy una buena influencia en mi comunidad.
	10.-Soy un agente de cambio ya que tengo la experiencia y las habilidades para iniciar e implementar el cambio en mi comunidad.
	11.-Comparto mis conocimientos y buenas prácticas con mis colegas en mi comunidad.

ISSN: 2007 8102

Discusión

La Creación de Valor Compartido se centra en la redefinición de la productividad a lo largo de la cadena de valor enfocándose en las operaciones internas que mejoran los costos, la accesibilidad de los insumos, la calidad y la productividad a través de mejoras en el medio ambiente, una mejor utilización de los recursos, inversiones en personal, capacidad de los proveedores y otras áreas [36], dicha redefinición será llevada por los productores de leche de las empresas lácteas influyendo en su estabilidad económica, manejo responsable de los recursos y vinculación con la comunidad.

El instrumento denominado: "Cuestionario para determinar el nivel de creación de valor compartido" del estudio sobre el intra emprendimiento en la creación de valor compartido en micro y pequeñas empresas en Trujillo, presenta tres dimensiones que son; Re concebir productos y mercados, Redefinir la productividad en la cadena de valor y Desarrollar clústeres de apoyo [37].

Se destaca también el instrumento diseñado para crear valor compartido en las MiPymes de Bogotá, el cual determina la aplicabilidad del concepto en las empresas de Bogotá y la región, y en esa medida identifica cuáles son los factores que inciden en la creación de valor compartido, según Méndez y Gómez, analizaron los siguientes 6 factores *(*entorno*,* Re concepción de mercados y productos*,* cadena de valor*,* proveedores*,* motivación *y* tamaño*)* siendo la motivación el factor determinante para que las organizaciones creen valor compartido [38].

Trabajo a futuro

Como futura investigación se propone la validación del constructo de Creación de Valor Compartido en empresas lácteas de México, por medio del análisis de factor exploratorio y confirmatorio. Además de examinar la eficacia del uso del Cuestionario para la medición de la estrategia de Creación de Valor Compartido a través de la aplicación de este, a productores de leche en México.

Conclusiones

La validación presentada muestra que los ítems elegidos son indicadores [39], [40], de la Creación de Valor Compartido en empresas lácteas por medio de los productores de leche en México, con acuerdo satisfactorio entre los jueces, en los criterios de pertinencia, coherencia y claridad.

Los expertos evaluaron el instrumento en cada una de las dimensiones (Estabilidad Económica, Manejo responsable de los recursos, Vinculación con la comunidad) y elementos del instrumento; obteniendo concordancia casi perfecta K>0.812 (Kappa de Fleiss) y una fuerza de concordancia mayor a 0.859 (W de Kendall) según los criterios constatados. El instrumento presenta 31 ítems divididos en 3 dimensiones con 12, 11 y 8 ítems respectivamente.

El instrumento tiene la validez de contenido y existe concordancia entre los jueces en los criterios de pertinencia, coherencia y claridad por medio de las pruebas de Kappa de Fleiss y W de Kendall.

Referencias

[1] F.A.O. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2020. Producción lechera. Italia. http://www.fao.org/dairy-production-products/production/es/.

[2] A. Girón, "OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE Y LA AGENDA 2030: FRENTE A LAS POLÍTICAS PÚBLICAS Y LOS CAMBIOS DE GOBIERNO EN AMÉRICA LATINA", Problemas Del Desarrollo, vol. 47, núm. 186, págs. 3–8, julio de 2016, doi: 10.1016/j.rpd.2016.08.001.

[3] M. Martínez-Alba, V. Molina-Morejón, C. García-Munguía, E-Díaz-Carreto, J. Vivanco-Florido, S. Mata-Zamores "Estado del arte de la producción lechera mexicana," Abanico Agroforestal, vol. 3, enero de 2021, doi: 10.37114/abaagrof/2021.1.

[4] NÚÑEZ JM. 2016. Productividad, comercialización y calidad de vida en los productores lecheros de la Ciénega de Jalisco, México. Revista Mexicana de Agronegocios. 38:367- 376. ISSN:1405-9282. https://www.redalyc.org/jatsRepo/141/14146082013/html/index.html.

[5] J. Loera y J. Banda, "Industria lechera en México: parámetros de la producción de leche y abasto del mercado interno," Revista De Investigaciones Altoandinas, vol. 19, núm. 1, pp. 419–426, octubre de 2017, doi: 10.18271/ria.2017.317.

[6] V. E. Monroy-Flores y C. Pérez Muñoz. “Un breve acercamiento a la creación de valor compartido desde la universidad: Instituto de Economía Social y Cooperativismo (Indesco)”, Universidad Cooperativa de Colombia. DIXI 31. Enero de 2020, 1-26. DOI: https://doi.org/10.16925/2357-5891.2020.01.02.

[7] J. Sepúlveda. “La Universidad como fuente de creación de valor compartido”. El Mostrador. 2017.

[8] M. Del Pilar Ramírez Salazar y M. G. Valderrama, "La Alianza Universidad-Empresa-Estado: una estrategia para promover innovación," Revista Escuela De Administración De Negocios, no. 68, pp. 112–133, agosto de 2010, doi: 10.21158/01208160.N68.2010.500.

[9] M. E. Porter y M. R. Kramer, "La creación de valor compartido: cómo reinventar el capitalismo y liberar una oleada de innovación y crecimiento," Harvard Business Review, vol. 89, no. 1, pp. 31–49, enero de 2011, [en línea]. Disponible: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3658419.

[10] M. E. Porter, "Comprender la estructura de un sector." Harvard Business School 17 (2007).

[11] R. U. Puga y J. C. Rojas, "Modelo sinérgico entre planeación estratégica, valor compartido y flexibilidad curricular", Revista Electrónica Educare, vol. 24, núm. 3, pp. 1–17, agosto de 2020, doi: 10.15359/ree.24-3.19.

[12] N. D. Cáceres, "LA CREACIÓN DE VALOR COMPARTIDO: ESTRATEGIA DE SOSTENIBILIDAD y DESARROLLO EMPRESARIAL," Cultura Latinoamericana, vol. 22, núm. 2, pp. 207–230, julio de 2015, [enlínea].Disponible: https://editorial.ucatolica.edu.co/ojsucatolica/revistas_ucatolica/index.php/RevClat/article/download/1629/1505.

[13] R. A. Calderón; E. Reyes, Elizabeth; A. M. Centeno. Valor compartido en el abastecimiento de la cadena de valor: caso empresa ESC y Asociación de Acuicultores Arcoíris. Tesis Profesional. Pontificia Universidad Católica de Perú. Lima, Perú. 2018.

[14] U. P. Trinidad. Efectividad del modelo de valor “Compartido en el servicio hogar de la empresa Telefónica del Perú-Huaraz 2021. 2022” Tesis doctoral, Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú, 2022.

[15] J. Merzthal Toranzo. "La creación del valor compartido: más allá de la filantropía y la RSE | Conexión ESAN." https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/creacion-valor-compartido-filantropia-rse.

[16] E. P. Manrique López-Henares, "La inversión de impacto como herramienta de creación de valor compartido." Comillas Universidad Pontificia, Madrid, España, 2022.

[17] J. A. Ramírez, "Definición de estrategias para la creación de valor compartido en la Previsora S.A. y su entorno social," 2023. Doi: 10.11144/javeriana.10554.61260.

[18] F.A.O. "Producción y productos lácteos: Composición de la leche." Disponible: https://www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/.

[19] J. M. R. Núñez, "PRODUCTIVIDAD, COMERCIALIZACIÓN y CALIDAD DE VIDA EN LOS PRODUCTORES LECHEROS DE LA CIÉNEGA DE JALISCO, MÉXICO," Revista Mexicana De Agronegocios, vol. 38, núm. 38, pp. 367–376, junio de 2016, doi: 10.22004/ag.econ.239296.

[20] J. Loera y J. Banda, "Industria lechera en México: parámetros de la producción de leche y abasto del mercado interno," Revista De Investigaciones Altoandinas, vol. 19, núm. 1, pp. 419–426, octubre de 2017, doi: 10.18271/ria.2017.317.

[21] A. Velia, A. Garay, D. Ma. Sangerman-Jarquín, R. S. Rindermann, G. Almaguer-Vargas, and J. L. Barrera, "DETERMINACIÓN DE LA COMPETITIVIDAD DEL SECTOR AGROPECUARIO EN MÉXICO, 1980-2009* DETERMINACIÓN DE LA COMPETITIVIDAD EN EL SECTOR AGRÍCOLA MEXICANO, 1980-2009," Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, enero de 2011, [en línea]. Disponible: http://scielo.unam.mx/pdf/remexca/v2n4/v2n4a3.pdf.

[22] G. G. Viera, R. G. Viera, R. P. Olivera, N. F. Pérez y A. M. Leal, "Descripción de las unidades de producción lechera de la cuenca Camagüey-Jimaguayú, Cuba," Revista De Producción Animal, vol. 16, no. 1, enero de 2004, [en línea]. Disponible: https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/download/3134/2832.

[23] B.A. ARCE, Martínez, 2007. La cultura organizacional y de calidad como elementos básicos en la transformación de las empresas rurales hacia la competitividad. TECSISTECATL Revista de Economía y Sociedad de México. 1(2):1-21. ISSN: 1886- 8452. https://www.eumed.net/rev/tecsistecatl/n2/acmd.htm.

[24] J. H. C. Vera, F. C. Escoto, M. I. Palacios-Rangel, F. Rosales-Noriega, and J. M. Vargas-Canales, "Factores determinantes del rendimiento en unidades de producción de lechería familiar," Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias, enero de 2017, doi: 10.22319/rmcp. v8i 1.4313.

[25] R.J. COHEN, M.E. SWERDLIK, "Pruebas y evaluación psicológicas: Introducción a las pruebas y a la medición. En *Pruebas y evaluación psicológicas: introducción a las pruebas y a la medición".* McGraw-Hill Interamericana, 2001.

[26] L.A. Galicia Alarcón, J.A. Balderrama Trápaga & R. Edel Navarro, (2017). "Validez de contenido por juicio de expertos: propuesta de una herramienta virtual". *Apertura (Guadalajara, Jal.)*, *9*(2), 42-53. Disponible: https://doi.org/10.32870/ap.v9n2.993.

[27] D. M. Castillo-Sierra, R. V. González-Consuegra, y A. Olaya-Sánchez, "Validez y confiabilidad del cuestionario Florida versión en inglés," Revista Colombiana De Cardiología, vol. 25, núm. 2, pp. 131–137, marzo de 2018, doi: 10.1016/j.rccar.2017.12.018.

[28] B.F. Robles Pastor, "Índice de validez de contenido: Coeficiente V de Aiken". *Pueblo continente*, 2018, vol. 29, no 1, pp. 193-197.

[29] P. R. Garrote and M. Del Carmen Rojas, "La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada," Revista Nebrija De Lingüística Aplicada a La Enseñanza De Lenguas, no. 18, pp. 124–139, Mar. 2015, doi: 10.26378/rnlael918259.

[30] R. K. Gable y M. B. Wolf, Desarrollo de instrumentos en el dominio afectivo: medición de actitudes y valores en entornos corporativos y escolares. 1993. [En línea]. Disponible: http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA23364735.

[31] J. S. Grant y L. L. Davis, "Selección y uso de expertos en contenido para el desarrollo de instrumentos", Investigación en Enfermería y Salud, vol. 20, no. 3, pp. 269–274, Jun. 1997, doi: 10.1002/(SICI)1098-240X (199706)20:3.

[32] M. R. Lynn, "Determinación y cuantificación de la validez de contenido", Investigación en Enfermería, vol. 35, núm. 6, pág. 382-386, noviembre de 1986, doi: 10.1097/00006199-198611000-00017.

[33] D. M. Rubio, M. Berg-Weger, S. Tebb, E. S. Lee y S. Rauch, " Objectifying content validity: Conducting a content validity study in social work research ", Social Work Research, vol. 27, no. 2, pp. 94–104, Jun 2003, doi: 10.1093/SWR/27.2.94.

[34] J. Escobar-Pérez, A. Cuervo-Martínez. Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. *Avances en medición,* vol. 6, no 1, pp. 27, 2008.

[35] J.R. Landis, G. Koch. "La medición del acuerdo de observadores para datos categóricos". *Biometría* 33, no. 1 (1977): 159–74. https://doi.org/10.2307/2529310.

[36] M. E. Porter, G. Hills, M. Pfitzer, S. Patscheke, and E. Hawkins, "Measuring Shared Value: How to Unlock Value by Linking Business and Social Results," FSG Is Licensed Under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Unported License, Oct. 2012, [Online]. Available: https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=46910.

[37] S.E. Soto. Gestión del intraemprendimiento en la creación de valor compartido en micro y pequeñas empresas de Trujillo. Tesis doctoral, Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú, 2021.

[38] M. M. Pinzón and M. G. Osorio, "Factores incidentes para crear valor compartido en las mipymes de Bogotá," Suma De Negocios, vol. 8, no. 18, pp. 96–105, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.sumneg.2017.10.003.

[39] P. R. Garrote y M. Del Carmen Rojas, "La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada," Revista Nebrija de Lingüística Aplicada a la Enseñanza e Lenguas, no. 18, pp. 124–139, marzo de 2015, doi: 10.26378/rnlael918259.

[40] L. G. Juárez-Hernández y S. Tobón, "Análisis de los elementos implícitos en la validación de contenido de un instrumento de investigación", Revista ESPACIOS, vol. 39, núm. 53, noviembre de 2018, [en línea]. Disponible: https://es.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-23.html.

ISSN: 2007 8102

Usabilidad del proceso de capacitación por aplicación en el departamento de contaduría de una entidad.

Dr. en C.F. Juan Pedro Benítez Guadarrama 1[1], M. en I. Brenda Anahí Pérez Elizondo 2[2],*
[1]IUniversidad Autónoma del Estado de México CU UAEM Ecatepec1 y jpbenitezg@uaemex.mx 1,
[2]Instituto de Desarrollo CIKANT México y anahi.elizondo18@gmail.com 2

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

En la actualidad el desarrollo tecnológico es esencial para la ejecución de actividades ese es el caso de la capacitación basada en aplicaciones mediante simuladores, el objetivo de esta investigación es evaluar el proceso de capacitación por aplicación en una entidad económica en el departamento de contaduría, para el estudio se aplicó la metodología DCIERC y la nom. ISO 25010, se realizó un estudio cuantitativo descriptivo de corte transversal, los resultados muestran que el proceso de capacitación por aplicación es apto para ser aplicado en el departamento de contaduría mejorando el aprendizaje de las tareas fomentando la adaptación y asociación de operaciones, se infiere que la adopción de esta metodología contribuye a mejorar la capacitación reduciendo costos, errores y potenciando el aprendizaje, así como las habilidades de los usuarios.

***Palabras clave**: Capacitación, aplicación móvil, aprendizaje, simulación.*

Abstract

Currently, technological development is essential for the execution of activities such is the case of training based on applications through simulators, the objective of this research is to evaluate the training process by application in an economic entity in the accounting department, for the study was applied the DCIERC methodology and nom. ISO 25010, a quantitative descriptive cross-sectional study was conducted, the results show that the training process by application is suitable to be applied in the accounting department improving the learning of tasks by promoting the adaptation and association of operations, it is inferred that the adoption of this methodology helps to improve training by reducing costs, errors and enhancing learning, as well as the skills of users.

***Key words**: Training, mobile app, learning, simulation.*

Introducción

La [1] constitución política de los estados unidos mexicanos en el artículo 123 A fracción XIII señala que las organizaciones deben capacitar o adiestrar a su personal esto al ser un ordenamiento general que se vuelve a sustentar en la [2] ley federal del trabajo en el artículo 2 expresa que la capacitación debe ser continua refiriendo claramente que se espera de la capacitación, como debe realizarse y demás características en el Capítulo III BIS de la productividad, formación y capacitación de los trabajadores, por tanto la capacitación se detalla como una obligación que todas las entidades deben cumplir sin importar su tamaño, pero la capacitación no solo es un ordenamiento es una necesidad, la falta de actualización se ve reflejada en las operaciones de las empresas y en el desempeño profesional.
Con ambos ordenamientos legales surge un acuerdo en el que se dan a conocer los lineamientos de operación del programa de capacitación a distancia para trabajadores el cual se dio a conocer en el diario oficial de la federación refiriendo que la capacitación a distancia es una “formación que utiliza las tecnologías de la información

 ISSN: 2007 8102

y de la comunicación, a través de una plataforma educativa, para favorecer el aprendizaje autónomo de las personas, con la finalidad de que adquieran conocimientos y desarrollen competencias laborales". [3].

Para algunas entidades el cumplir con este requisito es complicado al igual que para los trabajadores ya que no siempre se cuenta con los mejores elementos para realizarlo, algunas de las causas señaladas son costos altos, los capacitadores no se adecuan a las necesidades, en ocasiones se ve interrumpido el trabajo de algunos con mayor experiencia, algunos otros no ven beneficios al tomar capacitación y las empresas que optan por solicitar la ayuda del gobierno hay ocasiones en las que no les es otorgada [4].

Algunos de los riesgos que se presentan por la falta de capacitación son enmarcados en dos tipos los riegos para el trabajador como rendimiento insuficiente, desmotivación, la pérdida de empleados de valor, desventaja frente a la competencia y los riesgos para la empresa son deterioro financiero, conflictos internos, pérdida de clientes y caída en la producción. [5]

Respecto a la necesidad de fomentar la capacitación en las entidades y buscar estrategias tecnológicas que contribuyan al desempeño de este ordenamiento se pretende resolver la siguiente pregunta de investigación ¿el proceso de capacitación por aplicación es una buena alternativa de entrenamiento para el departamento de contaduría? Para dar respuesta a dicho cuestionamiento se plantea el objetivo de esta investigación el cual es evaluar el proceso de capacitación por aplicación en una entidad económica en el departamento de contaduría, aplicando la metodología DCIERC la cual consta de 6 etapas adaptada a la nom ISO 25010 las cuales versan sobre la usabilidad de software y aplicaciones para desempeñar la capacitación.

En cuanto a la usabilidad es definida como

> Cualidad de la página web o del programa informático que son sencillos de usar porque facilitan la lectura de los textos, descargan rápidamente la información y presentan funciones y menús sencillos, por lo que el usuario encuentra satisfechas sus consultas y cómodo su uso. [6].

Mientras que otros autores [7] lo refieren como "la facilidad con que un usuario puede utilizar una herramienta fabricada por otras personas con el fin de alcanzar un cierto objetivo". La norma ISO 25010 [8] la refiere como

> Capacidad del producto software para ser entendido, aprendido, usado y resultar atractivo para el usuario, cuando se usa bajo determinadas condiciones. Esta característica se subdivide a su vez en las siguientes subcaracterísticas:
> Reconocibilidad de la adecuación. Capacidad del producto que permite al usuario entender si el software es adecuado para sus necesidades.
> Aprendizabilidad. Capacidad del producto que permite al usuario aprender su aplicación.
> Operabilidad. Capacidad del producto que permite al usuario operarlo y controlarlo con facilidad.
> Protección contra errores de usuario. Capacidad del sistema para proteger a los usuarios de hacer errores.
> Accesibilidad. Capacidad del producto que permite que sea utilizado por usuarios con determinadas características y discapacidades.

Amaya Franky, G. citada por [9, p. 390] refiere que

> Los entornos de simulación aplicados a la educación reemplazan en gran medida el contexto de realidad, generando un entorno propicio para el aprendizaje situado, siempre y cuando presenten una interfaz que posibilite al aprendiz la representación de un evento con las características que presentaría un sistema real.
>
> [10] señala que las demostraciones son una técnica expositiva, en el ámbito del elearning se plasman en recursos multimediales que, por ejemplo, imitan el funcionamiento de sistemas, sin interacción del usuario. Esto le permite al usuario observar un comportamiento- procedimiento- acción sea de un sistema, software, modelo, etc.
> Las demostraciones virtuales tienen como objetivo exponer un contenido o explicación de manera demostrativa mediante recursos visuales sin participación del usuario.

Un trabajo [11, p. 126] sobre capacitación del personal operativo responsables de subestaciones eléctricas señala que:

 ISSN: 2007 8102

> …las herramientas correctas se pueden simular todos los procesos inherentes a las operaciones de subestaciones eléctricas, la capacidad de generar situaciones detallas para cada variable de control, mejora la escalabilidad y confiabilidad del simulador. El rendimiento de estos entornos virtuales para la capacitación de aspectos técnicos y de maniobra en el área de subestación son relevantes por el tipo de aplicación. El simulador como herramienta complementaria representa ventajas en la comprensión y experimentación del escenario.

Otro trabajo sobre el uso de simuladores en el adiestramiento de residentes en el sector de medicina señala la importancia del uso de simuladores virtuales respecto a la laparoscopia, su objetivo fue evaluar el efecto de las prácticas estructuradas en simuladores de visión directa y la adquisición de destrezas básicas en tres días de capacitación continua durante tres horas diarias, realizando 6 ejercicios dicha investigación puso en practica a 15 médicos residentes sin experiencia previa en laparoscopia, se tomo el tiempo de ejecución antes de la capacitación y al termino de esta los resultados fueron una comprobación de la diferencia entre ambas medias de tiempo, sin importar el ejercicio, lo que significa que la capacitación con simuladores laparoscópicos da mayor habilidad y concluyeron que el simulador laparoscópico es una herramienta viable para desarrollar habilidades en residentes y personas sin experiencia previa. [12]

Un trabajo más en el mismo sector de la medicina enfocado al impacto del entrenamiento con simuladores de alta definición para mejorar las destrezas y conocimientos al enfrentar emergencias relacionadas con la Sepsis Obstétrica, derivado de la problemática de muerte de mujeres y niños en el embarazo señalando que para esto es indispensable la buena preparación y la obtención de una capacitación eficaz del personal, su objetivo fue evaluar el impacto al entrenarse con simuladores en el proceso de enseñanza aprendizaje para el personal de salud, realizaron un test previo y uno posterior a la capacitación el estudio se aplico a 111 médicos obstetrices sus resultados señalan que los participantes expresaron satisfacción ante el uso del simulador y concluyeron que el nivel de capacitación y actualización que presentan los médicos y obstetrices es moderado a bajo y la capacitación mediante el uso de simuladores, mejora el nivel de conocimiento. [13]

Un trabajo mas sobre capacitación con simuladores señala con mayor porcentaje que es buena así lo refiere [14] La investigación tuvo como objetivo determinar la relación de la capacitación y entrenamiento en simulador camión con las competencias de los colaboradores de la Compañía Minera Miski Mayo, Sechura 2019. El tipo de investigación fue correlacional, transversal, los resultados señalan que el nivel del factor de capacitación y entrenamiento, es regular, donde se denota que un 31.3% de colaboradores quienes manifiestan que es deficiente, malo y regular; mientras el 68.7% confirma que es bueno y óptimo; el nivel de las competencias, es regular, donde se denota un 37.5% de colaboradores quienes manifiestan que es deficiente, malo y regular; mientras el 62.6% confirma que es bueno y óptimo; en conclusión la relación de la capacitación y entrenamiento en simulador camión y las competencias de los colaboradores de la Compañía Minera Miski Mayo, Sechura 2019, es directa, en un 84%; la relación de la capacitación y entrenamiento en simulador camión es significativa en las competencias de los colaboradores de la Compañía Minera Miski Mayo.

Una investigación realizada por [15] sobre el impacto del uso de los simuladores en el proceso de la enseñanza-aprendizaje de la asignatura de física en educación general básica concluye que el uso de simuladores por parte de los docentes tiene un impacto positivo. Los simuladores mejoran la comprensión de los conceptos abstractos fomentan el aprendizaje activo personalizado y permiten a los estudiantes experimentar con situaciones complejas de forma segura y controlada

El vincular las herramientas tecnologías a la capacitación podría presentar una mejora en la implementación del proceso ya que puede presentarse de manera sincrónica o asincrónica y permite a quien toma la capacitación repasar las veces que sea necesario las temáticas para desempeñar con certeza las labores encomendadas.

La metodología DECIER permite la vinculación de la capacitación y la tecnología estas 2 como un solo proceso de capacitación el cual consta de 5 etapas [Figura 1], en la primera se presenta el diagnostico aquí se realiza una prueba para identificar conocimientos, recursos, objetivos, y con ello hacer un análisis de problemáticas y necesidades esta etapa es desempeñada por el capacitador y el personal a capacitar, en una segunda etapa una vez identificadas las necesidades del usuario se le presenta el aplicativo con el cual va a trabajar, se le muestra como esta constituido, como va a operarlo se establecen los beneficios que ofrece y que se espera obtener, en la tercera etapa se pone en práctica el uso del aplicativo en la cual el sujeto utiliza de manera consiente la herramienta pues sabe los resultados que podrá obtener permitiendo un mejor control de su tiempo en las actividades conociendo las normas y legalidad vigente, asociando la parte teórica con la práctica y los

ISSN: 2007 8102

conocimientos previos que posee y mejorando sus habilidades con los recursos tecnológicos, en la cuarta etapa se da la evaluación esta etapa permite medir el avance que presenta el usuario ya que se compara con los resultados iniciales esto ayuda a identificar de manera objetiva y exacta si faltara algún tema por repasar los resultados son enviados al capacitador pero también al sujeto capacitado [Figura 2], y finalmente la sexta etapa la retroalimentación y el control

Fig.1 Proceso de capacitación por aplicación



Nota [16] basado en el proceso de Dessler, Varela, y en el de la universidad de chile, con elementos del aprendizaje virtual

 ISSN: 2007 8102



Fig.2 Etapas evaluación, retroalimentación y control. Basado en el Proceso de capacitación por aplicación.

Metodología

El estudio es de carácter cualitativo descriptivo, porque se busca analizar las características del proceso de capacitación por aplicación respecto a la opinión de los participantes sobre el grado de satisfacción respecto a la capacitación otorgada esta se midió con base a las variables de usabilidad que otorga la nom ISO 25010.

Materiales

Para conocer estos datos se aplicó un instrumento (cuestionario) a escala tipo Likert en el que los rubros era 5 (totalmente de acuerdo, de acuerdo, neutral, desacuerdo y totalmente desacuerdo), este cuestionario se conformo por 30 preguntas enfocadas a conocer si la capacitación brindada era adecuada y cubría su necesidad, el aprendizaje obtenido, la facilidad de operación y control del aplicativo, la capacidad de reducción de errores, si el lenguaje, material, y ejercicios de simulación que manejaba el aplicativo eran propio de la profesión y entendibles para el personal de la entidad económica del departamento de contaduría, cabe resaltar que este departamento estaba conformado por 8 hombres y 7 mujeres de los cuales 13 ya tenían experiencia en el área y 2 acababan de ingresar y la edad de los participantes oscilaba entre los 20 y los 57 años. Se les otorgo una aplicación para capacitación de las funciones que realizaban o realizarían el aplicativo se puso en ejecución durante 5 días 2 horas diarias, obteniendo una evaluación inicial y una final.

Con la finalidad de comprender la recolección de datos del método empleado se describe el proceso el cual se llevo a cabo en 6 etapas señalando que inmerso en este proceso se encuentra las fases de la metodología DCIERC

Etapas del proceso

Primera etapa: Se envió un oficio a la administración para solicitar poner en practica el proceso de capacitación por aplicación y conocer la utilidad que tiene en los trabajadores del departamento de contaduría.

Segunda etapa: En esta etapa se acudió al departamento de contabilidad de la empresa se presento el proyecto, se explicó el objetivo, una vez realizado lo anterior se procedió a mostrar el aplicativo se indicó que estaba diseñado para dispositivos Android, las características del aplicativo, su contenido basado en elementos teóricos, ejemplos, ejercicios prácticos y escenarios de simulación se explicó en qué consistía el proceso de capacitación que se implementaría.

 ISSN: 2007 8102

Tercera etapa: El capacitador inicio por realizar una prueba para conocer el dominio que tiene sobre las actividades realizadas en el departamento, los conocimientos teóricos y metodológicos que posee, el dominio legal y normativo, así como las actualizaciones, una ves realizado lo anterior se adecuo el aplicativo a las necesidades del departamento, se proporciono la herramienta tecnológica a través de vía bluetooth a los usuarios cada uno decidió el dispositivo donde lo instalaría, una vez instalado el aplicativo observaron su contenido.

Cuarta etapa: Los contadores comenzaron a utilizar el aplicativo, pusieron en práctica experiencias y conocimientos previos hicieron la comparación con los elementos que posee la herramienta tecnológica, a los nuevos miembros se les presento escenarios de operaciones reales que realizarían en sus funciones cotidianas y a los demás se les presento casos donde debían realizar las operaciones con respecto a los cambios en la normatividad contable y financiera, resolvieron las actividades y presentaron las evaluaciones que ponía el aplicativo, ya realizadas obtuvieron sus resultados y la retroalimentación.

Quinta etapa: El capacitador señalo las áreas que faltaba por reforzar y alentó los esfuerzos haciendo énfasis en los resultados positivos que se obtuvieron con el uso del aplicativo. Al termino de la capacitación por aplicación se les solicito contestar un instrumento en el que indicarían su opinión y evaluación respecto a la utilidad de la app para la capacitación.

Sexta etapa: Una vez obtenido el instrumento se capturo la información para su procesamiento y análisis con el paquete estadístico estadístico Statical Package for the Social Sciencies (SPSS, Versión 20.0®).

Primero se realizó un análisis descriptivo, teniendo como finalidad obtener un panorama general sobre los resultados, posteriormente se ejecutó un análisis a través de la aplicación de las medidas de tendencia central en las variables de edad y género, al igual que por cada una de las variables independientes que conforman la usabilidad, para obtener la opinión de los usuarios sobre la usabilidad del proceso de capacitación por aplicación.

Por último, se realizó un análisis inferencial, para sustentar las aseveraciones de los usuarios a través de la correlación de Pearson para conocer el grado de correlación que existe entre las variables independientes y la regresión lineal identificando las variables que influyen en la usabilidad.

Resultados y discusión

La población a quien se aplicó la muestra se conformó por 15 sujetos del departamento de contaduría donde el 100% acepto voluntariamente participar en el estudio. El 53% (n = 8) eran hombres y el 47% (n=7) mujeres, en quienes se implementó el proceso de capacitación por aplicación utilizando dispositivos móviles, tabletas y laptop. [Figura 3]. En este estudio existe una variación por genero del 6% entre los participantes, sin embargo, refleja una posibilidad de implementación del PCPA entre géneros.

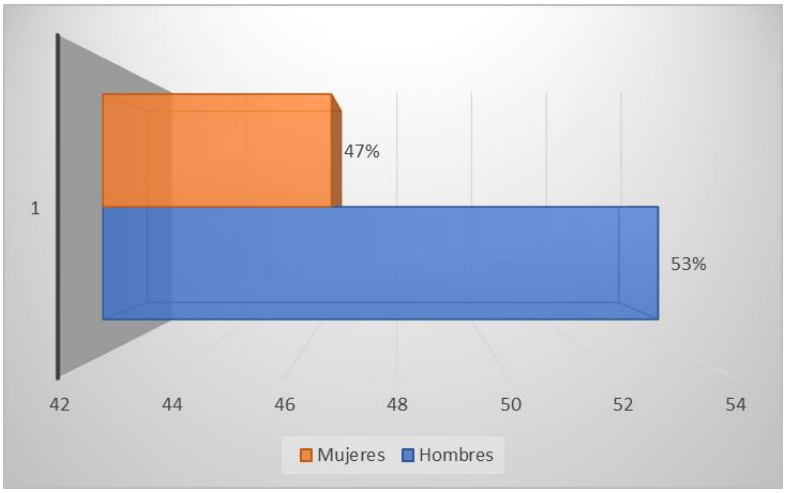


Fig.3. Distribución de la muestra por genero del departamento de contaduría

La edad de los sujetos oscilaba entre los 20 y 57 años, el 13.33 % (n = 2) tenían 20 años, el 20.0% (n = 3) tenían 28 años, el 13.33 % (n = 2) tenían 36 años, el 13.33 % (n = 2) tenían 42 años, el 26.67% (n= 4) tenían 50 años y

 ISSN: 2007 8102

el 13.33 % (n = 2) tenían 57 años, el dato mas representativo corresponde a los sujetos con 50 años. [Figura 4]. Ellos poseían más de 20 años de experiencia laboral y todos los sujetos se encontraban familiarizados con el uso de la tecnología.

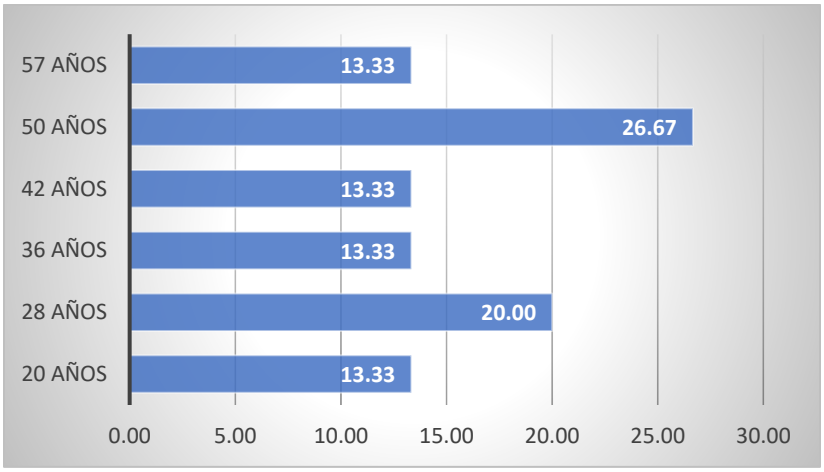


Fig.4. Distribución de la muestra por edad

Los criterios de evaluación considerados son Media (μ) y Desviación Estándar (σ) como factores descriptivos de la usabilidad, de acuerdo con la muestra se encontró que la opinión de los usuarios está de acuerdo con tendencia a estar totalmente de adecuado respecto a la usabilidad de la PCPA en cada una de sus variables: reconocimiento de la adecuación, aprendizabilidad, operabilidad, protección contra errores de usuarios, accesibilidad. [Tabla 1] La opinión de los usuarios representa un alto nivel en la variable de reconocimiento a la adecuación (μ = 4.66 y una desviación estándar de 0.298), respecto a la aprendizabilidad (μ= 4.73 con desviación estándar de 0.442), mientras que la operabilidad (μ= 4.83 con una desviación estándar de 0.349, tratándose de la protección contra errores de usuario (μ= 5.0 con desviación estándar de 0.0) y finalmente la accesibilidad (μ= 4.93 con desviación estándar de 0.249), lo cual representa una tendencia en las variables para el cumplimiento del proceso de capacitación, los datos señalan que la desviación estándar se encuentra casi uniforme, lo que refiere una opinión similar de la usabilidad del proceso de capacitación por aplicación.

Tabla1
Factores que conforman la usabilidad

Variables de la usabilidad	Media	Desv. Estandar
Reconocimiento de la adecuación	4.666666667	0.298142397
Aprendizabilidad	4.733333333	0.442216639
Operabilidad	4.833333333	0.349602949
Protección contra errores de usuario	5	0
Accesibilidad	4.933333333	0.249443826
Total	4.833333333	0.267881162

Nota: las variables se tomaron de la norma ISO 25000

Con base en la relación entre las subescalas y la usabilidad, se denota una gran correlación en todos los factores [Tabla 2]. En la correlación de Pearson se obtuvieron quince correlaciones de un total de quince posibles. Las correlaciones con mayor impacto fueron protección contra errores de usuario y el reconocimiento de la adecuación (r= 0.986), seguido por accesibilidad y aprendizabilidad (r= 0.984), lo cual indica que los usuarios consideran al proceso como seguro y al utilizar la tecnología y simuladores les brinda confianza, lo cual se ve complementado con la aprendizabilidad porque consideraron mayor facilidad en los contenidos en la distribución de tiempos, en el diseño y presentación del material.

 ISSN: 2007 8102

En cuanto a la usabilidad se obtuvieron solo correlaciones positivas de relevancia con base al reconocimiento de la adecuación (r= 0.945), la aprendizabilidad (r= 0.975), la operabilidad (r= 0.910), la protección contra errores de usuario (r= 0.955), y la accesibilidad (r= 0.926); como se muestra no hubo variables con las que no se presentara una relación significativa para la usabilidad del PCPA.

Tabla 2.
Correlación de Pearson.

Variables de usabilidad						
	Reconocimiento de la adecuación	Aprendizabilidad	Operabilidad	Protección contra errores de usuario	Accesibilidad	Usabilidad
Reconocimiento de la adecuación	1					
Aprendizabilidad	.914**	1				
Operabilidad	.948**	.955**	1			
Protección contra errores de usuario	.986**	.918**	.907**	1		
Accesibilidad	.953**	.984**	.973**	.957**	1	
Usabilidad	.945**	.975**	.910**	.955**	. 926**	1

Los coeficientes de determinación (r^2) mostraron el nivel en que cada variable independiente predice el comportamiento de la dependiente. Los resultados muestran que el comportamiento de las variables reconocimiento de la adecuación, aprendizabilidad, operabilidad, protección contra errores de usuario, y accesibilidad predicen en un 95.0% el comportamiento de la variable usabilidad del proceso de capacitación por aplicación.

Trabajo a futuro

Como trabajo futuro se pretende asistir a mas entidades para poner en practica el proceso de capacitación por aplicación y poder aumentar la muestra para analizar si se obtienen los mismos resultados positivos y con ello dar un mayor sustento a la metodología implementada.

Conclusiones

El proceso de capacitación por aplicación obtuvo resultados positivos haciendo de la capacitación tradicional una mejora realizando con eficacia la labor de capacitar resulta llamativa para quien lo implementa, al analizar que la opinión de los sujetos se encontraba de acuerdo en las variables que fomentaban la utilidad con tendencia a estar totalmente de acuerdo da esperanza al proyecto pues lleva a esta metodóloga a mostrar un grado de satisfacción en quien imparte y quien recibe la capacitación, los participantes consideraron al proceso de capacitación por aplicación como un proceso de utilidad y a la aplicación como idónea para el aprendizaje de tareas y actualización, al cumplir con las variables que especifica la norma 25010 para la usabilidad.

El aumentar las habilidades y conocimiento que poseen los sujetos a capacitar es una constante tanto en los resultados obtenidos como en los trabajos referidos en esta investigación por otros autores, la implementación de la capacitación con herramientas tecnológicas contribuye a mejorar el aprendizaje, reduce tiempos de operación y errores; en el caso de los sujetos nuevo comentaron que les fue más fácil entender sus funciones ya que el conocimiento que tienen de sus clases universitarias es diferente a la practica dentro de la entidad económica, mientras que los demás sujetos se encontraban conformes con lo aprendido y con la aplicación, es por ello que se considera que el tener una aplicación que contenga de manera clara y precisa los elementos esenciales teóricos, metodológicos, prácticos, ejemplos y adecuarlos a casos muy concretos reales que simulen operaciones y las funciones a desempeñar es de utilidad y relevancia para el personal del departamento de contabilidad.

 ISSN: 2007 8102

Estos resultados nos permiten inferir que este tipo de capacitación puede ser utilizada no solo en esta entidad si no que es ajustable a cualquier entidad económica sin importar su tamaño o actividad, por lo tanto, nos da la posibilidad de probar este proceso en otras entidades y en otros departamentos para visualizar si los resultados coinciden con lo obtenido en esta investigación.

En esta investigación se cumplió con el objetivo que era evaluar el proceso de capacitación por aplicación y se resolvió la pregunta de investigación afirmando que el proceso de capacitación por aplicación es una buena alternativa de entrenamiento. La limitación que se encontró es que la muestra fue pequeña y que el capacitador encargado debe ser experto en la materia para orientar correctamente el aplicativo a las necesidades de los usuarios. El beneficio es que la empresa se puede quedar con la aplicación y puede capacitar a cualquier otro sujeto que se incorpore a este departamento sin la necesidad de volver a contratar a otro capacitador ni mover de sus funciones a un trabajador con experiencia generando un ahorro y por tanto menor costo al otorgar capacitación.

Referencias

[1] Cámara de diputados y congreso de la unión, «Constitución Política De Los Estados Unidos Mexicanos,» México, 2023.

[2] Cámara de diputados del H. congreso de la unión, «Ley Federal Del Trabajo,» México, 2023.

[3] Secretaria del trabajo y previsión social, «ACUERDO por el que se dan a conocer los Lineamientos de Operación del Programa de Capacitación a Distancia para Trabajadores.,» DOF, México, 2021.

[4] Asociación Mexicana de Secretarios de Desarrollo Económico, A.C., Secretaria de economia, «Comunicado 448/19 Productividad y competitividad de las micro, pequeñas y medianas empresas,» 2019. [En línea]. Available: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2019/especiales/ENAPROCE2018.pdf.

[5] Cofide Capacitación empresarial, «Falta de capacitación: riesgos de no capacitar a tu equipo de trabajo,» 2023. [En línea]. Available: https://www.cofide.mx/blog/falta-de-capacitacion-riesgos-de-no-capacitar-a-tu-equipo-de-trabajo.

[6] Oxford Lenguajes, «Usabilidad,» 2023. [En línea]. Available: https://languages.oup.com/products/dictionary-solutions/. [Último acceso: 03 02 2023].

[7] J. Pérez Porto y M. Merino, «Usabilidad,» Definición de, 06 06 2023. [En línea]. Available: https://definicion.de/usabilidad/.

[8] International Organization for Standardization, «Norma ISO 25010,» 2022. [En línea]. Available: https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010/23-usabilidad.

[9] N. Quintana, A. H. González y ,. J. M. Pereyra, «Simulador en linea para capacitacion de individuos hipoacusicos adultos,» *XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación,* pp. 386-396, 2020.

[10] M. Ballatore, «El diseño de simulaciones para la capacitación empresarial,» [En línea]. Available: http://www.americalearningmedia.com/edicion-013/150-analisis/1401-el-diseno-de-simulaciones-para-la-capacitacion-empresarial-. [Último acceso: 19 11 2022].

[11] A. Tovar, «imulador 3d para capacitación del personal operativo en subestaciones eléctricas de 138kv/24kv,» *TELEMATIQUE,* vol. 22, nº 1, pp. 105-127, 2023.

[12] R. R. Arredondo Merino, y L. E. Gallardo Valencia, «Uso de simuladores en el adiestramiento de residentes,» *Ginecol Obstet Mex,* vol. 80, nº 06, pp. 400-408, 2012.

[13] R. P. Garzón Arcos y A. G. Oña Añamise, mpacto del entrenamiento con simuladores de alta definición para mejorar las destrezas y conocimientos al enfrentar emergencias relacionadas con la Sepsis Obstétrica en el personal de salud de primer nivel del distrito 17d03 de la ciudad de Quito, Quito, Ecuador, 2020.

[14] J. F. Espinoza Agüero, Capacitación y entrenamiento en simulador camión y las competencias de los colaboradores de la Compañía Minera Miski Mayo, Sechura 2019, Perú, 2020.

[15] D. A. Quizhpi Montero, El impacto del uso de los simuladores en el proceso de la enseñanza–aprendizaje de la asignatura de física en educación general básica, Ecuador, 2023.

ISSN: 2007 8102

[16] J. P. B. Guadarrama, «Desarrollo de un proceso de capacitación por aplicación mediante el aprendizaje mixto para MiPymes en México,» *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo,* vol. 14, nº 27, 2023.

 ISSN: 2007 8102

Aplicación de la metodología Design Thinking en una empresa familiar denominada Churrería Rocha

Edmundo Juárez Martiñón[1], María de Lourdes Ruiz Tejeda[2] , Patricia Leonor Tejeda Polo[3,] Alma Delia Hernández Vargas[4]*
Instituto Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, edmundo.jm@teziutlan.tecnm.mx, [2], Instituto Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, maria.rt@teziutlan.tecnm.mx, [3] Instituto Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, patricia.tp@teziutlan.tecnm.mx, Instituto Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, alma.hv@teziutlan.tecnm.mx.

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

En este documento se presentan los resultados obtenidos en la empresa “Churrería Rocha” del municipio de Misantla, Veracruz. La churrería lleva aproximadamente 19 años en el mercado en un establecimiento fijo ubicado en la zona centro. La competencia ha hecho que sus ventas disminuyan y reconocen su poca interacción con el cliente y el desconocimiento de sus gustos y preferencias. Tampoco tienen ninguna estrategia de mercadotecnia .
Se aplicó una encuesta a los clientes para medir el grado de satisfacción e identificar las necesidades y preferencias de los clientes actuales y potenciales. Se sugirió el uso de redes sociales para darse a conocer.

Mediante la herramienta de Innovación Empresarial denominada Desing Thinking permitió empatizar con los clientes, definir las necesidades y preferencias, idear las estrategias de mejoramiento en la interacción con cliente, prototipar las mejoras del producto y servicio así como evaluar su posible impacto y efectividad.

***Palabras clave**: Design Thinking, empatizar, prototipar, Innovación empresarial*

Abstract

This document presents the results obtained in the company “Churrería Rocha” in the municipality of Misantla, Veracruz. The churrería has been on the market for approximately 19 years in a fixed establishment located in the downtown area. The competition has caused their sales to decrease and they recognize their little interaction with the customer and the lack of knowledge of their tastes and preferences. They also have no marketing strategy.
.
A survey was applied to customers to measure the degree of satisfaction and identify the needs and preferences of current and potential customers. The use of social networks to make yourself known was suggested.

Through the Business Innovation tool called Design Thinking, it allowed us to empathize with customers, define needs and preferences, devise improvement strategies in customer interaction, prototype product and service improvements, as well as evaluate their possible impact and effectiveness.

***Key words**: : Design Thinking, empathize, prototype, Bussinnes Innovation.*

Introducción

La situación problemática que se plantea en este trabajo es que la empresa Churros Rocha, que ha estado en funcionamiento durante aproximadamente 19 años, es que no ha desarrollado una identidad corporativa ni tiene presencia en plataformas digitales. Esto ha llevado a un bajo reconocimiento por parte de los consumidores en un mercado donde las empresas no solo venden productos o servicios, sino también experiencias y emociones.

La metodología utilizada permitió que la empresa Churros Rocha reconociera que el Design Thinking es una herramienta que le permite acercarse a sus clientes, aplicando sus 5 etapas dentro de su organización a fin de mantenerse en el ambiente competitivo en su tipo; a pesar de no ser la única metodología de innovación empresarial representa ser la más utilizada por los administradores por su interacción con el cliente.
Existen metodologías que pueden contribuir al desarrollo e innovación de las empresas, en este punto se debe señalar que cada empresa es única, por lo que es importante la elección de la metodología de innovación que se adapte a las necesidades y recursos de la misma.

En el entorno empresarial actual, la identificación de las necesidades del cliente y la promoción a través de plataformas digitales son fundamentales para mantenerse competitivo. En este contexto, se propone utilizar el Design Thinking como herramienta para abordar estos desafíos y mejorar la situación de la empresa pues es una herramienta poderosa que se puede aplicar a empresas de cualquier tamaño, incluyendo las microempresas como Churros Rocha ya que se enfoca en la resolución de problemas de manera creativa y centrada en el usuario, lo que puede ser de beneficio al encontrar soluciones innovadoras y adaptadas a las necesidades de los clientes.

Dicha metodología cuenta con varias etapas en donde se establecen los parámetros necesarios para la obtención de las propuestas, la primera fase o etapa es Empatizar con los clientes, que comienza por comprender las necesidades y deseos de los mismos; la segunda es Definición de problema, que se realiza después de recabar la información lo que permite la definición clara del problema a abordar; tercera etapa, Ideación que es la organización de las ideas con el equipo de trabajo con la finalidad de generar ideas creativas, animando a todos a realizar participaciones o aportes; la etapa cuatro es el prototipado que consiste básicamente en prototipar las soluciones más prometedoras en maquetas, dibujos o representaciones visuales, una vez que se materializa la idea se pone a prueba (testeo) lo que da la oportunidad de realizar las modificaciones y ajustes necesarios para finalmente llegar a la evaluación que permite la solución de la problemática inicial y la visualización de áreas de oportunidad.

Es de suma importancia que la colaboración, la creatividad y la empatía contribuyan a la toma de decisiones, que puedan dar contribuciones valiosas para las microempresas para que logren una diferenciación en el mercado y a su vez ofrezcan productos y servicios que puedan resolver las necesidades de los clientes.

Metodología

Materiales

A fin de realizar esta investigación se tuvieron a la vista datos de la empresa Churros Rocha a fin de poder aplicar la metodología de Innovación empresarial y posteriormente validar mediante la técnica de encuesta a sus clientes actuales y potenciales.

Preparación

Después de aplicar la metodología de Innovación Empresarial denominada Desing Thinking en sus 5 etapas a la empresa Churros Rocha se procedió a conocer las expectativas de sus clientes actuales y potenciales.

Desarrollo

A continuación, se presenta el diseño de la Investigación:.

- **Tipos de investigación cuantitativa**
- **Alcance: Descriptiva, Explicativa, Transversal o transeccional.**
- **Método: Deductivo.**
- **Técnica: Encuesta**
- **Instrumento: Cuestionario tipo cerrado**
- **Unidad de análisis;** Universo, población y muestra. [1]
    - Universo: Para efectos de esta investigación el universo comprende un numero infinito de clientes.
    - Población: Para efectos de esta investigación, será la misma que la mencionada en el universo la cual consiste en un numero infinito de clientes.
    - Muestra:

- Clientes: Para el segmento clientes se utiliza la fórmula para la determinación del tamaño muestra con población infinita (no se conoce el numero) la cual es la siguiente: $n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2}$
  - Donde:
  - N= tamaño de muestra buscado.
  - Z= Valor de tablas o nivel de 1.96
  - E= error de estimación 5%
  - P= Probabilidad de que ocurra éxito
  - Q= (1-p) Probabilidad que no ocurra el evento
  - 95% de confiabilidad
  - 5% de margen de error.
- Después de aplicar la formula del tamaño muestral con un grado de confiabilidad del 95% y 5% de margen de error, se obtiene el tamaño muestral es de 308 clientes a los cuales se le aplica el instrumento denominado cuestionario
  - El 95% en orden céntrico.

- Recolección de la información
  - Para realizar la recolección de la información se realizaron los siguientes pasos:
    - 1.- Se integra el instrumento denominado cuestionario mediante lluvia de ideas de cada uno de los integrantes desarrollando 15 preguntas o ítems.
    - 2.- Se procedió a integrar el cuestionario final y se aplicó a la población sujeta de estudio (clientes).

Resultados y discusión

Primeros resultados

A fin de poder establecer la 1ra fase, se realizó una revisión teórica de autores que hablan sobre la metodología de Innovación empresarial de la herramienta de negocios denominada Desing Thinking.

Design thinking

Transformación se refiere a una nueva Sociedad de la Creatividad, en la que todos somos productores y consumidores de valor. Transformación toma lo mejor de Design Thinking y la "innovación" y los integra en unas guías estratégicas desconocidas e inciertas. Por ello en los últimos años, Design Thinking ha ganado popularidad. Se ve como un nuevo paradigma para hacer frente a problemas en sectores tan lejanos como tecnologías de la información, negocios, educación y medicina.

El interés en Design Thinking ha sido provocado por las organizaciones que tienen que lidiar con situaciones problemáticas complejas, sin embargo, no es la única herramienta disponible. Es posible considerar además sobre la forma de pensar de forma creativa en la solución de problemas utilizando metodologías como TRIZ (teorija rezhenija izobretatelskih zadach: teoría de la solución creativa de problemas) o QFD (Quality Function Deployment: Despliegue de la Función de Calidad).

Design Thinking es una metodología que impregna todo el espectro de actividades de innovación con un espíritu de diseño centrado en el hombre. Lo anterior demuestra que la innovación es impulsada por un profundo conocimiento a través de la observación directa. Se debe conocer lo que las personas quieren y necesitan en sus vidas, y lo que les gusta o disgusta de la forma en que determinados productos se hacen, se empacan, se comercializan, se venden o responden al servicio post venta. Como enfoque, el Design Thinking se nutre de la capacidad que todos tenemos, pero que se pasan por alto por las prácticas de resolución de problemas más convencionales. No solo se centran en la creación de productos y servicios, se basa en la capacidad para: ser intuitivo, reconocer patrones, construir ideas con significado emocional, funcional, y expresarse en los medios de comunicación que no sean palabras o símbolos. Nadie quiere dirigir una organización centrada en: el sentimiento, la intuición, y la inspiración, pero un exceso de confianza en lo racional y lo analítico puede ser también arriesgado. El Design Thinking es escalable y se aplicar gradualmente para mejorar las ideas existentes (por ejemplo, cómo se entrega un servicio o como un producto funciona para el usuario). Este puede ser aplicado radicalmente para crear soluciones disruptivas que satisfagan las necesidades de las personas en formas completamente nuevas. [2]

ISSN: 2007 8102

En palabras de Ideo, una reconocida firma de diseño, "el Design Thinking sigue una secuencia de actividades que incluyen investigar, crear, probar y refinar. Estas actividades no son siempre lineales y se pueden abordar de forma iterativa, dependiendo del contexto y los resultados obtenido" [3]

Según Tim Brown, uno de los principales exponentes del Design Thinking, esta metodología implica "una disciplina que utiliza la sensibilidad y los métodos de los diseñadores para hacer coincidir las necesidades de las personas con lo que es tecnológicamente factible y con lo que una estrategia viable puede convertir en valor para el cliente".

Recordando que en el Design Thinking el cliente se relaciona principalmente con dos grandes conceptos que son el placer y las emociones, lo cual hace que estos conceptos lleven a ser predictor de la lealtad. [4]

El Design Thinking sigue un proceso iterativo compuesto por varias fases, que incluyen la comprensión del problema, la generación de ideas, la prototipación y la prueba. Estas etapas permiten a los equipos abordar los desafíos de manera creativa y sistemática, fomentando la innovación y la mejora continua. [2]

Segundos resultados

En esta segunda fase y gracias a los datos proporcionados por la Churrería Rocha se aplican de manera práctica las 5 etapas del Desing Thinking tal y como se presenta a continuación:

Design Thinking para la empresa CHURROS ROCHA

Como metodología para la innovación de la empresa, se decide aplicar el Design Thinking, desarrollando sus 5 etapas De acuerdo al autor Brown, 2008, con la intención de detectar áreas de oportunidad para la mejora de esta. Analizando la forma de acercarse en primera instancia al dueño y empleados para obtener información y poder obtener, las observaciones que se tienen respecto a la forma de operar actual de la empresa, para posteriormente generar posibles soluciones y evaluar su viabilidad de aplicación.

1.- Empatizar

Primero se realizó una plática directamente con el dueño de la empresa para obtener información acerca del funcionamiento del negocio, teniendo como ventaja la cercanía con uno de los integrantes del equipo, además de que dicho integrante también laboró en esa empresa, tras recibir la información se le hizo saber al dueño algunas de las áreas de oportunidad que se puede partir para un mejoramiento de la empresa [2]:

- Innovar la parte de publicidad dándole presencia en medios digitales.
- Mantener al tanto a los clientes ya fieles a la empresa sobre fechas, lugar, número de contacto, etcétera sobre la empresa.
- Dar recomendaciones de proveedores con precios más accesibles y de la mejor calidad.

2.- Definir

Una vez lograda la empatía, se identificaron las siguientes necesidades [2]:

Point Of View

- Tener contenido digital veraz.
- Dar a conocer el producto por medio de redes sociales.
- Que los clientes tengan acceso rápido a información del producto.
- La falta de comunicación a usuarios con el producto.
- Falta de conocimiento en el manejo de las redes sociales por parte del dueño.

3.- Idear

Teniendo en cuenta las necesidades identificadas, se idearon las siguientes soluciones [2]:

Lluvia de ideas

- Crear redes sociales en donde se hagan publicaciones como fotos, horarios, precios, promociones, información de los puntos de venta, etc., sobre la tienda y el producto, la cual los clientes y más usuarios tengan conocimiento de la empresa.
- Al momento de contar con reseñas en las publicaciones, dar mejoras en el servicio que se dé, para seguir teniendo mejores ventas.

- Establecer horarios que se acoplen a las necesidades de los consumidores y dar respuestas inmediatas a las dudas que tengan los clientes.
- Dar capacitación al dueño para que también tenga conocimiento del uso de las redes sociales y así, él mismo pueda manejar las cuentas de su negocio.
-

Tabla1.1 Preguntas hechas al personal de Churros Rocha

¿Qué?	Publicidad del producto por medio de redes sociales mediante las plataformas más reconocidas y usadas por los usuarios.
¿Cómo?	Crear una comunidad de usuarios que conecten emocionalmente con la marca. Con estas herramientas digitales se tendrá presencia en los medios digitales y captar nuevos clientes.
¿Cuándo?	Destinar una semana para la creación de las páginas de la empresa en las redes sociales, y realizar publicaciones de la ubicación en la que se encuentra en el momento, así mismo realizar las demás publicaciones del producto cada tercer día, y si es posible diariamente, indicando promociones y disposición.
¿Dónde?	Contar un perfil empresarial en Facebook, Instagram, Twitter, etc.
Requisitos	Atraer a la audiencia a través de contenidos útiles y atractivos. Emplear artículos, videos, fotos, imágenes, entre otros recursos que ayuden a posicionar en los motores de búsqueda, se emplean diversas tecnologías (como computadoras, celulares, redes sociales, etc.) e internet.

Técnica: SCAMPER

Así mismo se le aplicó la Técnica de SCAMPER preguntándole al dueño y empleados los siguientes cuestionamientos:

Sustituir: El uso de publicaciones individuales en cuentas personales de cualquier red social sobre la empresa mediante la creación de una página en cada red social más usada en la ciudad que opera la empresa.
Combinar: La fabricación tradicional del producto (churros) lo cual es uno de los puntos atractivos de la empresa con el uso de tecnologías para la difusión de este negocio dándole así innovación a la empresa.
Adaptar: La publicidad tradicional que los negocios utilizaban, a los nuevos y menos costosos métodos que se tienen al alcance gracias a la tecnología.
Modificar: La manera tradicional y excesivamente tardada de realizar la venta de churros en la empresa minimizando los tiempos de entrega, esto mediante el contacto directo que ofrece una red social cliente-vendedor haciendo pedidos con anticipación para así únicamente llegar a recoger dicho pedido.
Proponer: Aumentar el atractivo de realizar churros de forma artesanal plasmándolo en las páginas que se le realicen para disponibilidad de la empresa, asegurando que sea visible esto para los lectores de internet.
Eliminar: La abstinencia de publicitar a la empresa en medios digitales debido a la falta de conocimiento del tema que esté presente.
Reorganizar/invertir: La funcionalidad del negocio mediante la implementación de las acciones dichas en la problemática identificada.

4.- Prototipar

 ISSN: 2007 8102

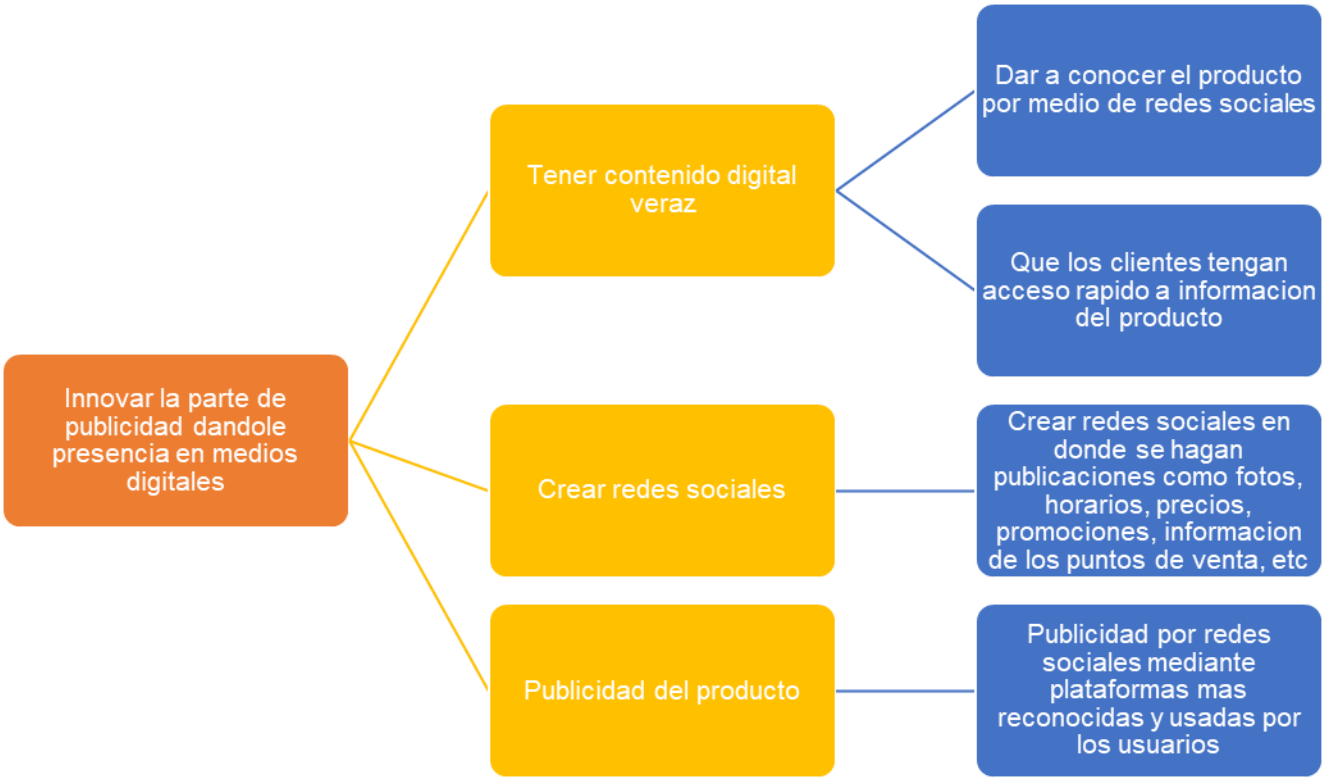


Figura 1.1 Etapa prototipar en la empresa Churros Rocha adaptado de Brown

5.- Evaluar

Cuestionario

De acuerdo a sugerencia de empleados y dueño de Churrería Rocha sugieren las siguientes preguntas hacer a los clientes actuales y potenciales:

1. La propaganda y publicidad, ¿Satisface la identificación de la empresa con tus clientes?
2. ¿Considera que facilitamos la comunicación con el cliente?
3. ¿Le gustaría que se proporcionen algunas ofertas a los clientes mediante plataformas digitales?
4. ¿Participaría en dinámicas por medio de plataformas digitales?

Terceros resultados

En esta tercera fase se aplicó un Instrumento a los clientes actuales y potenciales de churrería Rocha a fin de conocer las expectativas de ellos y saber mediante los resultados de la segunda fase que se comprobará que la metodología del Desing Thinking le permite a la empresa orientar sus esfuerzos a las necesidades de sus clientes.

Clientes actuales y potenciales

Se aplicó el Instrumento al segmento de la población clientes actuales y potenciales obteniendo la siguiente información:

Se le pregunto el ítem 1.- ¿Le gusta comprar en esta churrería?, a lo que las respuestas son las siguientes

Tabla 1.2. Repuestas del ítem 1.

Ítem 1.-			Total
a)	b)	c)	
si	no	tal vez	
276	17	15	308

De la presente tabla se puede observar que el 89.71% le gusta el producto de la empresa churros Rocha lo cual se puede inferir que está en el gusto del consumidor local y que tiene buena presencia dentro del consumidor final.

Se le pregunto el ítem 2.- ¿Si esta empresa tiene presencia en medios digitales le comprarían más?, a lo que la contestación fue la siguiente;

Tabla 1.3 Respuestas del ítem 2.

Ítem 2.-	a)	b)	c)	total
	Si	no	tal vez	
	290	15	3	308

De la presente tabla se puede observar que el 94.15% respondió que si la empresa cuenta con presencia en medios digitales aumentaría sus clientes, lo cual se puede inferir que de existir cambios en la presencia de la empresa en medios digitales es factible que llegue a estar en mayores segmentos de mercado.

Se le pregunto el ítem 3.- ¿Cuál o cuáles postres consume con frecuencia?, a lo que la contestación fue la siguiente;

Tabla5.1.4 Respuestas del ítem 3.

Ítem 3.-	a)	b)	c)	total
	Churros	Galletas	Pan	
	253	36	19	308

De la presente tabla se puede observar que el 82.14% respondió que con frecuencia prefieren consumir churros, lo cual se puede inferir que está en el gusto del consumidor, lo que hace palpable la oportunidad de incursionar en mayor grado dentro del mercado churros Rocha.

Se le pregunto el ítem 4.- ¿Dónde compra churros normalmente?, a lo que la contestación fue la siguiente;

Tabla 1.5 Respuestas del ítem 4.

Ítem 4.-	a)	b)	c)	total
	Tienda de barrio.	Tienda en la calle	Panadería	
	269	26	13	308

De la presente tabla se puede observar que el 87.33% respondió que normalmente compra sus churros en las tiendas de barrio, lo cual se puede inferir que la industria de los churros representa una oportunidad para churros Rocha de ingresar a un mercado local con el apoyo de herramientas mercadológicas y de Innovación empresarial pues a la mayoría de la gente el gusto y preferencia por los churros sigue siendo una preferencia entre el público consumidor.

Se le pregunto el ítem 5.- ¿Con que frecuencia compra usted churros?, a lo que la contestación fue la siguiente;

Tabla 1.6. Respuestas del ítem 5.

Ítem 5.-	a)	b)	c)	total
	Una vez a la semana.	Una vez cada 2 semanas.	Una vez al mes.	
	238	55	15	308

 ISSN: 2007 8102

De la presente tabla se puede observar que el 77.27% respondió si consume churros con frecuencia, lo cual se puede inferir que está en el gusto del consumidor el producto y que este consumo puede incrementar la idea de negocios de churros Rocha.

Se le pregunto el ítem 6.- ¿Es accesible el precio que le da la empresa?, a lo que la contestación fue la siguiente;

Tabla 1.7. Respuestas del ítem 6.

Ítem 6.-	a) Si	b) no	c) tal vez	total
	286	16	6	308

De la presente tabla se puede observar que el 92.85% respondió que si es accesible el precio que les brinda la empresa churros Rocha, lo cual se puede inferir que el costo de los churros es accesible para toda la familia lo cual permite que la idea de innovación empresarial de churros Rocha pueda fortalecerse en la participación del mercado local y regional

Se le pregunto el ítem 7.- ¿Le gustaría probar churros combinados?, a lo que la contestación fue la siguiente;

Tabla 1.8. Respuestas del ítem 7.

Ítem 7.-	a) Si	b) no	c) tal vez	Total
	249	38	21	308

De la presente tabla se puede observar que el 80.84% respondió que, si le gustaría probar churros combinados, lo cual se puede inferir que está en el gusto del consumidor la posibilidad de ingresar nuevos tipos de productos secundarios que le permitan estar en el gusto y preferencia del consumidor final y posicionarse en el mercado local y regional.

Se le pregunto el ítem 8.- ¿Cree usted que tener un signo distintivo y una imagen digital seguirá comprando en la empresa Churros Rocha?, a lo que la contestación fue la siguiente;

Tabla 1.9. Respuestas del ítem 8.

Ítem 8.-	a) Si	b) no	c) tal vez	
	259	35	14	308

De la presente tabla se puede observar que el 84.09% respondió que, si les gustaría que la empresa cuente con un signo distintivo y una imagen digital, lo cual se puede inferir que está en el gusto del consumidor, pero que le puede ser de mayor impacto la presencia de Churros Rocha en el medio digital y por tanto en la memoria de ellos como consumidores finales.

Últimos resultados

Se puede establecer mediante los resultados presentados que la aplicación de las 5 etapas del Design Thinking le permite a la empresa Churros Rocha Conocer las expectativas de sus clientes aplicándole de forma práctica esta técnica de Innovación empresarial y le permite conocer las expectativas de sus clientes actuales y potenciales y que a través de lo preguntado al cliente principal el gusto por los churros sigue siendo un área de oportunidad para posicionarse en el mercado local y regional donde se encuentra la empresa churros Rocha.

Trabajo a futuro

A fin de que la empresa churrería Rocha pueda mantenerse en el sector competitivo a nivel local y regional será necesario aplicarle algunas herramientas administrativas como la Planeación Estratégica a fin de que la propia empresa continué con un rumbo definido y claramente Planeado de forma estratégica.

Conclusiones

En general, los clientes actuales y potenciales están de acuerdo con el desarrollo de la publicidad y propaganda de la empresa por medio de plataformas digitales, considera que es un proyecto completo y ha dado respuestas favorables así mismo en cuanto al segmento de clientes al preguntarle sobre las expectativas del producto y su forma de alcanzar un mayor sector de mercado recomiendan el producto y la innovación de la empresa churros Rocha como viable y capaz de ingresar a otros mercados de manera regional.

Pues de acuerdo al crecimiento de nuevas empresas pequeñas se debe principalmente por el incremento en número de empleados, sus ventas, su tecnología y su capacidad para aprender y desaprender. [5]

Agradecimientos

A la empresa Churrería Rocha de Misantla, Veracruz por su participación y permitir a los investigadores desarrollar su trabajo en beneficio del conocimiento amplio de la opinión de sus clientes.

Referencias

[1] H. S. Roberto, Metodología de la Investigación, 8va. Edición ed., México: McGraw Hill, 2019.

[2] T. Brown, «Design Thinking. Harvard Business Review América Latina,» *Harvard Business Review América Latina,* p. 10, 2008.

[3] Ideo, «The Field Guide to Human-Centered Design.,» 2015.

[4] F. M. Prieto, Design Thinking para el turismo: Técnicas para el diseño de experiencias memorables, Buenos Aires, Argentina: Editorial Ugerman editor, 2022.

[5] V. R. Varela, Políticas para Pyme y gestión de empresa familiar, vol. 3, Santiago de Calli Colombia: Universidad Icesi, 2011.

[6] D. Kelley, Creative Confidence: Unleashing the Creative Potential Within, Estados Unidos: Us All. Currency., 2015.

ISSN: 2007 8102

La cultura organizacional como factor de la supervivencia en las EF en un entorno competitivo.

Rosa Mayela Mendoza Esparza[1], Rebeca Hernández Torres[2], Saúl Hernández Amparan[3], Andrés Mauricio García Gómez[4]*
[1]Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes rosa.mendoza@utna.edu.mx, [2]Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes rebeca.hernandez@utna.edu.mx, [3]Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes saul.hernandez@utna.edu.mx, [4]Unidades Tecnológicas de Santander agarcia@correo.uts.edu.co

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

La supervivencia empresarial se mide mediante el tiempo de permanencia en el mercado [1] de las empresas; teniendo en cuenta que, el proceso de adaptación de poblaciones empresariales mediante sus estructuras organizativas al entorno generan una selección natural empresarial en el mercado, o en su defecto, las empresas que no respondan a los cambios ambientales se enfrentarán al desorden, al declive y a la posible muerte [2]; por lo tanto, enfoques como la ecología de las organizaciones enfatiza el interés de medir la supervivencia de las empresas en el mercado. El objetivo de esta investigación, fue identificar la cultura organizacional dominante en 20 empresas familiares del Estado de Aguascalientes, desde la perspectiva de su fundador, explorando la posibilidad de que exista una relación entre el tipo de cultura dominante del instrumento OCAI, con respecto de la competitividad en el mercado; concluyendo no existe correlación significativa entre las variables de estudio.

***Palabras clave**: Cultura organizacional, Supervivencia, Competitividad, Empresa Familiar.*

Abstract

Business survival is measured by the time companies remain in the market [1]; taking into account that the process of adaptation of business populations through their organizational structures to the environment generates a natural business selection in the market, or failing that, companies that do not respond to environmental changes will face disorder, decline and the possible death [2]; therefore, approaches such as the ecology of organizations emphasize the interest of measuring the survival of companies in the market. The objective of this research was to identify the dominant organizational culture in 20 family businesses in the State of Aguascalientes, from the perspective of its founder, exploring the possibility that there is a relationship between the type of dominant culture of the OCAI instrument, with respect to the competitiveness in the market; concluding there is no significant correlation between the study variables.

***Key words**: Organizational culture, Survival, Competitiveness, Family Business.*

Introducción

El ranking a nivel mundial de competitividad de IMD (International Institute for Mannagement Development) del Word Competitiveness Center, destaca la importancia de las prácticas generenciales, así como las actitudes y valores dentro de una empresa dentro de su indicador de eficiencia de negocios [3]. México ocupa el sitio 49 de 63 en el ranking mundial de competitividad de IMD [4] sobre el desarrollo de prácticas gerenciales, y en el lugar 51 respecto a el desarrollo de actitudes y valores empresariales; a nivel nacional, otro de los índices que evalúa factores conyunturales y estructurales, es el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) [5], el cual categoriza el crecimiento y el desarrollo de los estados en 10 subíndices, de los cuales destacan los relativos a: *Relaciones Internacionales*; *Innovación*; y *Precursores* [6].

 ISSN: 2007 8102

En este contexto, al generar competitividad en el mercado las empresas familiares también, generan empleo, desarrollo profesional y humano [7], [8]; ya que, aportan por lo menos con el 85 por ciento del Producto Interno Bruto en México (PIB), equivalente al 90 porciento de las unidades de negocio [9]. Por todo lo antes mencionado; la economía a nivel nacional tiene un interés sobre la supervivencia de las empresas; puesto que, se busca identificar la temporalidad y variación de eventos que ocasionan la salida del mercado de las empresas. [10] referencia en su investigación titulada “la supervivencia como arma estratégica en mercados turbulentos”, la importancia de la superviencia en el mercado, al asegurar una rentabilidad del capital mendiante el aumento de ventas y la estrategia de reinversión con el fin de obtener mayores utilidades y consolidar la supervivencia a largo plazo.

Es así que, desde el enfoque administrativo de las empresas familiares, es de relevancia la manera en que se desarrollan las prácticas gerenciales, así como las actitudes que se desarrollan por parte de los integrantes de la familia, además de los valores inculcados por el fundador de la empresa; con la dinámica del día a día, la empresa familiar fortalece la cultura organizacional de la empresa 3familiar, generando competitividad en el mercado. Al desplegar estos elementos, las empresas familiares desarrollan su particularidad principal; que es la dependencia de los lazos familiares en la gestión administrativa [11], al mismo tiempo que la generación de utilidades; además de brindar supervivencia en el mercado a la empresa, con el fin de perservar el negocio en la familia; así mismo, la manera de interrelación familiar facilita la competitividad en el mercado [12].

En México no se tiene un censo específico sobre las empresas familiares, sin embargo, diversos estudios refieren que 9 de cada 10 empresas son de carácter familiar [12].

Revisión de Literatura. La cultura organizacional en la empresa familiar como factor de supervivencia en un entorno competitivo.

El concepto de competitividad es empleado tanto a nivel nación como empresarial; en los casos empleados a nivel empresa, se vincula con la participación en el mercado [13]; de acuerdo con la Ley para el Desarrollo de la Competitividad de la Micro, Pequeña y Mediana empresa en su artículo 3, fracción IV, define la competitividad como:

[…] calidad del ambiente económico e institucional para el desarrollo sostenible y sustentable de las actividades privadas y el aumento de la productividad; y a nivel empresa, la capacidad para mantener y fortalecer su rentabilidad y participación de las mipymes en los mercados, con base en ventajas asociadas a sus productos o servicios, así como a las condiciones en que los ofrecen.

En su investigación [14] identificó algunas variables “causales” que conllevan a la estructura y gestión organizacional de una empresa, las cuales son: diseño organizacional, políticas organizacionales, estilo de administración, liderazgo, estrategias organizacionales, tecnologías utilizadas y controles aplicados en la misma; la importancia de su referencia es que estas variables como su nombre dice, son generadas de las causas de comportamientos en la empresa dando como resultados otras variables conocidas como “implicadas”, las cuales son actitudes, percepciones, motivaciones, compromisos, y el comportamiento tanto grupal como individual de los miembros de la empresa; resultando en indicadores de productividad, competitividad, rentabilidad, éxito de la empresa, satisfacción y calidad.

Por lo tanto, la cultura organizacional es una herramienta de adaptación para enfrentar la variabilidad coyuntural [15]; ya que, permite a los miembros de la empresa reconocer amenazas en el entorno y desarrollar soluciones que permiten la adaptación al ambiente [16]; es por ello, que la cultura organizacional cumple con dos retos relevantes, el primero es obtener supervivencia de la empresa al genear adaptación a los cambios externos; lo que incluye la generación de estrategias en consideración a metas específicas que marca el mercado; la cultura a nivel país influye en los factores externos a los que se debe adaptar la empresa; elementos como costrumbres, normas sociales, valores dominantes, forma de gobierno; generan tendencia de proceder de las empresas [17].

Diversos investigadores de la cultura organizacional han demostrado el vínculo entre la percepción de la cultura y los resultados en la organización, siendo el caso de la efectividad en la organización [18]; uno de los instrumentos que es empleado para realizar diagnóstico de la cultura es el instrumento OCAI, el cual se basa en valores fundamentales, supuestos compartidos entretejidos en la organizacióny enfoques comunes de trabajo

 ISSN: 2007 8102

[19]. Para la construcción del instrumento se generaron una lista de 39 indicadores recabados de revisión de literatura que median la efectividad organizacional [20], los cuales fueron reducidos dando como resultado dos dimensiones y cuatro factores ubicados en dimensiones de efectividad organizacional; los cuales delinean un modelo de cuatro factores que clasifica la cultura orientando a dos vertientes: estabilidad contra flexibilidad laboral y enfoque interno contra enfoque externo de la organización [19],[20].

Por ende, la correlación positiva entre la cultura y la efectividad organizacional, mostrada en diversas investigaciones [21], [22],[23], puede proporcionar una representación realista de su cultura actual de una empresa; por lo que, el instrumento OCAI se aplica en las relaciones culturales con otras variables organizacionales; además, de identificar las características de los arquetipos culturales y su dinámica de relación; esta misma relación refuerza la ecología organizacional [24], la cual se enfoca en la supervivencia de las empresas con base a la selección natural organizacional, esto debido a que, el actuar que desarrollen los integrantes de la familia genera un efecto en el progreso de la empresa y viceversa.

Metodología

En este artículo examinamos las propiedades psicométricas de una importante medida de diagnóstico de la cultura organizacional: el Instrumento de Evaluación de la Cultura Organizacional; se propone examinar los siguientes aspectos de validación del modelo de OCAI [20]:

- Explorar cada categorias de la cultura ideal con el objetivo de explorar la posibilidad de que estas categorias se ajusten a las empresas familiares del estado de Aguascalientes.
- Identificar cual es la cultura dominante en 20 de las empresas del estado de Aguascalientes, con base en la percepción de su fundador.
- Se explora la posibilidad de que exista una relación entre el tipo de cultura dominante del instrumento OCAI, con respecto de la competiividad (La competitividad en el mercado en este estudio, se mide a través de la superviviencia de las empresas) en el mercado.

El instrumento OCAI valida la dimensionalidad de cuatro culturas dominantes, a continuación se muesta cada una de las culturas dominantes con sus características: es un modelo desarrollado por [35], con el propósito de identificar los indicadores de efectividad en la empresa, clasifican a la cultura en cuatro cuadrantes, cada uno con un fundamento distinto hasta llegar a la oposición en cada uno de ellos. Los cuatro tipos de cultura que propone el modelo son: a) Clan, b) Ad-hoc, c) Jerarquizada y d) Mercado; muestran el grado de flexibilidad ante los cambios de la organización, por parte de sus integrantes o si se puede considerar a la cultura estable y controlada ante los cambios [20].

Esta investigación empleó una metodología de corte mixto, aplicando el instrumento OCAI a 20 fundadores de empresas familiares de diferentes giros en el estado de Aguascalientes, fundamentándose en estudios de caso, de manera transversal, con una muestra por conveniencia, conglomerada en el centro de la ciudad de Aguascalientes [25].

Apartado de análisis estadísticos

La confiabilidad (*i.e.* consistencia interna) del instrumento fue evaluada mediante el coeficiente Alfa ordinal de Cronbach utilizando una matriz de correlaciones policóricas. Este coeficiente es más eficiente que el alfa de Cronbach para evaluar la consistencia interna de los instrumentos que se presentan como datos ordinales con escala Likert (1= totalmente de acuerdo y 5 totalmente en desacuerdo), debido a que las relaciones entre este tipo de variables no se ajustan a una distribución lineal [26].

Con el objetivo del probar la hipótesis de que la cultura empresarial está asociada a la competitividad de mercado se realizó un análisis factorial exploratorio AFE mediante una matriz de correlaciones policóricas. Lo anterior, con el objetivo de reducir las dimensiones del instrumento (OCAI [cultura dominante]). La adecuación de los datos para el AFE fue evaluada mediante las pruebas de esfericidad de Bartlett y Keiser-Meyer-Olkin (KMO). Para

 ISSN: 2007 8102

conocer el número de factores a extraer se realizó el criterio Kaiser que sugiere retener aquellos factores con *eiguen values* mayores a uno [27], y el análisis paralelo [28]. Se utilizó el método de rotación de factores "promax" al asumir la hipótesis de que los factores estaban correlacionados. Debido a que los factores no estaban correlacionados se utilizó el método de rotación "varimax" que asume que los factores no están correlacionados entre sí. El método de estimación de factores utilizado fue el de Máxima Verosimilitud. Se realizó un análisis de regresión lineal múltiple paso a paso (*stepwise*) mixto utilizando como estimador el criterio de información de Akaike (AIC) con los factores (scores [se utilizaron los puntajes que representan la contribución de cada observación (empresa) en los factores extraídos) transformados [54] del AFE. Lo anterior, con el objetivo de encontrar los factores (cultura dominante) que explican de mejor manera la competitividad de mercado (supervivencia). Con el objetivo de probar la valides del modelo, se contrastaron los residuales del modelo con respecto del predictor resultante (MR3) para observar la linealidad del predictor. También, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks. La variabilidad constante de los residuos se analizó con la prueba de Breusch-Pagan (homocedasticidad). Los análisis estadísticos se llevaron a cabo en el lenguaje de programación R versión 4.2.1 "Funny-Looking Kid".

Resultados y discusión

Resultados.

En el Cuadro 1 se observan los estadísticos descriptivos del instrumento. Todos los ítems presentaron un Alfa ordinal de Cronbach superior a 0.7. El resultado del presente estudio indica que existen cuatro factores (MRI, MR2, MR3, y MR4 [Figura 1]) probablemente relacionados con la dimensionalidad de las cuatro culturas dominantes. La prueba KMO sugieren que los datos son factorizables (MSA=0.61), pero sugieren que se deberían omitir algunos ítems que estén por debajo de un MSA=0.59. La prueba de esfericidad de Barttlet sugiere que existe relación entre los ítems (P=0.01) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Prueba de Barttlet y KMO.

Kaiser-Mayer-Olkin Medida de adecuación de la muestra		0.61
Prueba de esfericidad de Barttlet	Chisq	26529.92
	Df	276
	sig.	0.01

El criterio de Kaiser y el análisis paralelo (Figura 1) sugieren que los cuatro primeros factores (MRI, MR2, MR3, y MR4) son los adecuados. En el Cuadro 2 se observa las cargas estandarizadas de cada uno de los factores. También, se observa la varianza de cada variable que puede ser explicada por cada uno de los factores (comunalidades) y la varianza de cada variable que no puede ser explicada por los factores extraídos.

Cuadro 2. Cargas estandarizadas mediante la rotación "varimax", comunalidades y unicidades.

Item	MR1	MR2	MR3	MR4	Unicidades	Comunalidades
a22	0.81	0.15	0.12	0.09	0.3	1.1
a21	0.8	0.19	-0.18	0.3	0.204	1.5
a5	0.75	-0.21	0.34	0.04	0.277	1.6
a1	0.64	-0.07	-0.26	0.11	0.507	1.4
a16	0.02	0.86	0.12	0.05	0.255	1
a12	0.43	0.78	0.37	-0.18	0.038	2
a13	0.6	0.69	0.17	-0.24	0.075	2.4
a15	0.16	0.54	0.48	0.18	0.427	2.4
a11	0.1	0.48	0.34	0.22	0.594	2.4

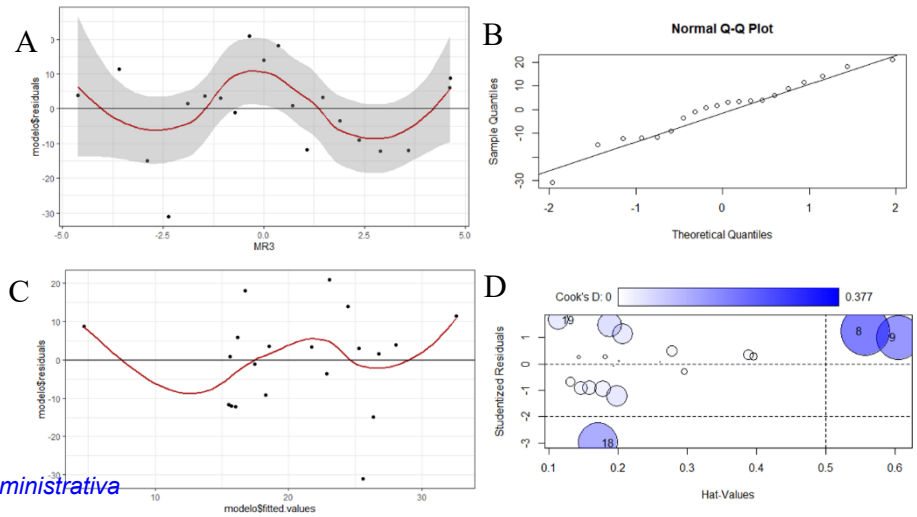
 ISSN: 2007 8102

a24	-0.08	0.4	-0.08	-0.09	0.821	1.3
a19	-0.21	0.3	0	0.14	0.841	2.3
a23	0.03	0	-0.63	-0.01	0.606	1
a17	-0.23	0.49	-0.52	0.38	0.3	3.2
a22	-0.1	-0.04	-0.51	-0.18	0.69	1.3
a9	0.43	0.16	0.5	0.23	0.485	2.6
a18	0.21	0.21	-0.49	-0.07	0.671	1.8
a14	0.01	0.09	0.47	-0.13	0.753	1.2
a3	0.1	0.08	0.47	-0.13	0.746	1.3
a10	0.01	-0.06	-0.13	0	0.978	1.5
a20	-0.01	0.09	-0.39	0.74	0.295	1.5
a8	0.46	-0.23	0.29	0.74	0.116	2.3
a6	0.2	-0.02	-0.14	0.73	0.411	1.2
a7	0	0.21	0.39	0.7	0.313	1.8
a4	0.53	-0.39	0.36	0.54	0.143	3.6

Nota: las cargas factoriales, unicidades y comunalidades se obtuvieron utilizando el método “minres” y rotación “varimax”

El ítem que está más correlacionadas con el factor MR1 es el a22 (0.81), que corresponden con la pregunta 22 “La organización define el éxito sobre la participación de mercado”. En cambio, el ítem que presenta una mayor correlación con el factor MR2 es el a16 que corresponde con la pregunta 16 “Se percibe la unidad de la organización con base en la innovación y desarrollo”. El factor MR3 presenta una mayor correlación con el ítem a23 que corresponde a la pregunta 23 “La empresa mide su éxito fundamentado en el capital humano que lo integra”. El factor MR4 presenta una correlación de 0.74 con las variables a20 y a8 que corresponde con las preguntas 8 “Se percibe el liderazgo como instrumento de coordinación, con el fin de la eficiencia” y 20 “Se destaca la permanencia y la estabilidad entre sus miembros de la familia en la empresa”. Los cuatro factores representan el 55% de la varianza explicada por el modelo. Lo anterior, sugiere que los cuatro factores extraídos son capaces de explicar la cultura dominante de las 20 empresas familiares del municipio de Aguascalientes, Ags.

De acuerdo con el análisis de regresión múltiple el modelo que representa de mejor manera la competitividad de mercado está representado por un solo factor (MR3) $modelo\ lineal = supervivencia \sim -0.361MR3$. Sin embargo, el modelo únicamente es capaz de explicar el 20 % de la variabilidad observada. Así mismo, el p valor sugiere que el modelo no es significativo (P= 0.4). Lo que significa que probablemente sea necesario implementar otros estudios en el que se incremente el número de observaciones. En la Figura 3 se observa que se satisface todos los supuestos para este tipo de correlación múltiple. Cuatro observaciones se consideran atípicas (8, 9 y 18), podrían influir de manera notable en las conclusiones del modelo.



 ISSN: 2007 8102

Figura 3. Supuestos del análisis de regresión múltiple. A= Linealidad; B= Normalidad (P valor=0.4); C=homocedasticidad (P valor=0.7); y D= datos atípicos.

Discusión.

Con base en los resultados del análisis estadístico, se identifican los objetivos del estudio:

Primero, se buscó explorar cada categorias de la cultura ideal con el objetivo de explorar la posibilidad de que estas categorias se ajusten a las empresas familiares del estado de Aguascalientes; identificando los supuestos compartidos entretejidos en la organización, entre la cultura organizacional y los enfoques de trabajo de las 20 percepciones de los fundadores; el instrumento OCAI fungió como herramienta de filiación en la busqueda de una relación con la competitividad; objetivo que se logró al aplicar el instrumento OCAI, por la característica del instrumento que relaciona la cultura organizacional con otras variables organizacionales como lo son: dinamismo y toma de riegos, apertura y apoyo, trabajo competitividad y logro, y control y seguimientos del proceso.

Además, se identificó la cultura dominante en 20 de las empresas del estado de Aguascalientes, con base en la percepción de su fundador, que la capacidad competitiva de sus empresas enfocada en la cultura organizacional de mercado, cumpliendosé el objetivo, destacando características causales en su gestión; este tipo de cultura dominante se orientada en un enfoque externo, con características que relacionan a la cultura a la competitividad, impulsada por las transacciones con organismos externos con el fin de obtener una ventaja competitiva, elemento de importancia que integra el instrumento OCAI y al mismo tiempo perciben los fundadores, como son: “Se percibe el liderazgo como instrumento de coordinación, con el fin de la eficiencia”, “La empresa mide su éxito fundamentado en el capital humano que lo integra”, El liderazgo de la organización es generalmente usado para coordinar, organizar o mejorar la eficiencia”; en particular, las antes mencionadas, son características de las estrategias empleadas por los fundadores, que se relaciona más entre la competitividad en el mercado para resultar en la supervivencia dentro de las empresas familiares en consideración a que el fundador se encuentra gestionando la empresa.

Este estudio exploró la posibilidad de existencia una relación entre el tipo de cultura dominante del instrumento OCAI, con respecto de la competividad en el mercado; con base en el análisis de regresión múltiple el modelo de competitividad en correlación con la cultura organizacional dominante solo se explica el 20% de corelación; por lo que el p valor sugiere que el modelo no es significativo (0.4); lo que indica que no existe evidencia en la población de estudio; infiriendo el tamaño de la muestra como factor de resultado en la evidencia de correlación; lo que significa que probablemente sea necesario implementar otros estudios en el que se incremente el número de observaciones.

Aunado a esto, se destacan dos características de estrategia que no pertenencen a la cultura organizacional dominante de mercado, las cuales son: “Se percibe la unidad de la organización con base en la innovación y desarrollo”, perteneciente a la cultura organizacional dominante Ad-hoc y “Se destaca la permanencia y la estabilidad entre sus miembros de la familia en la empresa” perteneciente a la cultura dominante Jerarquizada; ambas características identifican factores relevantes de las empresas familiares y a su vez de la competitividad empresarial, la primera hace referencia a la innovación, la cual destaca la creación o modificación de productos o servicios con el fin de supervivencia en el mercado, y la segunda característica se enfoca a la gestión estructura de las actividades de los integrantes de la familia dentro de la empresa familiar; las cuales se consideran atípicas, podrían influir de manera notable en las conclusiones del modelo.

En contraste con los resultados obtenidos; revisión de literatura del estado de Aguascalientes [29], hace referencia que las culturas organizacionales dominantes en las empresas familiares con rendimiento en el mercado (factor competitivo) se orientan al estilo de liderazgo clan en su mayor parte; descartando la cultura organizacional dominante estilo mercado; este estudio hace incapié en la aplicación del instrumento OCAI en todos los

 ISSN: 2007 8102

integrantes de la empresa familiar a diferencia de la percepción del fundador como es el caso del presente estudio; por lo que nuestra muestra se ampleará con el fin de identificar el objetivo planteado considerando una muestra robusta.

Conclusiones

Esta investigación desarrolla la evidencia que la generación de estrategias de las empresas familiares, originan al mismo tiempo dos factores importantes relacionados; el primer factor interno es la generación de cultura dominante, donde cada empresa familiar destaca las características más notables, reflejando sus elementos de integración organizacional; el segundo factor es la supervivencia de la empresa familiar en el mercado; ya que con las mismas estrategias que generan la cultura organizacional, se logra desarrollar estrategias de mercado que abarcar factores que buscan desarrollar una ventaja competitiva externa en su producto, el mercado, y la competencia.

Esta investigación empleó una metodología de corte mixto fundamentándose en estudios de caso, explora desde la percepción de 20 fundadores de empresas familires de diferentes giros en el centro de Aguascalientes, de manera transversal, con una muestra por conveniencia, conglomerada; cuyo objetivo principal fue identificar la cultura organizacional dominante, desde la perspectiva de su fundador, explorando la posibilidad de que exista una relación entre el tipo de cultura dominante del instrumento OCAI, con respecto de la competitividad en el mercado.

La premisa de identificación de cultura organizacional dominate se cumple bajo las pruebas de estadísticas descriptivas presentaron un Alfa ordinal de Cronbach superior a 0.7, indicando que existen cuatro factores en los que se agrupan la cultura organizacional dominante con los elementos de medición del instrumento OCAI, además, el estudio de criterio de Kaiser y el análisis paralelo muestra cargas estandarizadas de cada uno de los factores; identificando la particularidad que dichos fundadores aún se encuentran desarrollando la gestión administrativa de sus empresas familiares, distinguiendo el parámetro tiempo, que se mide en las empresas familiares desde el ciclo de vida en donde destaca la participación del fundador en la toma de decisiones

No obstante, bajo el análisis de regresión múltiple el modelo, únicamente es capaz de explicar el 20 % de la variabilidad observada, así mismo, el p valor sugiere que el modelo no es significativo; dados los resultados obtenidos, la segunda premisa que explora la posibilidad de la existete relación entre la cultura organizacional y la competitividad en el mercado, es concluida bajo la probabilidad de implementar otros estudios en el que se incremente el número de observaciones.

Referencias

[1] Hannan, & J. Freeman, “The Population Ecology of Organizations”, American Journal of Sociology, 82, 929-964. 1977

[2] INEGI, Esperanza de vida al nacer por sector económico, *Esperanza de vida de los negocios en México*, Aguascalientes, INEGI,2015. Obtenido de http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/investigacion/Experimentales/Esperanza/default.aspx

[3] G. Huber, & A. Mungaray, “Los índices de competitividad en México”, *Gestión y Política Pública* vól XXVI, no. 1, p.p. 167-218, 1405-1079, 2017.

[4] International Institute for management Development, IMD World Competitiveness Booklet, 978-2-9404485-52-9 https://www.imd.org/centers/wcc/world-competitiveness-center/rankings/world-competitiveness-ranking/

[5] Instituto Mexicano para la Competitividad, IMCO. “Índice de competitividad estatal 2022”, 2022, Obtenido de https://imco.org.mx/: https://imco.org.mx/indice-de-competitividad-estatal-2022/

[7] Gorzeń-Mitka, I. (2015). Family Business to Improve Management Paradigm – Selected Cross- cultural Remarks. Journal of Intercultural Management. Vol. 7, No. 1, January 2015, pp. 97– 109. Recuperado de: https://www.degruyter.com/view/j/joim.2015.7.issue-1/joim-2015- 0006/joim-2015-0006.xml

[8] R. Garfías & G. Alejo, Las empresas familiares como base en el desarrollo económico local en el estado de San Luis Potosí, Vinculategica, 2020

[9] J. Leyva, “Empresas familiares representan el 90% de las unidades de negocio de México”, *El financiero* 2022, Obtenido https://www.elfinanciero.com.mx/economia/2022/02/10/empresas-familiares-representan-el-90-de-las-unidades-de-negocio-de-

mexico/#:~:text=En%20M%C3%A9xico%2C%20las%20empresas%20familiares,reconocieron%20especialistas%20en%20estas%20empresas

[10] L. Arce, "La supervivencia como arma estratégica en mercados turbulentos", Perspectivas, n. 19, pp. 61-73, 2007
https://www.liderempresarial.com/9-de-cada-10-empresas-en-mexico-son-familiares/

[11] R. Carlock, & J. Ward, "La excelencia en la Empresa Familiar", Palgrave McMillan, España, 2010.

[12] J. Contreras "9 de cada 10 empresas en México son familiares", Líder empresarial, 2022

[13] UNCTAD, Informe sobre las inversiones en el Mundo, Naciones Unidas, 2004, https://unctad.org/es/system/files/official-document/wir2004overview_sp.pdf

[14] I. Chiavenato, "Comportamiento Organizacional", La dinámica del éxito en las organizaciones, Mc Graw Hill Educación, 2009

[15] B. Schneider, M. Ehrhart, & W. Macey, "Organizational climate and culture", Annual Review of Psychology, 64, 361-388 2013

[16] E. Barugel, "Un código de buenas prácticas para la supervivencia de la Empresa Familiar", *Revista temas de management*. Universidad de la CEMA pp 17-22(2008).

[17] D.Hellriegel & J. Slocum, "Comportamiento Organizacional", Décima edición, Thompson, 2005

[18] B. Heritage, C. Pollock & L. Roberts, Validation of the Organizational Culture Assesment Instrument, Plos One, 9(3), 2014

[19] R. Hernández, "Exploración del Modelo de los Valores en Competencia en el medio laboral mexicano y su vinculación con el clima organizacional" 2008, Obtenida https://www.udec.edu.mx/tesis/Hern%C3%A1ndez-Sampieri.Propuesta%20de%20un%20Sistema%20b%C3%A1sico%20de%20indicadores%20de%20desempe%C3%B1o%20y.pdf

[20] Cameron, K. & Quinn, R. "Diagnosing and Changing Organizational Culture", Ed. San Francisco, CA: Jossey-bass, 2011

[21] T. Virtanen, "Commitment and thestudy of organizacional climate and culture" N.M. Ashkanasy, C.P. Wilderom, y M. F. Peterson Eds., Handobook of organizational culture & climate, pp 339-354, Thousand Oaks, CA, EE. UU: Sage 2000

[22] T. Bañegil, A. Barroso, & J. Tato, "Profesionalizarse, emprender y aliarse para que la empresa familiar continúe", *Revista de Empresa Familiar, 1(2), 27-41* 2011.

[23] B. Hollander, & W. Bukowitz, "Mujeres, cultura familiar y empresa familiar", Obtenido de Family Firm Institute, Inc. (1990). Obtenido de http://www.ffi.org/search/all.asp?bst=mujeres+cultura+familiar+y+empresas+familiares

[24] Hannan, & J. Freeman, "The Population Ecology of Organizations", American Journal of Sociology, 82, 929-964. 1977

[25] R. Hernández, "Exploración del Modelo de los Valores en Competencia en el medio laboral mexicano y su vinculación con el clima organizacional" 2008, Obtenida https://www.udec.edu.mx/tesis/Hern%C3%A1ndez-Sampieri.Propuesta%20de%20un%20Sistema%20b%C3%A1sico%20de%20indicadores%20de%20desempe%C3%B1o%20y.pdf

[26] B. Verhulst & M. Neale, Best Practices for Binary and Ordinal Data Analyses, PubMed, 51, 3, 204-214, 2021

[27] Guttman, L. A New Approach to Factor Analysis: The Radex. In P. F. Lazarsfeld (Ed.), Mathematical Thinking in the Social Sciences pp. 258-348. New York: Free Press, 1954.

[28] Horn, J. L. A rationale and test for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika, 30*(2), 179–185, 1965, https://doi.org/10.1007/BF02289447.

[29] D. García, M. González y S. Vivanco; Cultura empresarial y rendimiento de la Pyme en el estado de Aguascalientes; Revista de Economía, vol. XXVII, núm. 75, segundo semestre de 2010.

ISSN: 2007 8102

Desarrollo de una metodología para la construcción de modelos de gestión del conocimiento basado en técnicas de RBC de inteligencia artificial

Nayelly Rosas Gallardo[1], Eduardo Roldán Reyes[2], Guillermo A. Arrioja Carrera[3], Fernando Aguirre y Hernández[4], Nuria Ortega Petterson[5]*

[1]Departamento de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/ I.T. Orizaba Oriente 9, Emiliano Zapata, 94320 Orizaba, Ver.

rgnaye9@gmail.com

***Área de participación**: Ingeniería Administrativa*

Resumen

El presente artículo plantea una metodología para la construcción de un modelo de gestión de conocimiento basado en razonamiento basado en casos (RBC) para una pyme de construcción en Orizaba, Veracruz. Si bien la organización tiene las herramientas necesarias para cumplir con los proyectos, enfrenta problemas de comunicación y pérdida de datos históricos en el departamento debido a la falta de personal especializado y procesos estandarizados. El RBC es una técnica de IA que utiliza soluciones previas almacenadas para resolver problemas nuevos.

La metodología consta de cinco etapas: diagnóstico y planificación, prototipo, construcción de base de casos, diseño y desarrollo, implementación y evaluación. Se realiza un estado del arte sobre el tema, se analizan modelos existentes y se destacan elementos clave de la metodología propuesta. Se espera que esta metodología mejore la toma de decisiones, permita la sostenibilidad y optimice tiempos de análisis de algún proyecto específico en la pyme.

***Palabras clave:** Sistemas de recomendación (SR), Gestión del Conocimiento (GC), Razonamiento Basado en Casos (RBC), Sostenibilidad*

Abstract

This article proposes a methodology for the construction of a knowledge management model based on case-based reasoning (CBR) for a construction SME in Orizaba, Veracruz. Although the organization has the necessary tools to comply with the projects, it faces communication problems and loss of historical data in the department due to the lack of specialized personnel and standardized processes. CBR is an AI technique that uses previous stored solutions to solve new problems.

The methodology consists of five stages: diagnosis and planning, prototyping, case base building, design and development, implementation and evaluation. A state of the art on the subject is made, existing models are

 ISSN: 2007 8102

analyzed and key elements of the proposed methodology are highlighted. It is expected that this methodology will improve decision making, allow sustainability and optimize analysis times of a specific project in the SME.

Keywords: *Recommender Systems (RS), Knowledge Management (KM), Case-Based Reasoning (CBR), Sustainability*

Introducción

Generalmente durante la realización de un determinado proyecto de construcción surgen algunas problemáticas que afectan directamente al plan de trabajo formulado en un principio. Cruz [1] explicó que “algunos ejemplos son: demoras y retrasos en los tiempos programados de construcción, retrasos en los suministros de materiales, problemas con proveedores, falta de liquidez, falta de productividad de la mano de obra, entre otros”. Este tipo de situaciones recae en el encargado del proyecto que en su función de liderazgo intenta seleccionar la decisión más acertada para modificar o corregir los problemas para que el proyecto siga su curso de acuerdo con lo planeado.

En este caso para poder tomar una decisión el líder encargado del proyecto es el responsable de obtener un panorama general del problema. Esto mediante la recolección de información en conjunto con el equipo de trabajo a su cargo (auxiliares de obra, encargado de compras, maestros albañiles, contador, etc.) quienes brindan informes para evaluar el problema, de esta forma efectuar un diagnóstico y posterior a ello, proponer una solución puntual. Es en esta parte donde la experiencia del encargado del proyecto toma un papel fundamental, ya que mediante la revisión de soluciones que obtuvo al resolver situaciones similares en el pasado, tiene la posibilidad de formular nuevas soluciones a los futuros.

Los problemas comienzan a generarse específicamente cuando la persona encargada de tomar las decisiones en el proyecto no cuenta con suficiente experiencia o no ha tratado de manera profunda ciertos casos, lo que deriva que tome decisiones poco acertadas. Otra problemática que se observa en los proyectos de construcción es que cuando algún colaborador obtiene un nuevo aprendizaje este permanece solo en la persona o equipo que logró resolverlo. Esto origina que si en algún momento dicha persona o grupo de personas se ausentan se tenga que replantear nuevamente el problema como si este fuera nuevo, por lo que existe un rezago y retroceso en la solución de los proyectos lo que deriva de un costo extra. Principalmente, este tipo de problemáticas se observan en las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) que se enfrentan a mayores retos en comparación con las grandes [2]. Las PYMES representan más del 97% de todos los negocios y emplean a más de la mitad de la fuerza laboral en las economías [3]. Aunado a ello, el avance de la tecnología ha tenido un gran impacto, por lo que el 83% de las PYMES considera que la adopción de nuevas tecnologías es importante para la reactivación de su empresa en el corto y mediano plazo [4].

La gestión del conocimiento es crear , compartir y utilizar conocimiento dentro de una organización para aumentar el desempeño y la competitividad. Por lo tanto, el conocimiento es un recurso estratégico y la importancia de la capitalización mediante el uso de herramientas tecnológicas ayuda a las PYMES a retener el conocimiento de los colaboradores asegurándose de que no se pierda en caso de que los empleados no estén capacitados o bien se retiren o cambien de trabajo.

ISSN: 2007 8102

Para mitigar estos aspectos, se propone el diseño de una metodología para la construcción de un modelo de gestión del conocimiento basado en técnicas de inteligencia artificial específicamente en el razonamiento basado en casos (RBC), el cual parte de la base de tres segmentos principales. Como primer punto se tiene la revisión de la literatura sobre el tema; posteriormente el desarrollo de la metodología y por último se plantean los elementos clave de la metodología propuesta.

Revisión de la literatura

El razonamiento basado en casos permite solucionar un problema nuevo sin partir de cero, es decir, se aprovecha las experiencias previas. A quienes tienen experiencia, el RBC les permite proponer soluciones más satisfactorias y los que carecen les permite proponer soluciones conociendo de antemano que es lo que ya se ha hecho previamente con respecto al problema en cuestión [5]. Muchas de las decisiones que se necesitan tomar durante el proceso de ejecución de un proyecto de construcción están bajo presión del tiempo [6], por lo que se ha argumentado que el RBC no sólo es un método efectivo en el razonamiento de computadoras si no en solucionar problemas cotidianos. En la literatura se han publicado varios artículos que utilizan el RBC. En un artículo aplicado al diagnóstico se concluye que el razonamiento basado en casos puede ser una herramienta útil para mejorar la toma de decisiones, ha demostrado ser apropiado para trabajar con datos de dominios poco estructurados o situaciones donde es difícil la adquisición de conocimiento, como es el caso del diagnóstico médico, [7] Además el razonamiento basado en casos puede ser utilizado para desarrollar sistemas de recomendación, como se muestra en un estudio que presenta un sistema de recomendación para el mantenimiento industrial para reducir costos, disminuir y, en un mediano plazo, eliminar los paros no programados y maximizar la vida útil de los activos [8].

En general, el razonamiento basado en casos ha sido utilizado en una variedad de campos, incluyendo la medicina, la ingeniería y la informática. Los artículos revisados sugieren que el RBC puede ser una herramienta útil para solucionar problemas y tomar decisiones.

Materiales y métodos

Generalidades

La empresa para la aplicación del presente modelo es una constructora y de mantenimiento de servicios integrales la cual brinda servicios de obras civiles y públicas; así como servicios en industria y casa habitación. El objetivo del proyecto propone que mediante la propuesta metodológica se gestione el conocimiento del capital humano mediante técnicas de inteligencia artificial e innovación que garanticen la permanencia del activo intangible y sostenibilidad de la organización.

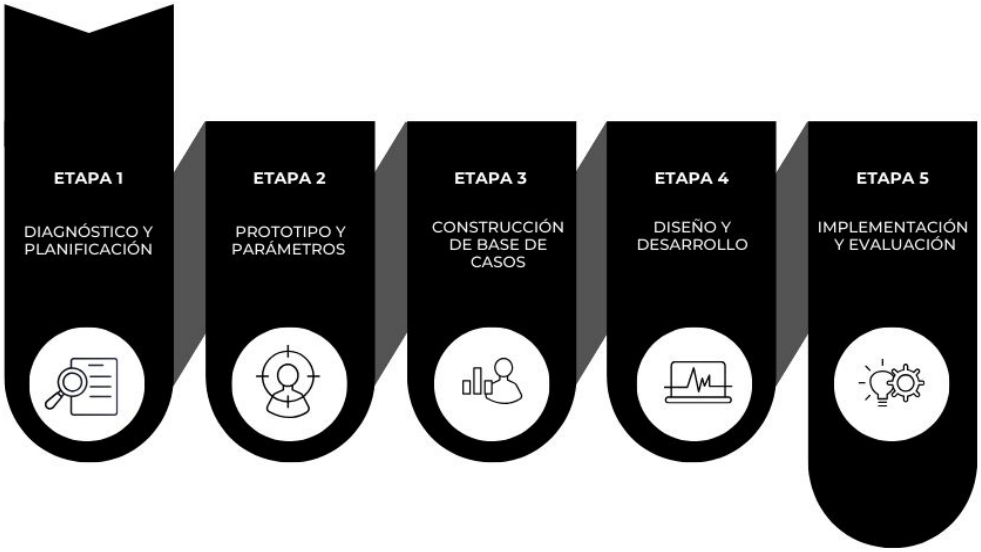
Metodología

La propuesta para la construcción de modelos de gestión del conocimiento basado en técnicas de RBC integra etapas previas orientadas al caso de estudio que permiten contemplar la necesidad de capitalizar el conocimiento y adaptarlo al área específica que no es contemplada en otros modelos. Para ello, se considera la situación actual del caso de estudio, las limitaciones tecnológicas que pudieran existir, así como un ciclo de mejora continua al

 ISSN: 2007 8102

sistema. El modelo para la construcción de gestión del conocimiento se lleva a cabo mediante cinco etapas como se muestra en la figura 1:

Figura 1 Ciclo del RBC. Elaboración propia



Diseño de la propuesta

1. Diagnóstico y planificación

Se realizó la familiarización con la organización, en este caso la PYME para identificar el tipo de servicios brinda, principalmente en el departamento a de construcción. Por ello, mediante técnicas de recolección de datos como la observación directa y la entrevista al encargado del negocio y jefe de departamento se determinaron los procesos principales en los cuales trabajar para delimitar actividades que solo aplican para dicha área, así como, la selección de los miembros del equipo experto. Con el trabajo en conjunto del departamento se realiza un plan de actividades plasmadas en un cronograma.

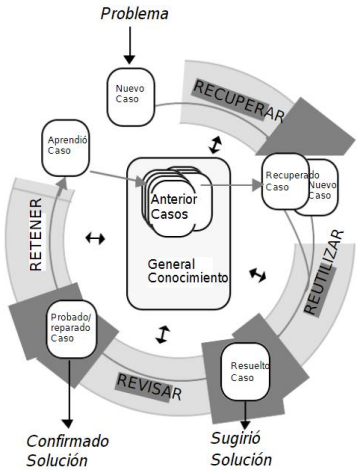
2. Prototipo y parámetros

El modelo de gestión de conocimiento será implementado mediante una plataforma tecnológica que permita ejecutar los algoritmos, por lo que es necesario explicar el funcionamiento de ésta al encargado del área y personal del departamento para familiarización con la interfaz de usuario. El prototipo de un sistema de recomendación generalmente incluye:

- Algoritmos de Recomendación: Estos algoritmos son el núcleo del sistema y se encargan de analizar los datos de los usuarios y generar recomendaciones personalizadas. Pueden ser algoritmos basados en contenido, filtrado colaborativo, filtrado basado en la comunidad, etc. Para este caso se tomará como herramienta al Razonamiento Basado en Casos.

 ISSN: 2007 8102

Figura 1 Ciclo del RBC. Tomado/ Adaptado de [9]



- Interfaz de usuario: El prototipo debe tener una interfaz simple que permita a los usuarios interactuar con el sistema y recibir recomendaciones. Esta interfaz puede ser una aplicación web, una aplicación móvil u otro formato.
- Conjunto de datos de prueba: Para probar el prototipo, se utilizan conjuntos de datos de prueba que contienen información simulada o real sobre usuarios, elementos y preferencias.
- Capacidad de retroalimentación: El prototipo debería permitir a los usuarios proporcionar comentarios sobre las recomendaciones que reciben, lo que ayuda a afinar el sistema y mejorarlo.
- Funciones básicas: El prototipo suele incluir funciones esenciales como registro de usuarios, recopilación de datos de preferencias, generación de recomendaciones y presentación de resultados.
- Capacidad de aprendizaje: Algunos prototipos de sistemas de recomendación también pueden tener la capacidad de aprender y mejorar sus recomendaciones a medida que interactúan con más usuarios y obtienen más datos.

Posteriormente, se realiza una entrevista a las personas que integran el departamento acerca de las características que les gustaría que se introduzcan en el sistema para aplicar técnicas de innovación AHP y QFD para adaptar estos requerimientos. La combinación de las metodologías QFD y AHP ofrece un marco excelente de actuación, definiendo un modelo que permite mejorar de forma consistente y constante la calidad [10]. El QFD es eje que comunica el control de calidad tradicional y el diseño de producto durante su etapa temprana. Este permite definir lo que “hay que hacer” y lo transforma progresivamente en “cómo hacerlo”. El concepto básico de la metodología es trasladar los requerimientos del usuario hasta los requerimientos de producción, mediante una serie de fases y matrices. [11] como se mencionan a continuación:

1. De requerimientos del usuario a características de calidad.
2. De características de calidad a características de partes.
3. De características de partes a parámetros de procesos.
4. De parámetros de procesos a requerimientos de producción.

Por otro lado, AHP como una herramienta de análisis de múltiples factores ayuda a efectuar una elección entre múltiples opciones considerando la selección de factores usualmente dispuestos en forma jerárquica y que tienden a entrar en conflicto entre ellos. El aspecto fundamental de este enfoque radica en la elección precisa de los criterios y subcriterios de selección, por lo que la correcta elección y definición de estos reviste importancia crucial; asegurando que sean completamente independientes entre sí.

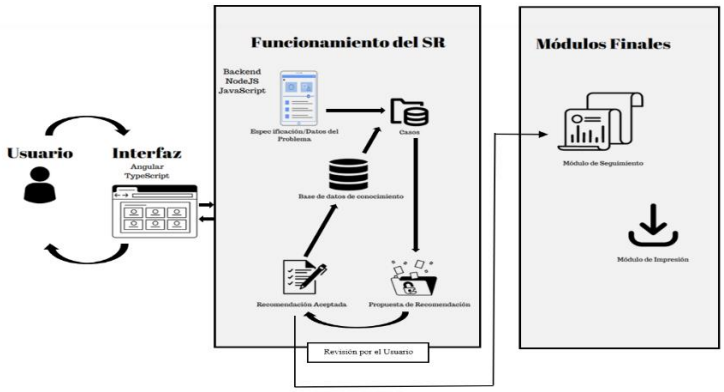
3. Construcción de base de casos

Para proporcionar información a la base de conocimiento es necesario la recopilación de casos previos de construcción y soluciones. Éstas serán aplicadas a partir de diagramas de proceso de los proyectos y casos que la empresa tiene documentados, así como de los colaboradores expertos del equipo de proyectos de construcción, así como de otras pymes que colaboran con la organización. De esta manera, se necesitará que esos atributos de la proyección pasen por un proceso de correlación o análisis de similitud, de manera que exista una vinculación entre sus variables para ordenar el impacto de las recomendaciones.

4. Diseño y desarrollo

De acuerdo con el principio del Razonamiento Basado en Casos, se seleccionará el algoritmo adecuado para el entrenamiento del sistema, así como el desarrollo del módulo que recopile la información y entrene al algoritmo para que entre más casos contenga y brinde una mejor solución dentro de las posibilidades del caso. A nivel de interfaz, el sistema debe contar con un prototipo funcional desde lo técnico y adecuado para la lectura y comprensión por parte de los colaboradores.

Figura 2 Representación gráfica del funcionamiento del SR



5. Implementación y evaluación

Una vez generado un primer prototipo, se implementará la herramienta en el servidor web de la organización y se llevará a cabo una prueba de usabilidad. Esta prueba considera la implementación mediante una práctica en la aplicación, considerando la plataforma digital para la resolución de un caso específico. Para ello, se selecciona un problema que el usuario encargado del proyecto debe resolver según los parámetros de consulta del sistema, realizando así las pruebas de validación correspondientes entre las soluciones y la perspectiva del experto. Este

ISSN: 2007 8102

proceso es cíclico y se buscará incluir tantos casos nuevos como sea posible para continuar el entrenamiento de los algoritmos.

Durante esta fase, la prueba de usabilidad debe responder preguntas que consideren 3 escenarios posibles sobre el sistema:

1. ¿Es satisfactorio? En caso de que suceda esta situación se procede a la fase de documentación.
2. ¿Es parcialmente satisfactorio? Los usuarios comentaran su punto de vista y comentarios acerca de éste, para realizar los ajustes necesarios en funcionamiento y/o diseño en caso de ser necesario.
3. ¿Es insatisfactorio? Los usuarios pueden ingresar nuevas causas del problema, así como soluciones.

La eficiencia de este será verificada por un periodo de 4 meses.

Resultados y discusión

Este proyecto se centra en una fase exploratoria y de comienzo para su implementación, al ser un sistema de gestión del conocimiento la metodología es aceptada para aplicar. La validación se realizó a través de un panel de expertos del área de la organización, los cuales poseen un alto grado de conocimiento para la capitalización de experiencia de estos.

En cuanto a la base del Razonamiento Basado en Casos (RBC), destaca la importancia de recuperar casos de manera eficiente. Esto implica que el procedimiento de recuperación debe extraer experiencias relevantes y organizarlas en la base de datos mediante palabras clave que se relacionen con nuevos problemas a resolver.

El desarrollo de un modelo de gestión del conocimiento basado en RBC busca capitalizar este conocimiento al crear una plataforma digital. Esta plataforma tiene como objetivo capturar, administrar, reutilizar y mantener el conocimiento, convirtiéndolo en un recurso valioso para la organización.

La aplicación completa de este modelo en el sector de la construcción podría tener un impacto significativo al agilizar la toma de decisiones y reducir el tiempo dedicado al análisis desde cero. También, facilitaría la digitalización de otros departamentos en la PYME, siguiendo el mismo enfoque.

Sin embargo, se deben considerar desafíos como la escalabilidad del sistema en empresas de diferentes tamaños si este modelo llegará a obtener resultados satisfactorios, así como la necesidad de infraestructura tecnológica adecuada para almacenar los casos. Personalizar la herramienta y los atributos de los casos requerirá software especializado o versiones adaptadas a las necesidades de cada departamento de la empresa.

Trabajo a futuro

Actualmente, la aplicación del modelo se encuentra en la etapa de construcción de base de casos, así como el diseño del sistema para posteriormente implementarlo y evaluarlo con el equipo de expertos del departamento.

Conclusiones

La metodología propuesta constituye la creación de un modelo que permitirá ser un auxiliar en la toma de decisiones, beneficiando al departamento de proyectos de construcción y que pretende brindar un panorama

 ISSN: 2007 8102

general de la situación por resolver que es almacenada como un caso en una base de datos, así como los posibles inconvenientes dentro del mismo que ayudaran a los usuarios y en este caso trabajadores en el proyecto específico a identificar las mejores estrategias y soluciones para aplicar en el nuevo proyecto, y que tenga el mayor beneficio para la empresa en la toma de decisiones, como también la aplicación de herramientas sostenibles que le brinden a la organización nuevas pautas de aplicación para futuros proyectos. Para esto, se definieron los procesos fundamentales que el departamento tiene y aplicando la capitalización del conocimiento mediante casos y tras el análisis de este, se analizó la herramienta más adecuada que en este caso es RBC.

La implementación de un modelo de sistema de recomendación donde se aplican técnicas de inteligencia artificial con el objetivo de mitigar tiempos, costos e implementar estrategias de sostenibilidad, permitirá brindar una solución real a la compañía.

Agradecimientos

Personalmente mis agradecimientos se hacen externos al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías CONAHCYT, al comité formador y docentes de la maestría en ingeniería administrativa, a la empresa INTEC por permitirme colaborar con ellos y desarrollar nuevas habilidades y sobre todo a mi familia y amigos que han estado en este proceso acompañándome, gracias por sus consejos y comprensión.

Referencias

[1] J. M. Cruz Ac. "Un sistema de razonamiento basado en casos para apoyar la toma de decisiones en la industria de la construcción". Redalyc. https://www.redalyc.org/pdf/467/46730913003.pdf (accedido el 10 de agosto de 2023).

[2] Á. G. Manzano Santana y J. Mul Encalada, “La gestión del conocimiento en las MIPYMES: restos y beneficios”, Desarrollo Sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación RILCO DS, n.º 16, 2021. Accedido el 3 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://www.eumed.net/es/revistas/rilcoDS/16-febrero21/gestion-conocimiento-mi

[3] Secretaría de Economía, "Pequeñas y medianas empresas", Economía, n.º 34, febrero de 2020, art. n.º 34.

[4] Emprefinanzas. https://emprefinanzas.com.mx/2021/01/26/pymes-mexicanas-83-realizaron-un-cambio-en-su-negocio-debido-al-covid-19/. Accedido el 3 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://emprefinanzas.com.mx/2021/01/26/pymes-mexicanas-83-realizaron-un-cambio-en-su-negocio-debido-al-covid-19/

[5] I. Watson, Applying Case-Based Reasoning: Techniques for Enterprises Systems. U.S.A: Morgan Kaufmann Publishers, 1997.

[6] C. Richard, G. Sears y S. Keoki, “Construction Project Management”, 4a ed. U.S.A: John Wiley & Soons, 2000.

[7] D. Viveros-Melo, M. Ortega-Adarme, X. Blanco Valencia, A. E. Castro-Ospina, S. Murillo Rendón y D. H. Peluffo-Ordóñez, “Razonamiento basado en casos aplicado al diagnóstico médico utilizando clasificadores multi-

ISSN: 2007 8102

clase: Un estudio preliminar", Enfoque UTE, vol. 8, n.º 1, pp. 232–243, febrero de 2017. doi: 10.29019/enfoqueute.v8n1.141.

[8] C.A. Montiel Ibarra. "Diseño e implementación de un sistema de mantenimiento basado en conocimiento en la empresa Citlaltepetl S.A. de C.V.". Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz, 2019.

[9] A. Aamodt, "Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches", AI Commun., vol. 7, n.º 1, pp. 39–59, 1994.

[10] A. Pastor Sanmillán, "Aplicación de las técnicas despliegue de la función de calidad (QFD) y proceso analítico jerárquico (AHP) a la mejora de la calidad de la formación de posgrado", Tecnología, Ciencia y Educación, vol. 25, n.º 5, 2016, art. n.º 2444-2887.

[11] E. S. Olaya Escobar, "Despliegue de la función de la calidad QFD: beneficios y limitaciones detectados en su aplicación al diseño de prótesis bioeléctrica de mano", Ingeniería e investigación, vol. 25, n.º 1, pp. 30–38, 2005.

ISSN: 2007 8102

ÁREA INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA

IE01 **Caracterización eléctrica del circuito sujetador parásito en circuitos CMOS de compuerta cuasi-flotante.** IE-2
Jorge I. Cuevas-Chávez, Daniel Sánchez-Arias y Jesús E. Molinar-Solís.

IE02 **Síntesis de cerámicos del sistema $Bi_{1-x}La_xFe_{1-y}Cr_yO_3$ (x=0.02-0.04-y=0.003-0.005-0.007) y estudio de propiedades ferroeléctricas dieléctricas y fotovoltaicas.** IE-12
Claudia Cristel Sarracino Hernández, Ma. Guadalupe Rivera Ruedas, María Guadalupe Torruco Colorado, José Martin Yánez Limón y Ebelia Del Ángel Meráz.

IE03 **Control de un convertidor Cuk de voltaje para seguimiento de curva de una celda fotovoltaica.** IE-22
María Andrea Olivo Calles, Pedro Martin García Vite, Diana Karen García Ventura, Brenda Lizeth Reyes García y Luis Fortino Cisneros Sinencio.

IE04 **Convertidor cuadrático con Controlador P+I con amplio rango de regulación.** IE-32
Pedro Martín García Vite, María Andrea Olivo Calles, Luciano Aguilera Vázquez, Ana Lidia Martínez Salazar y Francisca Hernández Ángel.

IE05 **Tiempo ciclos de carga de batería de ion-Litio y supercondensador para auto eléctrico con LabView.** IE-42
Bautista Méndez, L. Hernández Aguilar, Y. N. Bautista Méndez, J. Erazo Macías Rodríguez y L. V. Garza López.

IE06 **Diseño de una nariz optoelectrónica para determinar la concentración de gases aplicada a invernaderos verticales.** IE-52
G. X. Abad Galindo, G. Águila Rodríguez, O. O. Sandoval González, B. E. González Sánchez y A. Ortiz Celiseo.

ISSN: 2007 8102

Caracterización eléctrica del circuito sujetador parásito en circuitos CMOS de compuerta cuasi-flotante

*Jorge I. Cuevas-Chávez[1], Daniel Sánchez-Arias[1], Jesús E. Molinar-Solis[1]**
[1]Tecnologico Nacional de Mexico/ITCG, jesus.ms@cdguzman.tecnm.mx

***Área de participación**: ingeniería Eléctrica y Electrónica*

Resumen

En este trabajo se analiza y caracteriza el efecto de sujeción introducido por varias configuraciones basadas en diodos utilizadas para la implementación de las resistencias de alto valor en circuitos de compuerta cuasi-flotante. A diferencia de enfoques anteriores en los que un diodo parásito se trata como una simple resistencia de alto valor que reduce la complejidad del circuito, en este caso el análisis considera el comportamiento del diodo que conduce a un circuito sujetador. Este circuito sujetador introduce una tensión de offset no deseada que depende de la amplitud de entrada. Está condición afecta al rendimiento moviendo el punto de operación de los transistores de compuerta cuasi-flotante. En este trabajo se propone una nueva configuración de doble diodo antiparalelo para aplicaciones de compuerta cuasi-flotante, que elimina esta tensión de offset no deseada. El diseño propuesto se valida mediante simulaciones y datos experimentales en una tecnología CMOS de 0.35µm.

***Palabras clave**: compuerta cuasi-flotante, circuitos integrados analógicos, CMOS.*

Abstract

In this paper, the clamping effect introduced by several diode-based configurations used for the implementation of the high-value resistors in quasi-Floating-Gate circuits is analyzed and characterized. In contrast to previous approaches where a parasitic diode is treated as a simple high-value resistor reducing the circuit complexity, in this case the analysis considers the diode behavior which leads to a clamping circuit. This clamping circuit introduces an unwanted amplitude-dependent offset voltage, which affects the performance moving the quiescent point at the quasi-Floating-Gate transistors. A new anti-parallel double-diode configuration for quasi-Floating-Gate applications is proposed in this work, which eliminates this unwanted offset voltage. The proposed design is validated using simulations and experimental data in a CMOS 0.35µm technology.

***Key words**: quasi Floating-gate, analog integrated circuits, CMOS.*

1. Introducción

La técnica de transistores de compuerta cuasi-flotante (*qFG*)[1,2] se ha convertido en una importante opción de diseño, ya que permite aumentar el rango de funcionamiento de los transistores CMOS en condiciones de baja tensión, preservando un bajo consumo de energía. Esta característica crítica ha permitido que los transistores *qFG* se utilicen ampliamente en filtros, amplificadores, espejos de corriente, transconductores, seguidores de tensión y otros circuitos no lineales[3,4,5,6,7,8,9,10].

Los primeros dispositivos de compuerta flotante tenían el problema de la carga inicial atrapada debido al proceso de fabricación; esta carga causaba un potencial aleatorio no deseado en la compuerta flotante que afectaba al rendimiento. La exposición a la luz UV ha permitido eliminar esta carga no deseada; sin embargo, este paso adicional posterior a la fabricación representa un inconveniente desde el punto de vista de la manufactura. Otra solución fue implementar una *qFG* en lugar de una compuerta flotante real rodeada por un dieléctrico. El principio *qFG* requiere una resistencia de alto valor y uno o varios condensadores donde se acoplen las señales de entrada. La resistencia de alto valor permite que la compuerta MOS sea casi "flotante", es decir, pseudoflotante o cuasi-flotante. Esta resistencia de alto valor se implementa a menudo utilizando un diodo parásito.

 ISSN: 2007 8102

En la Fig. 1a) se representa un PMOS *qFG* de múltiples entradas, tal como se define en[1]. En este caso, la compuerta de M2 se comporta como *qFG* con una resistencia de alto valor R_{large} conectada a V_{ss}. Esta resistencia establece el punto de operación de M2 fijando el potencial en *qFG* a una polarización de CC igual a V_{ss}. En la Fig. 1b), el elemento R_{large} se implementa mediante un diodo parásito D1 del transistor NMOS M1 que opera en la región de corte[1]. Debido a su condición de polarización inversa, dicho diodo se representa típicamente por su resistencia dinámica R_r.

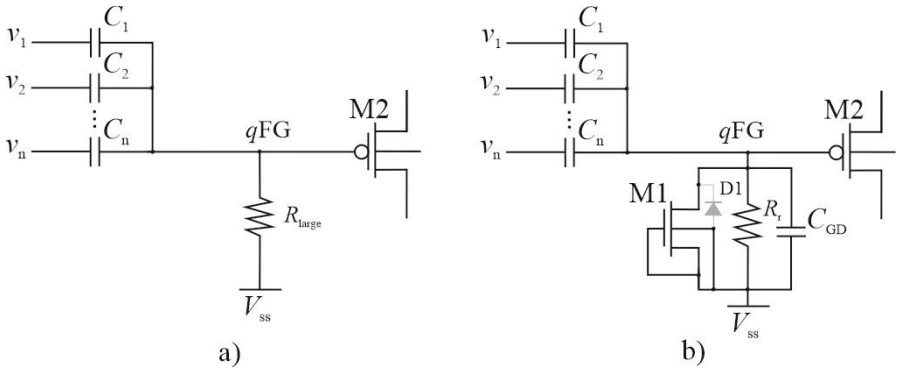


Fig. 1. a) PMOS de compuerta cuasi-flotante con diodo parásito N^+/P_{sus} como elemento de alta resistividad a V_{SS}, b) circuito equivalente.

En muchas aplicaciones, los transistores *qFG* se acoplan con una única señal de entrada acoplada por un condensador de entrada C_1 y, de nuevo, el punto de funcionamiento se ajusta mediante una resistencia de alto valor a una tensión continua V_{SS} o a tierra como se representa en la Fig. 2a). Frecuentemente, para la implementación de la resistencia de alto valor, se han utilizado en la literatura varias estructuras basadas en un PMOS en lugar de un NMOS. Algunas características eléctricas de estas estructuras han sido parcialmente analizadas en un trabajo previo[11]; sin embargo, debe considerarse un análisis más profundo de tales configuraciones. Por ejemplo, los trabajos anteriores modelan el diodo parásito como una simple resistencia; sin embargo, esta condición no tiene en cuenta el comportamiento de sujeción provocado por el condensador y el diodo. Además, dado que un transistor PMOS se fabrica dentro de un N-Well, aparece una unión PN parásita adicional entre el sustrato P y el N-Well. Este diodo adicional debe incluirse en el análisis para modelar correctamente el circuito sujetador completo. Hasta la fecha, no se han estudiado adecuadamente los efectos no lineales del comportamiento de sujeción. Este efecto debe analizarse y caracterizarse, ya que afecta a: la excursión de tensión, la tensión de offset dependiente de la señal, el consumo de corriente y la distorsión armónica total de un circuito *qFG*. En este trabajo se estudia analíticamente el efecto de sujeción introducido por tres de las implementaciones típicas de elementos de alta resistividad y se caracteriza eléctricamente mediante simulaciones y datos experimentales de una tecnología CMOS de 0.35µm. Este trabajo está organizado de la siguiente manera: en la siguiente sección se presenta y modela el circuito sujetador parásita en transistores *qFG*. En la sección 3 se presentan los resultados de las mediciones de la característica I-V de tres implementaciones del elemento de alta impedancia basado en un transistor PMOS. Estos resultados se utilizaron para crear un modelo para simulaciones eléctricas de la tensión transferida a la compuerta del elemento flotante. Los resultados se verificaron con mediciones, por lo que en la Sección 4 se presentan los resultados de la simulación y las mediciones. Por último, la discusión de los datos obtenidos va seguida de las conclusiones.

2. Circuito sujetador parásito en transistores *qFG*

El diodo parásito D1 de la Fig. 1b) conduce a un circuito sujetador[12]. Para simplificar, consideremos un circuito *qFG* con una sola entrada, Fig. 2b). Para una tensión de entrada sinusoidal V_i, el circuito sujetador establece una compensación de CC no deseada en el nodo *qFG*, V_{OF}, que depende de la amplitud de la tensión de entrada V_A, la dirección del diodo y la caída de tensión directa del diodo V_{Dmax}, que es una función de la corriente directa del diodo I_F. Así, esta tensión de offset puede calcularse de la siguiente manera:

$$V_{OF} = \frac{C_1}{C_T} V_A - V_{Dmax}(I_F) \quad (1)$$

Donde C_1/C_T es un divisor capacitivo definido por la capacitancia de entrada C_1 y la capacitancia total C_T en el nodo *qFG* incluyendo otras capacitancias parásitas. En este caso, se desprecia la capacitancia parásita C_{DG} de M2, que puede proporcionar realimentación a través del drenaje.

 ISSN: 2007 8102

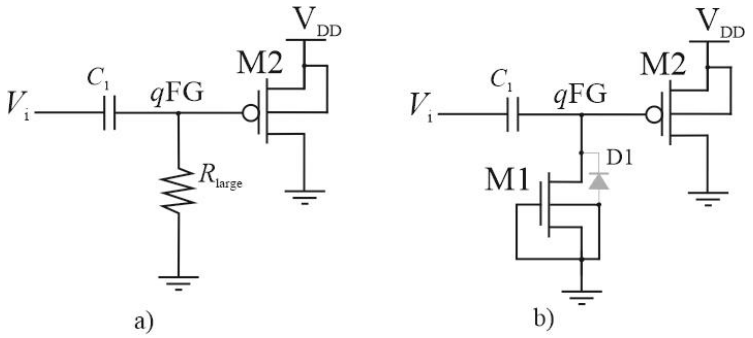


Fig. 2. Entrada simple *qFG* PMOS, a) implementada con una resistencia de alto valor, b) implementada con un diodo parásito D1 utilizado como elemento de alta resistividad.

La dependencia de esta tensión de offset no deseada con la amplitud de entrada, finalmente desplaza el punto de operación del transistor M2 afectando al funcionamiento del circuito. El tiempo de establecimiento de la tensión en el nodo *qFG*, esto es *V*(*qFG*), está relacionado con la resistencia no lineal asociada a D1 en el corto periodo que está polarizado en directa, en este caso, R_F y la capacitancia total C_T, *es decir* $\tau = R_F C_T$. A medida que el condensador de entrada C_1 se carga a través de los ciclos de entrada, el pico de voltaje en directa V_{Dmax} aplicado a D1 disminuye, esta condición eventualmente incrementa la resistencia dinámica R_F. Así, la ecuación (1) establece el voltaje de offset cuando el teorema del circuito sujetador[12] se cumple, esto es:

$$\int_{t_0}^{t_1} I_F(t)\,dt = \int_{t_1}^{t_2} I_S\,dt \tag{2}$$

Donde el intervalo $t_1 - t_0$ es el tiempo en que D1 está polarizado hacia delante con la corriente I_F y el intervalo $t_2 - t_1$ es el tiempo en que D1 está polarizado hacia atrás aportando la corriente saturada inversa I_S. Esto significa que el estado estacionario se alcanza cuando la carga total almacenada en C_T en cada intervalo es igual.

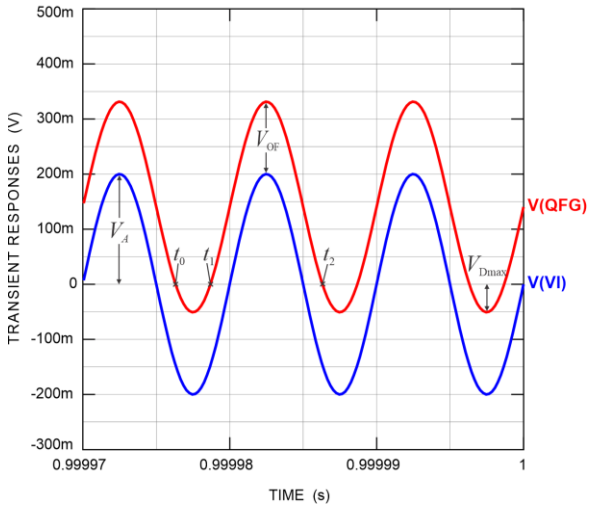


Fig. 3. Simulación del efecto de sujeción de D1.

Se realizó en TopSpice una simulación de respuesta transitoria del circuito de la Fig. 2b) de 0 a 1s, esto es más allá del tiempo en que se alcanza el estado estacionario, Fig. 3. Para todas las simulaciones en este trabajo, se consideran parámetros CMOS de 0.35µm con relación de aspecto 50µm/10µm para NMOS y PMOS. El condensador de entrada se eligió de 100pF para conseguir una relación C_1/C_T cercana a la unidad. Como se observa en la Fig. 3, el gráfico muestra una tensión de entrada sinusoidal V_i de 200mV de amplitud a 100kHz. Idealmente, el voltaje en el nodo *qFG, esto es V*(*qFG*), debería ser el mismo que el de entrada si D1 se asemeja a una resistencia de alto valor como en la Fig. 2a). Sin embargo, un efecto adicional de D1 es sujetar el pico negativo de *V*(*qFG*) cerca de cero. Así, el efecto de sujeción que sigue a (1) introduce claramente una tensión de offset no deseada, en este caso V_{OF} =130mV. La tensión V_{Dmax} como puede notarse es de unos 50mV, este valor depende de las características físicas de este diodo N^+_{dif}/P^-_{sus} y de su corriente en directa I_F.

 ISSN: 2007 8102

3. Implementación de R_{large} utilizando un transistor PMOS

Por lo general, se prefieren las implementaciones de R_{large} que utilizan transistores PMOS[2] ya que se puede establecer fácilmente una componente de CC controlable en el nodo *qFG*, a diferencia de un NMOS en el que la componente de CC se establece en V_{SS} o en tierra. Existen tres configuraciones PMOS de uso común, a las que nos referiremos como sustrato-compuerta, sustrato-difusión y diodo PMOS. Las características *I-V* de las dos primeras estructuras se han descrito previamente en[11]. Sin embargo, hasta la fecha, el elemento diodo PMOS no se ha estudiado en detalle para aplicaciones *qFG*. En las siguientes subsecciones se presentan los resultados de las simulaciones y mediciones de estas configuraciones. Para R_{large} implementado utilizando transistores PMOS, la ecuación (1) se modifica como sigue:

$$V_{OF} = \frac{C_1}{C_T} V_A + V_B - V_{Dmax} \tag{3}$$

Donde, al contrario que en (1), se introduce el término V_B. Este término representa la contribución de CC del potencial de polarización externo al nodo *qFG*. Las características *I-V* de cada diodo parásito MOS (Fig. 4) se midieron a partir de varios transistores PMOS fabricados en tecnología CMOS de 0.35µm utilizando un picoamperímetro Keithley 6487.

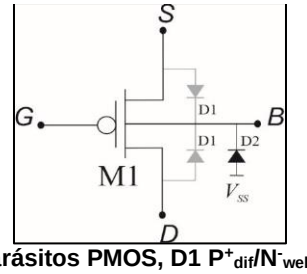


Fig. 4. Diodos parásitos PMOS, D1 P^+_{dif}/N^-_{well} y D2 N^-_{well}/P^-_{sus}.

3.1 Configuración PMOS Sustrato-Compuerta

La configuración sustrato-compuerta PMOS es un transistor PMOS conectado como se muestra en la Fig. 5, la cual, ha sido utilizada en muchos trabajos[1,3,7,14]. Como puede observarse, la corriente en esta configuración fluye sólo en una dirección; esto es a través del diodo parásito P^+_{dif}/N^-_{well} D1 y el transistor PMOS M1. Si V_B-V(*qFG*) > $|V_{THP}|$, M1 se enciende, por lo tanto, ambos dispositivos operan en paralelo. En este caso, el sustrato de M1, la compuerta y una difusión (drenaje o fuente) están conectados a *qFG*. También es posible una conexión invertida; es decir, sustrato-compuerta-difusión conectada a V_B. Dependiendo de la dirección de la corriente de D1 y M1, la tensión de offset en *qFG* estará por encima o por debajo de V_B.

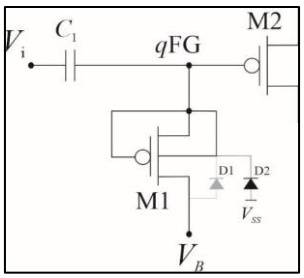


Fig. 5. Elemento de alta resistividad sustrato-compuerta.

La mayor parte de la corriente fluye a través del diodo parásito D1 en lugar del transistor M1, por lo que la ecuación (3) es válida para esta configuración. En la Fig. 6a) se representa una simulación eléctrica transitoria con una entrada sinusoidal con V_p=600mV y una frecuencia de 100kHz con una tensión de polarización V_B =1V. De nuevo, la simulación se ejecutó hasta 1s para garantizar el estado estacionario. Como puede observarse, el potencial en el *qFG* presenta un desplazamiento por encima de V_B como predice (3), en este caso cercano a V_{OF} =1.4V ya que V_{Dmax} es de unos 200mV. Además, también se simuló la configuración sustituyendo M1 por una resistencia de alto valor para mostrar el comportamiento ideal deseado, tal y como muestra en el trazo V(*QFG*_HiR_IDEAL). Como se ha mencionado anteriormente, esta configuración presenta otro diodo parásito D2 N^-_{well}/P^-_{sus}. Dado que

 ISSN: 2007 8102

este diodo parásito no es modelado por Bsim3 o Bsim4[14]; por lo tanto, la resistencia R_D fue incluida para simulaciones óptimas.

Las mediciones experimentales confirman el comportamiento de sujeción que se muestra en la Fig. 6b), utilizando las mismas condiciones eléctricas que las simulaciones. En este caso, la amplitud de la tensión de entrada se barrió en pasos de 100 mV y el osciloscopio guardó digitalmente cada trazo.

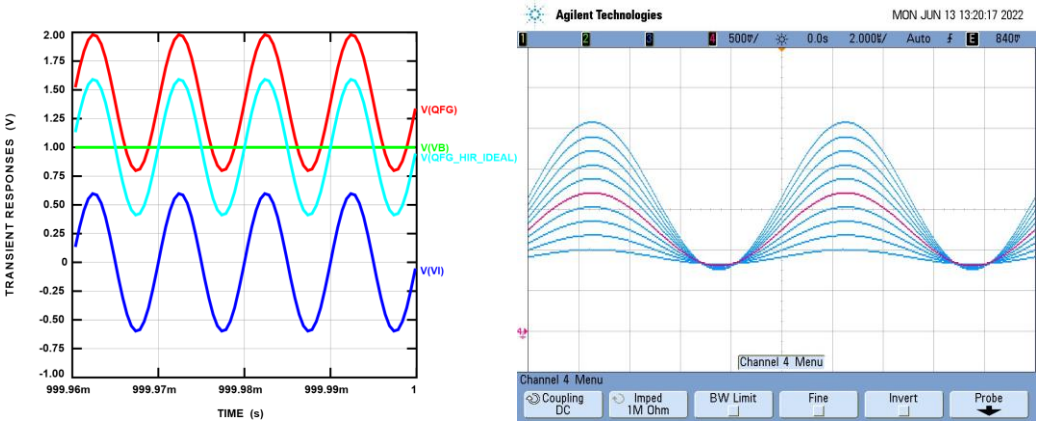


Fig. 6. Configuración Sustrato-Compuerta. a) Simulación transitoria, b) medición experimental.

3.2 Configuración PMOS Sustrato-Difusión

En la configuración sustrato-difusión, el sustrato está conectado a la difusión donde se establece V_B, la compuerta y el drenaje de M1 están unidos al nodo *qFG* como se muestra en la Fig. 7. Esta configuración también se ha utilizado en muchos trabajos[4,5,8,9,15]. A diferencia de la configuración anterior, la corriente puede fluir en ambas direcciones: a través del diodo D1 a V_B y de V_B a *qFG* como la corriente de drenaje de M1. Esta condición, en la que la corriente puede fluir en ambas direcciones, se asemeja a un circuito recortados de doble diodo[12], además, la conexión invertida también es posible. Puesto que esta configuración no funciona con un solo diodo, la ecuación (3) ya no es válida, por lo tanto, la condición de estado estacionario se establece sólo siguiendo (2).

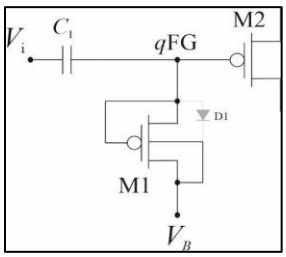


Fig. 7. Estructura de alta resistividad PMOS sustrato-difusión.

La simulación eléctrica transitoria de esta configuración sustrato-difusión se muestra en la Fig. 8a). Como en la configuración anterior, la simulación se realizó hasta 1s con una entrada sinusoidal con V_p =650mV, frecuencia 100kHz y un voltaje de polarización V_B =1V. Como puede observarse, el comportamiento de sujeción se observa por debajo de la tensión de polarización, es decir, $V_{OF} \approx$ 900mV. Dado que para el semiciclo positivo de la entrada la corriente dominante es la corriente de diodo, $i_{D1}(t)$, y en el semiciclo negativo la corriente de drenaje del PMOS $i_{DM1}(t)$, a partir de (2) se obtiene la siguiente expresión:

$$\int_{t_0}^{t_1} i_{D1}(t)\,dt = \int_{t_1}^{t_2} i_{DM1}(t)\,dt \tag{4}$$

Como la capacidad de corriente de D1 es mayor que la corriente de drenaje del PMOS M1, entonces, debe cumplirse t_1-t_0 < t_2-t_1. Por lo tanto, la tensión de offset se establece por debajo de V_B.

 ISSN: 2007 8102

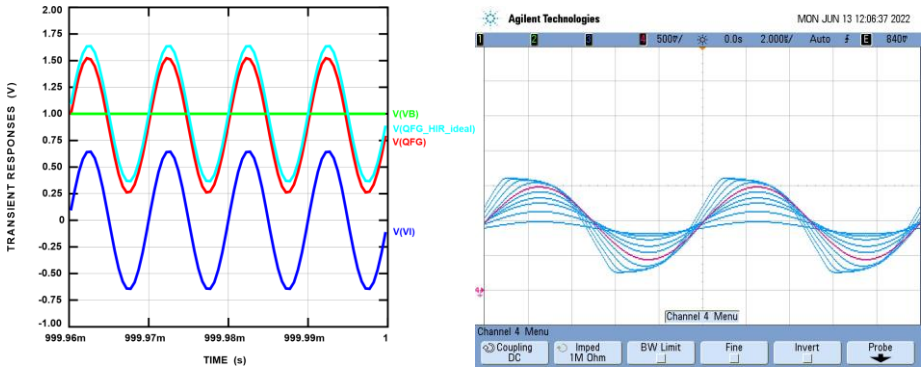
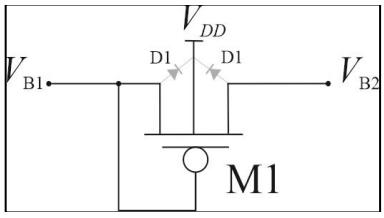


Fig. 8. Configuración sustrato-difusión. a) Simulación transitoria, b) medición experimental.

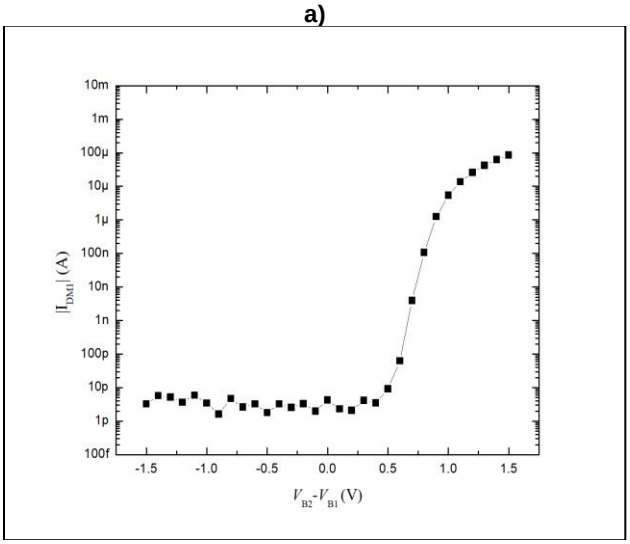
Las mediciones experimentales representadas en la Fig. 8b) confirman los resultados de la simulación, sin embargo, el comportamiento recortador de esta configuración reduce considerablemente la excursión de tensión en el nodo *qFG* e introduce una distorsión visible. Esta excursión de tensión se limita a valores inferiores a la suma de las tensiones de activación de D1 y M1, es decir, $V_{SW}<0.6V+|V_{THP}|\approx1.3V$.

3.3 Configuración de diodo PMOS

La configuración de diodo PMOS es un PMOS en el que la compuerta de M1 está conectada a V_{B1} o V_{B2} (drenaje o fuente)[6,10,16,17], en este caso a V_{B1} como se muestra en la Fig. 9a). Se midió la característica I-V del diodo PMOS y se presenta en la Fig. 9b). Como era de esperar, la corriente aumenta considerablemente cuando V_{B2}-V_{B1} es mayor que $|V_{THP}|$. El diodo PMOS se puede utilizar como un elemento de alta resistividad con su compuerta conectada a la tensión de polarización V_B o al nodo *qFG* como se muestra en la Fig. 10a) y Fig. 10b), respectivamente. En el primer caso, si V_i=0, el nodo *qFG* se cargaría a V_{DD} a través de la corriente inversa de D1. Dado que $V_B<V_{DD}$, esta condición provoca que $V_{SG} \neq 0$, por lo tanto, M1 se enciende en régimen subumbral compensando la corriente inversa de D1.



a)



b)

Fig. 9. Configuración de diodo PMOS, a) Compuerta de M1 conectada al drenaje o a la fuente, b) Característica I-V medida.

 ISSN: 2007 8102

El estado estacionario se alcanza cuando $I_{D(M1)} = I_{S(D1)}$. Así, puesto que $0<V_{SG}<V_{TH(M1)}$, el potencial *qFG* tendrá adicionalmente varios centenares de milivoltios por encima de V_B. Una simulación transitoria de esta configuración confirma este hecho, como se muestra en la Fig. 11a). En este caso, se consideró una tensión de alimentación V_{DD} =3V, V_B =1V y una amplitud de tensión sinusoidal de 800mV a 100kHz como entrada. La dirección del diodo PMOS en este caso llevaría el potencial *qFG* por debajo de V_B, sin embargo, dado que los diodos PMOS presentan una caída de tensión mayor que los diodos de silicio, esto da como resultado una pequeña tensión de offset de 200mV por debajo de V_B como puede observarse. Las mediciones experimentales se realizaron en condiciones idénticas, con resultados similares a las simulaciones, Fig. 11b). Si se utiliza la configuración PMOS-diodos de la Fig. 10b), como se ha indicado anteriormente, el nodo *qFG* se cargará a V_{DD} a través de la corriente inversa de D1. En este caso, como la compuerta M1 está conectada a *qFG* y como $V_B<V_{DD}$, el transistor estará en corte. En consecuencia, el efecto de pinza sólo será perceptible por D1. De nuevo, en la Fig. 12a) se muestra una simulación transitoria con las mismas condiciones que en este último caso. El efecto de pinzamiento es perceptible siguiendo la dirección del diodo D1 y se muestra una traza adicional sustituyendo D1 por un diodo ideal (V(*QFG*_ideal_diode)). En este caso, el potencial V_B no tiene ningún efecto en el circuito. La medición experimental confirma este resultado en la Fig. 12b).

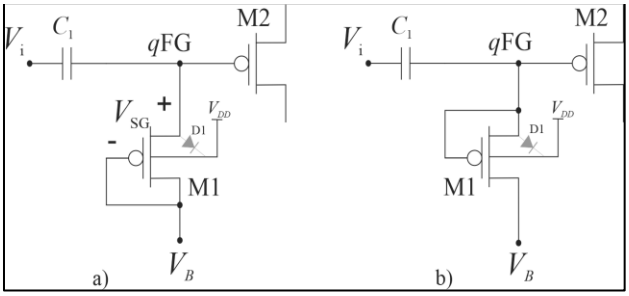


Fig. 10. Configuración del diodo PMOS, a) compuerta conectada a V_B, b) compuerta conectada al nodo *qFG*.

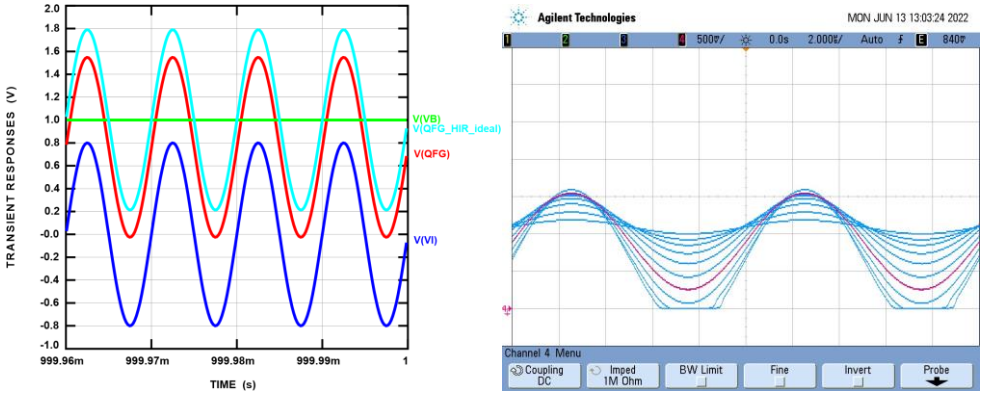


Fig. 11. Configuración del diodo PMOS con la compuerta conectada a V_B. a) Resultados de la simulación, b) medidas experimentales.

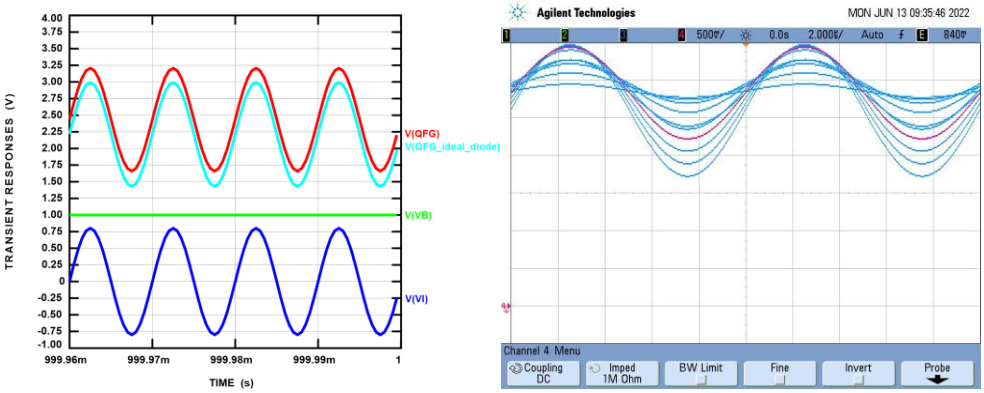


Fig. 12. Configuración de diodo PMOS con compuerta conectada a *qFG*. a) Resultados de simulación, b) medidas experimentales.

 ISSN: 2007 8102

4. Configuración de diodo antiparalelo

Del análisis anterior se desprende que la configuración sustrato-difusión presenta la menor tensión de offset debido a la amplitud de la entrada. Este hecho se deriva de la ecuación (2), donde, a diferencia de la configuración sustrato-compuerta donde $I_F >> I_S$ debido al único diodo, esta condición acumula claramente carga en C_1 en un intervalo que conduce al desplazamiento de offset. En la configuración sustrato-difusión, aunque ambas corrientes no son idénticas, están mucho más próximas en magnitud, es decir, $i_{D1} \approx i_{DM1}$. Puesto que la carga-descarga en C_1 en cada intervalo es casi la misma, esta condición acumula una carga mínima en C_1, lo que provoca un ligero desplazamiento. Por lo tanto, para eliminar la tensión de offset debida a la amplitud de la entrada, deben utilizarse dos diodos idénticos con idéntica capacidad de corriente, tal como se representa en la Fig. 13. Esta configuración de diodo antiparalelo se ha utilizado anteriormente para otros fines como mezclador de armónicos[18,19,20].

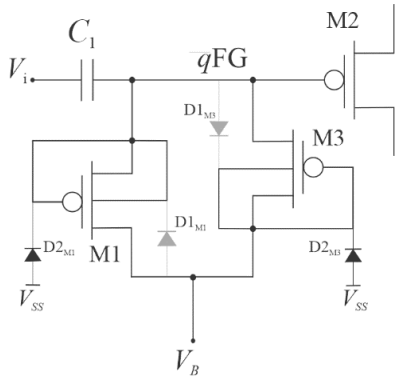


Fig. 13. Configuración de diodo antiparalelo.

Siguiendo una configuración sustrato-compuerta, los dos diodos parásitos idénticos D1 y D3 deben almacenar la misma carga en C_1 en cada intervalo. En consecuencia, para cualquier amplitud en la entrada, habrá una tensión de offset cercana a cero en el nodo *qFG*. Una simulación transitoria de esta configuración bajo las mismas condiciones, con una amplitud de entrada de 400mV, se muestra en la Fig. 14a), y se aprecia un offset cercano a cero. Sin embargo, al igual que en la configuración de difusión masiva, la excursión de tensión está limitada por la tensión de activación del diodo, es decir, cercana a 0.7V. Una simulación con una amplitud de 0.6V empieza a mostrar distorsión (Fig. 14b). En la Fig. 15 se muestra una medición que confirma la tensión de offset cercana a cero.

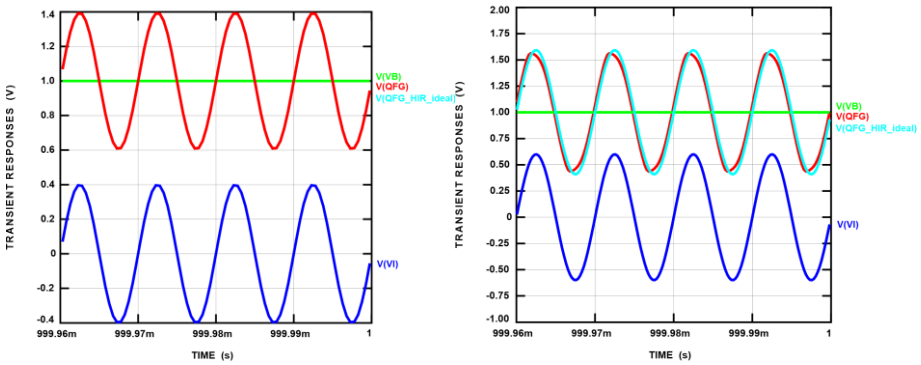


Fig. 14. Simulación transitoria de la configuración de diodo antiparalelo. a) V_{in}=400mV$_p$, b) V_{in}=600mV$_p$.

 ISSN: 2007 8102

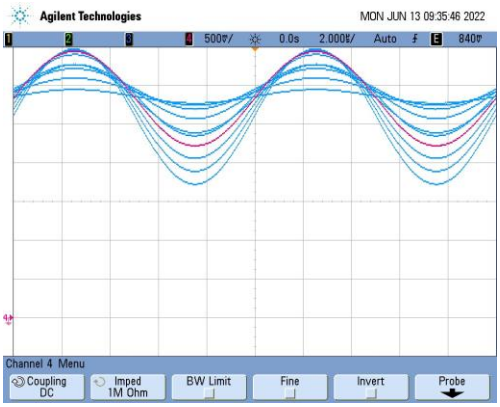


Fig. 15. Medición experimental de la configuración de diodo antiparalelo.

5. Discusión

El uso de un diodo como elemento de alta resistividad en la mayoría de las configuraciones de *qFG* conduce a un circuito sujetador; esta sujeción establece un componente de desplazamiento de CC adicional al nodo *qFG*, que tiene una fuerte dependencia de la amplitud de entrada de la señal, como se establece en (1) cuando se utiliza un diodo parásito de un transistor NMOS y (8) cuando se utiliza un PMOS.
Existen diferentes configuraciones PMOS para implementar el elemento de alta resistividad en un circuito *qFG*. Sin embargo, cada una de ellas establece características eléctricas diferentes. Desde el punto de vista de la excursión de la señal, la configuración compuerta-sustrato es la que permite la mayor excursión, que puede incluso superar la de los rieles del voltage de alimentación. En este sentido, la compuerta-difusión presenta una excursión mínima, ya que los diodos se polarizan en directa recortando la señal; por este motivo, esta configuración debe considerarse para pequeñas excursiones de tensión de hasta ~300mV$_p$. Desde el punto de vista de la THD, todas las configuraciones presentan un comportamiento similar y no se aprecian diferencias significativas. Sin embargo, como se observa en las simulaciones, la THD mejora mucho en todas las configuraciones cuando el condensador de entrada es más de diez veces la capacitancia de compuerta del transistor PMOS M2. Esto se debe a la característica no lineal C-V típica de los MOS en la compuerta de M2, por lo que si $C_1 >> C_{G(M2)}$ se mejora la linealidad.

A pesar de que las configuraciones de compuerta-difusión y diodo antiparalelo tienen el desplazamiento de CC más bajo debido a amplitud de la señal, debe tenerse en cuenta el elevado consumo de corriente de estas configuraciones debido a la polarización en directa de los diodos parásitos D1. En la Tabla I se resumen las características de todas las configuraciones.

Tabla 1. Características de los elementos MOS de alta resistividad estudiados para *qFG*.

Configuración	Excursión de tensión	THD	Consumo de corriente	Tensión de offset dependiente de la entrada
Sustrato-Compuerta	Más alto	-	Más bajo	Más alto
Diodo PMOS	Limitado a V_{DD}	-	-	-
Sustrato-Difusión	Bajo	Bajo	Alta	Bajo
Diodo antiparalelo	Bajo	Bajo	Alta	Más bajo

6. Conclusiones

Cuando el elemento de alta resistividad utilizado en un circuito *qFG* se basa en un diodo, su combinación con el condensador de entrada da lugar a un circuito sujetador. Esta característica introduce un componente de desplazamiento adicional (voltage de offset) en el nodo *qFG*, que depende de la amplitud de la señal de entrada y puede llegar a afectar al punto de funcionamiento de CC del circuito. Todas las configuraciones de *qFG* tienen una contribución diferente a la tensión de offset, sin embargo, la configuración de diodo antiparalelo propuesta en este trabajo muestra la menor tensión de offset, como demuestran las simulaciones eléctricas y los resultados experimentales. Deben tenerse en cuenta las siguientes cuestiones de diseño: los diodos D1 deben tener propiedades I-V idénticas; por lo tanto, deben utilizarse cuidadosamente técnicas de interdigitación en el diseño

topológico para lograr una adaptación precisa. La amplitud de la señal debe limitarse muy por debajo de las tensiones de activación de los diodos D1 para garantizar una corriente de avance pequeña y, en consecuencia, un consumo de energía reducido.

7. Referencias

1. J. Ramirez-Angulo, A. J. Lopez-Martin, R. G. Carvajal and F. M. Chavero, Very low-voltage analog signal processing based on quasi-floating gate transistors, *IEEE J. Solid-State Circuits* **39** (2004) 434–442, doi: 10.1109/JSSC.2003.822782.
2. J. Ramírez-Angulo, C. Urquidi, R. Gonzalez-Carvajal, A. Torralba and A. López-Martín, A new family of very low-voltage analog circuits based on quasi-floating-gate transistors, *IEEE Trans. Circuit Syst. II,* **50** (2003) 214–220, doi: 10.1109/TCSII.2003.811434.
3. O. Naess, Y. Berg, T. S. Lande and T. Halvorsrod, Low voltage pseudo floating-gate all-pass filter, *The 2004 47th Midwest Symposium on Circuits and Systems*, Hiroshima, Japan, 2004, pp. I-69, doi: 10.1109/MWSCAS.2004.1353899.
4. F. Esparza-Alfaro, S. Pennisi, G. Palumbo and A. J. Lopez-Martin, Low-Power Class-AB CMOS Voltage Feedback Current Operational Amplifier with Tunable Gain and Bandwidth, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, **61**(2014) 574-578, doi: 10.1109/TCSII.2014.2327390.
5. F. Esparza-Alfaro, A. J. Lopez-Martin, J. Ramírez-Angulo and R. G. Carvajal, Low-voltage highly-linear class AB current mirror with dynamic cascode biasing, *Electronics Letters*, **48** (2012), 1336-1338, doi: 10.1049/el.2012.3081.
6. F. Esparza-Alfaro, A. J. Lopez-Martin, J. Ramirez-Angulo and R. G. Carvajal, High-performance micropower class AB current mirror, *Electronics Letters*, **48** (2012) 823-824, doi: 10.1049/el.2011.3863.
7. M. Kumngern, U. Torteanchai and F. Khateb, 0.5-V bulk-driven quasi-floating gate transconductance amplifier, *24th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS)*, Batumi, Georgia, 2017, pp. 152-155, doi: 10.1109/ICECS.2017.8292043.
8. Y. Haga and I. Kale, CMOS buffer using complementary pair of bulk-driven super source followers. *Electronics Letters*, **45** (2009) 917-918, doi: 10.1049/el.2009.1382.
9. A. J. Lopez-Martin, J. Ramirez-Angulo, R. G. Carvajal and L. Acosta, Power-efficient class AB CMOS buffer, *Electronics Letters*, **45** (2009), 89-90, doi: 10.1049/el:20092270.
10. I. Aloui, N. Hassen, P. Nouet and K. Besbes, Low-voltage Low-power current-mode square-root circuit based on Quasi-floating gate technique, *2020 17th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, Monastir, Tunisia, 2020, pp. 761-764, doi: 10.1109/SSD49366.2020.9364230.
11. I. Seo, R. M. Fox, Comparison of Quasi-/Pseudo-Floating Gate Techniques and Low-Voltage Applications, *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, **47** (2006) 183–192, https://doi.org/10.1007/s10470-006-4818-0
12. Venkata Rao K., Rama Sudha K., Manmadha Rao G., *Pulse and Digital Circuits* (Pearson, India, 2010).
13. William Liu, *Mosfet Models for Spice Simulation, Including BSIM3v3 and BSIM4*, (Wiley-IEEE Press, 2001).
14. F. Munoz, J. Ramirez-Angulo, A. Lopez-Martin, R. G. Carvajal, A. Torralba, B. Palomo, M. Kachare, Analogue switch for very low-voltage applications, *Electronics Letters*, **39** (2003), 701-702, doi: 10.1049/el:20030464.
15. Y. Haga and I. Kale, Bulk-driven Flipped Voltage Differential Pair, *6th Conference on Ph.D. Research in Microelectronics & Electronics*, Berlin, 2010, pp. 1-4.
16. M. P. Garde, A. Lopez-Martin, D. Orradre and J. Ramírez-Angulo, Ultra-Low Power Subthreshold Quasi Floating Gate CMOS Logic Family for Energy Harvesting, *2018 28th International Symposium on Power and Timing Modeling, Optimization and Simulation (PATMOS)*, Platja d'Aro, Spain, 2018, pp. 118-122, doi: 10.1109/PATMOS.2018.8463995.
17. X. Zhang, B. Chi and Z. Wang, A 0.1–1.5 GHz Harmonic Rejection Receiver Front-End with Phase Ambiguity Correction, Vector Gain Calibration and Blocker-Resilient TIA, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, **62**(2015) 1005-1014, doi: 10.1109/TCSI.2015.2390556.
18. M. Cohn, J. E. Degenford and B. A. Newman, Harmonic Mixing with an Antiparallel Diode Pair, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, **23** (1975) 667-673, doi: 10.1109/TMTT.1975.1128646.
19. V. Gutta, A. E. Parker and A. Fattorini, Process-Dependence of the Even-Order Nonlinearity in Anti-Parallel Diode Pair Mixers, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, **19** (2009) 86-88, doi: 10.1109/LMWC.2008.2011319.
20. V. Gutta, A. E. Parker and A. Fattorini, Characterization of Systematic and Random Diode Mismatches in Antiparallel-Diode Mixers, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, **57** (2009) 3153-3162, doi: 10.1109/TMTT.2009.2034443.

 ISSN: 2007 8102

SINTESIS DE CERÁMICOS DEL SISTEMA $Bi_{1-x}La_xFe_{1-y}Cr_yO_3$ (x=0.02-0.04-y=0.003-0.005-0.007) Y ESTUDIO DE PROPIEDADES FERROELÉCTRICAS DIELÉCTRICAS Y FOTOVOLTAICAS

Claudia Cristel Sarracino Hernandez[1]Ma. Guadalupe Rivera Ruedas[2], María Guadalupe Torruco Colorado[3] José Martin Yánez Limón[4], Ebelia del Ángel Meráz[5]*

[1]Universidad Juárez Autónoma de Tabasco sh230289@gmail.com, [2] Universidad Juárez Autónoma de Tabasco Guadalupe.rivera@ujat.mx [3]Universidad Juárez Autónoma de torruco_mg@hotmail.com, [4]Centro de Investigación y de Estudios Avanzados jmyanez@cinvestav.mx ,[5]Universidad Juárez Autónoma de Tabasco ebelia.delangel@ujat,mx

***Área de participación**:* Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Resumen

En el siguiente trabajo se presenta el estudio de $BiFeO_3$ (BFO) dopado con La^{+3} y Cr^{+3} en volumen. Se prepararon cerámicos en volumen por el método cerámico convencional y se caracterizaron, seleccionando los de mayor respuesta para depositar películas por erosión catódica para estudios posteriores de sus propiedades ferroeléctricas y fotovoltaicas. Los substratos utilizados fueron de vidrio y vidrio/ITO variando la potencia y el tiempo de depósito, alcanzando espesores aproximadamente de 400 a 900 nm. Se caracterizaron las propiedades ópticas, ferroeléctricas y fotovoltaicas, las propiedades ferroeléctricas del sistema BFO dopado incrementa en los sistemas cerámicos ya que se reduce la resistividad del material, en las películas delgadas solo los sistemas con un tiempo mayor de depósito (90 min), presentaron respuesta ferroeléctrica. Se logró reducir el *band gap, en ambos casos*.

***Palabras clave**: BFO,* fotorrespuesta, fotovoltaico, impurificación tierras raras

Abstract

The following work presents the study of BiFeO3 (BFO) doped with La^{+3} and Cr^{+3} in volume. Ceramics in volume were prepared by the conventional ceramic method and characterized, selecting those with the highest response to deposit films by cathodic erosion for further studies of their ferroelectric and photovoltaic properties. The substrates used were glass and glass/ITO, varying the power and deposition time, reaching thicknesses of 400 to 900 nm. The optical, ferroelectric, and photovoltaic properties were characterized, the ferroelectric properties of the doped BFO system increase in ceramic systems since the resistivity of the material is reduced, in thin films only the systems with a longer deposition time (90 min.), presented ferroelectric response. The band gap was reduced in both cases.

***Key words**: BFO, photoresponse, photovoltaic, rare-earth doping*

Introducción

El BiFeO3 (BFO) es una alternativa para la aplicación de sistemas fotovoltaicos, debido a que tiene la capacidad para absorber un 20% de la luz, ya que cuenta con un band gap estrecho, con lo que se espera tener una mayor densidad de corriente y por ende una mayor eficiencia; al ser un sistema libre de plomo (Pb) es un candidato ideal, para el desarrollo de la nueva era de los óxidos ferroeléctricos, en aplicación de semiconductores [1] [2]. El BFO presenta un gran potencial para su uso en dispositivos ferroeléctricos de alta densidad, como memorias no volátiles, debido a sus ventajas en Ferroelectricidad, acoplamiento magnetoeléctrico y optoelectrónica, es un material multiferroico muy prometedor para diversas aplicaciones no solo fotovoltaicas, sino también magnéticas y ferroeléctricas [3][4] . Debido a que cuenta con una temperatura de Curie (Tc) de 850°C, lo que implica un comportamiento ferroeléctrico por debajo de esa temperatura, de igual manera presenta un comportamiento

 ISSN: 2007 8102

antiferromagnético, por debajo de su temperatura de Néel (TN) de 370 °C. Para el caso de películas delgadas ferroeléctricas, se reportan Band Gap´s de 2.64 a 2.8 eV y una polarización remanente de 80 a 90 μC/cm2 [5][6]. Obtener el BFO en su estado más puro, es la principal problemática para trabajar con este sistema, algunos autores han reducido la formación de fases secundarias al dopar la estructura con tierras raras, mejorando así el exceso de corrientes de fuga. Por otra parte, dopando el BFO, con metales de transición, se reduce la resistividad del material y se aumenta la conductividad, un ejemplo de esto, es que al dopar el BFO con titanio (Ti), es posible estabilizar las cargas, ya que el Ti actúa como un donante y compensa la reducción de cargas, provocado por el cambio de valencia del fierro[8]. En este trabajo se busca, una ruta de síntesis adecuada, aplicando la técnica de molienda de alta energía para obtener el BFO, al impurificar el material, con lantano y cromo, no sólo se espera que se reduzca la formación de fases secundarias, sino también, una mejora en sus propiedades ferroeléctricas y fotovoltaicas, las cuales son afectadas por, la alta conductividad, las pérdidas de corriente y la resistividad, provocadas por el cambio de valencia del hierro y la volatilidad del óxido de bismuto.

Metodología

Materiales

Los reactivos utilizados en le síntesis de BFO fueron: Óxido de bismuto. (Aldrich 99,99%), Óxido de lantano. (Sigma 99.9%), Óxido de fierro. (Goldel Bell 98.8%), Óxido de cromo. (Sigma-Aldrich 98%) y Acetona grado Técnico (Meyer 99%).
Las nomenclaturas correspondientes para cada una de las composiciones de las diferentes relaciones molares de dopaje serán etiquetadas como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.- Nomenclatura utilizada para la identificación de las diferentes composiciones preparadas

Etiqueta	(x)%La^{3+}	(y)%Cr^{3+}
BFO-M	0	0
BLFCO-M1	0.02	0.003
BLFCO-M2	0.02	0.005
BLFCO-M3	0.02	0.007
BLFCO-M4	0.04	0.003
BLFCO-M5	0.04	0.005
BLFCO-M6	0.04	0.007

Para el sistema BLFCO, que pertenece al BFO impurificado con el La^{+3} y de Cr^{+3}, la ecuación estequiométrica utilizada fue:

$$\frac{1-x}{2}Bi2O_3+\frac{x}{2}La2O_3+\frac{1-y}{2}Fe_2O_3+\frac{y}{2}Cr_2O_3 \rightarrow Bi_{1-x}La_xFe_{1-y}Cr_yO_3$$

Para la realización de los blancos, primero se caracterizaron los sistemas en volumen, seleccionando así las muestras que presentaron mejores propiedades ferroeléctricas y estructurales, las cuales pertenecen a los sistemas:
• BLFCO-M2 ($Bi_{0.98}La_{0.02}Fe_{0.995}Cr_{0.005}O_3$)
• BLFCO-M5 ($Bi_{0.96}La_{0.04}Fe_{0.995}Cr_{0.005}O_3$).

Para poder observar el comportamiento de los dopajes en las películas delgadas, se prosiguió a realizar un tercer blanco, el cual pertenece al sistema: BF0-M. Se calculó la masa requerida en relación de su volumen y densidad para cada sistema, con el fin de obtener blancos de 2 pulgadas de diámetro con un espesor de 0.1771 pulgadas (4.5 mm).
Las películas delgadas fueron crecidas sobre sustrato de vidrio Corning y vidrio-ITO a temperatura ambiente, utilizando los blancos sinterizados para cada muestra, en un sistema de erosión catódica de radio frecuencia (R-F), a una presión de trabajo de 2x10-2 mbar. El gas utilizado para el depósito fue argón de alta pureza. Se empleó un equipo Intercovamex Sputtering V3.-

Preparación

Para la síntesis de las diferentes muestras se siguió el diagrama de trabajo que se muestra en la Figura 1.

 ISSN: 2007 8102

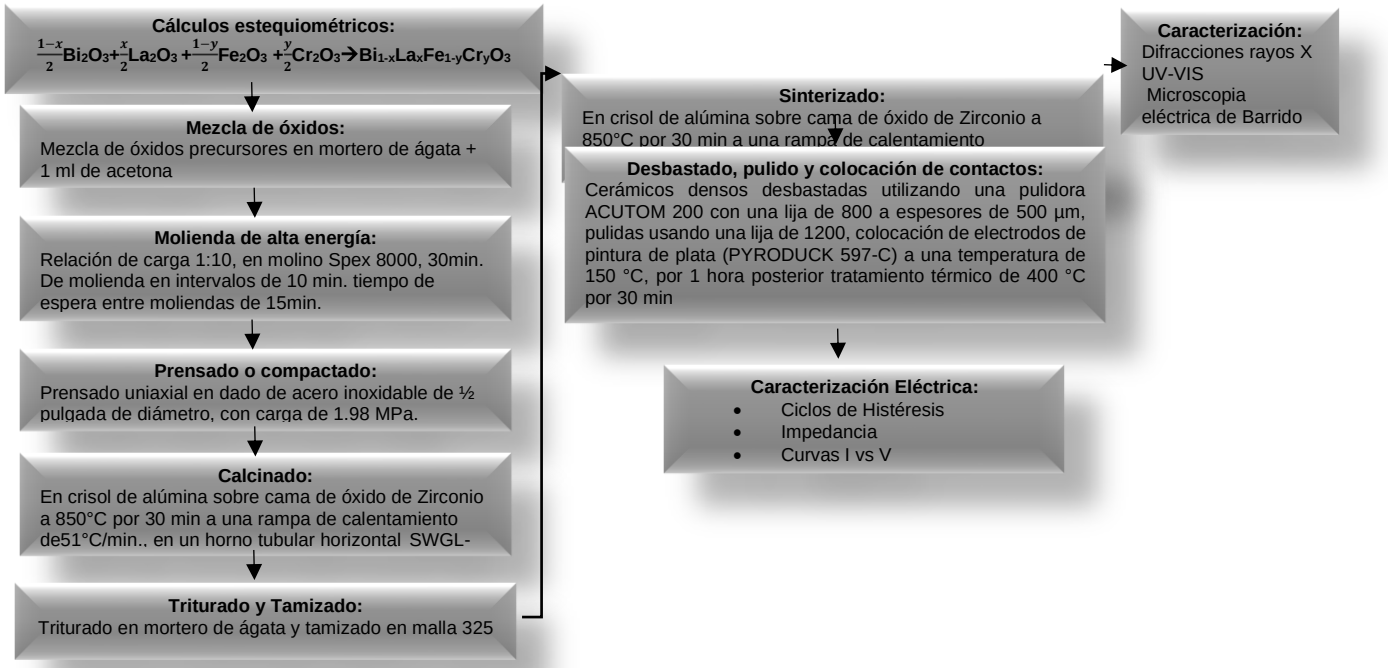


Figura 1.- Diagrama de trabajo de preparación de cerámicos densos de $Bi_{1-x}La_xFe_{1-y}Cr_yO_3$

Resultados y discusión

Cerámicos en volumen

La densificación de la ferrita de bismuto es compleja, debido a que en la mayoría de las cerámicas reportadas por diferentes métodos de síntesis, no se supera más del 90 % de la densificación, la principal problemática es la temperatura de los tratamientos térmicos, ya que por arriba de los 600 °C, se empiezan a formar fases secundarias y a volatilizar elementos, lo que implica pérdidas de masa y como consecuencia provocan porosidad en las muestras afectando así a sus propiedades eléctricas [9]. La densidad total o experimental de los cerámicos sinterizados a una temperatura de 850 °C, se calculó a partir del método geométrico y el principio de Arquímedes los valores encontrados por ambos métodos se muestran en la Tabla 2. Se puede observar que cuando se aumentan las concentraciones de cromo, en los sistemas hay una mayor densificación. La mayor densificación, para los sistemas impurificados al 2% con lantano, fue de 96%, la cual pertenece al sistema, BLFCO-M3 (La=0.02-Cr=0.007).

Tabla 2 : Densidad total del sistema BFO y BLFCO.

Muestra	La^{+3}	Cr^{+3}	δ Geométrica	δ Arquímedes	%δ Geométrica	%δ Arquímedes
BFO-M	0	0	7.553	7.530	96.96	96.67
BLFCO-M1	0.02	0.003	7.449	7.608	95.65	97.67
BLFCO-M2	0.02	0.005	7.599	7.614	97.54	97.74
BLFCO-M3	0.02	0.007	7.656	7.733	98.28	99.28
BLFCO-M4	0.04	0.003	7.344	7.424	94.27	95.43
BLFCO-M5	0.04	0.005	7.448	7.759	95.61	97.30
BLFCO-M6	0.04	0.007	7.392	7.413	94.89	95.15

Espectroscopia electrónica de barrido (MEB)

La morfología de los materiales se determinó mediante la espectroscopia electrónica de barrido, obteniendo imágenes de electrones secundarios (SE) e imágenes por electrones retrodispersados (BSE), para cada uno de los cerámicos en volumen a diferentes escalas (2500x y 5000x) con los cuales se determinó el tamaño de grano de cada sistema por medio del software Image J.

 ISSN: 2007 8102

Las muestras que pertenece a la ferrita de bismuto sin dopaje se muestran en la Figura 2. Se observa una morfología esférica se aprecia una morfología granular muy poco definida y algunos granos de forma esférica y las zonas más oscuras indican que el material presenta porosidad en su estructura, el tamaño promedio de los granos en el material es de 1.127 µm.
Las micrografías del sistema BLF impurificadas con La y Cr. en los sistemas dopados, al aumentar la concentración de La^{+3} al 4%, el tamaño de grano va en aumento al doble como se muestra en la Figura 3, y presenta cambio de morfología tipo esférica a una morfología más granular.

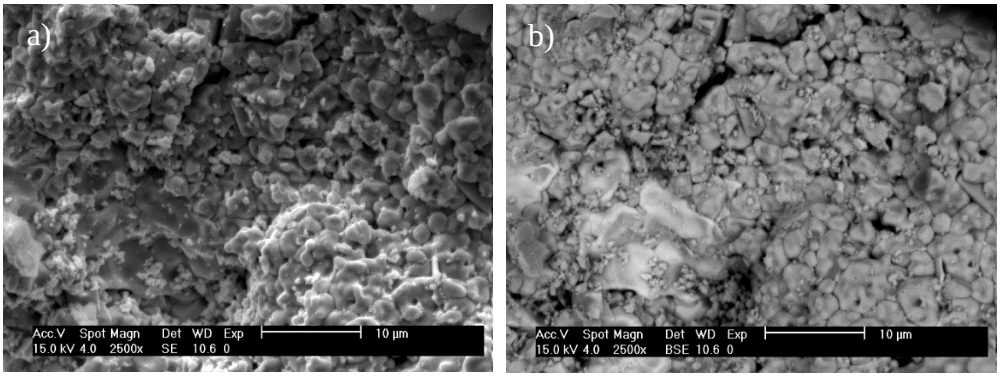


Figura 2. Micrografías de MEB de los cerámicos en volumen de BFO A 2500X de electrones secundarios (SE) y b) imágenes por electrones retrodispersados (BSE),

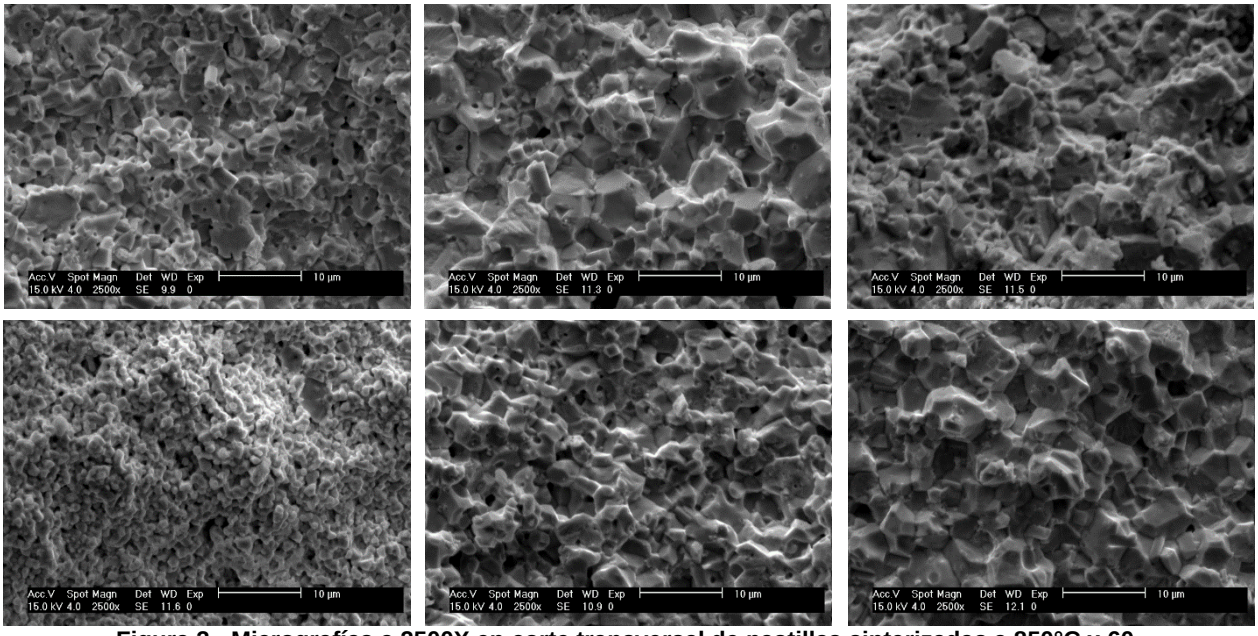


Figura 3.- Micrografías a 2500X en corte transversal de pastillas sinterizadas a 850°C x 60

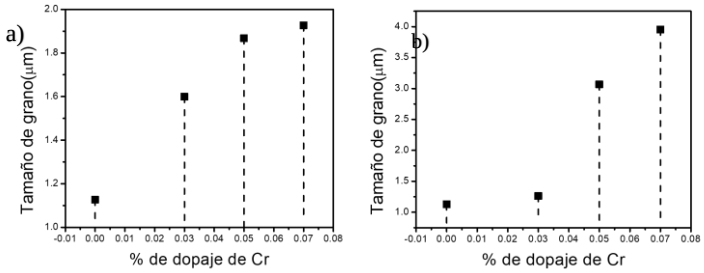


Figura 4. Dependencia del tamaño de grano con la concentración de a) dopajes de Cr y La al 2 % b) dopajes de Cr y La al 4 %

Difracción de rayos X (DR-X)

Para la identificación de la estructura cristalina se realizó el análisis por DR-X, se utilizó un tubo generador de radiaciones de cobre con un $k_{\alpha 1}$=1.54060 Å y un barrido para las muestras en volumen, de 15° a 100° con un ángulo de incidencia de 5° y para las películas delgadas, se utilizó un barrido de 20° a 60° con un ángulo de incidencia de 1°. En la Figura 6a, se presentan los Difracto gramas, para los sistemas dopados al 2% con La^{+3} y al 0.3%, 0.5% y 0.7% de Cr^{+3}. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**b, se muestran los sistemas dopados con La^{+3} al 4% y al 0.3%, 0.5% y 0.7% de Cr^{+}**.**

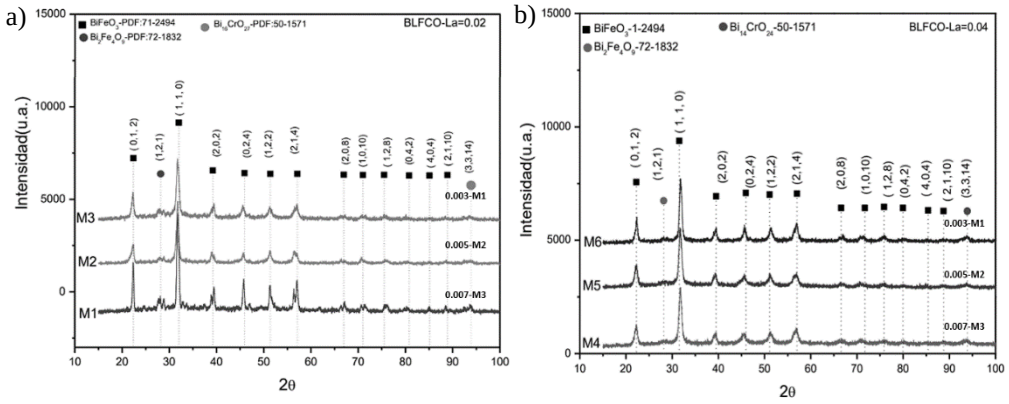


Figura 5.- Difractogramas de los sistemas cerámicos en volumen, impurificados con Cr y La, a) La=2% y b) La=4%

La fase principal para cada uno de los sistemas fue identificada como ferrita de bismuto, correspondiente al número de ficha 71-2494, con una estructura cristalina hexagonal y grupo espacial R3C y con parámetros de red, a=b=5.5876 Å y c=13.867 Å, esto de acuerdo con la base de datos del programa JADE. De igual manera se identificaron 2 fases más, las cuales fueron: $Bi_2Fe_4O_9$ y $Bi_{14}CrO_{24}$, que se encuentra en un ángulo 2θ de 25 a 30, con un plano de incidencia (1, 2,1), fue identificada con la ficha número 72-1832 (base de datos de Materiales date JADE), se logró reducir esta fase secundaria al impurificar los sistemas con La^{+3} al 4%. al impurificar con La^{+3} al 4 %, en él se observa solo trazas de la fase secundaria Bi2Fe4O9, con una incidencia en el plano (1,2,1) y una disminución en la intensidad de la fase secundaria $Bi_{14}CrO_{24}$, con una incidencia en el plano (2,3,14).

Histéresis ferroeléctrica

Todas las muestras impurificadas con La^{+2} y Cr^{+3}, fueron sometidas a las mismas condiciones de síntesis, se manejó un voltaje máximo de 4000 V y un periodo de 5 ms, con el fin de hacer una adecuada comparación. En el caso del BiFeO3 sin impurificaciones, solo se utilizó un voltaje de 1500 V.

El análisis ferroeléctrico de la muestra BFO-M, que pertenece a la ferrita de bismuto sin impurificar, se presenta en la Figura 7, donde se puede observar una excesiva conducción y una alta pérdida de corriente, esto se puede atribuir a las fases secundarias que presenta y a la formación de vacancias de bismuto y oxígeno, las cuales afectan a sus propiedades ferroeléctricas. La muestra no alcanzó a polarizarse, debido a que el máximo campo eléctrico (E_{max}) aplicado para este sistema fue de 35 kV/cm y el cual no logro ser suficiente para orientar a los dipolos, pero si la muestra era expuesta a campos eléctricos mayores sufría daños, debido a las imperfecciones en la red cristalográfica (alta porosidad presentada), lo cual limitó la caracterización.

 ISSN: 2007 8102

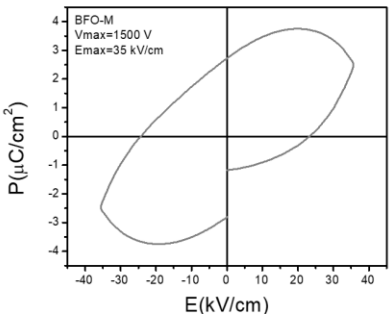


Figura 6.- Curva de histéresis para BFO Sin impurificar

Para las muestras impurificadas al 2% con La_{+3}, al aumentar las concentraciones de Cr^{+3}, se reduce la conductividad y las corrientes de fuga son menores sin poder llegar al punto de saturación de las muestras, debido a que el campó eléctrico no fue suficiente para orientar los dipolos, el E_{max}, que se le aplicó a cada una de las muestras fue de 80 kV/cm con un voltaje de 4000 V, con el fin de aumentar la polarización en los materiales, se incrementaron los tiempos de exposición del campo aplicado, los cerámicos que pertenecen a los sistemas BLFCO-M1 y BLFCO-M2, al ser expuestos a tiempos mayores a 20 ms, presentan un aumento en las corrientes de fuga.

En las muestras que fueron impurificadas con un La^{+3} al 4 %, se presenta una disminución muy notable en las corrientes de fuga para cada sistema, al incrementar los tiempos de exposición al campo eléctrico se incrementa la polarización de cada uno de los sistemas, pero se continúa sin llegar al punto máximo de saturación de las muestras. El equipo utilizado para las caracterizaciones solo genera 4000 V, lo que limita la caracterización e impide saber si realmente el material se puede polarizar a campo eléctricos mayorees a 80 kV/cm. Pero las deficiencias más notables para todos los cerámicos en volumen, es la alta conductividad y las corrientes de fuga, la cual se asocia al cambio de valencia del hierro (Fe), las vacancias de oxígeno generadas y la alta porosidad presentada [10].

Al impurificar con lantano y cromo, se observa una mejora en las respuestas ferroeléctricas de cada muestra, pero no se logró llegar al punto de saturación, debido a que el BFO cuenta con una alta conductividad y solo se polariza a campos mayores a 1000 kV/cm.

Se ha tratado de estudiar las características multiferroicas del BFO dopándolo con iones de tierras raras como La^{3+}, Er^{3+}, Sm^{3+}, Y^{3+}, Dy^{3+}y Ho^{3+}que causa alteración en el comportamiento del cristal y mejorar las propiedades eléctricas y magnéticas [11]. Además de esto, se han realizado varios esfuerzos para reducir la densidad de corriente de fuga dopando algunos iones adecuados en el sitio Bi 3+ y las vacantes creadas al eliminar los iones Bi 3+ se compensan con iones de tierras raras, lo que provoca la reducción de la conductividad.. Se ha sugerido que la conductividad en BFO puede verse fuertemente afectada por la reducción de iones Fe^{3+}a Fe^{2+}[12].

Por este motivo los sistemas dopados al 4 % con lantano, muestran una menor polarización respecto a los sistemas dopados al 2 %. La polarización más alta que se alcanzó en las muestras, aplicando un campo eléctrico de 80 kV/cm, pertenece a los sistemas BLFCO-M2 y BLFCO-M5, con una polarización del orden de 0.697 μC/cm2 y 0.149 μC/cm2 respectivamente

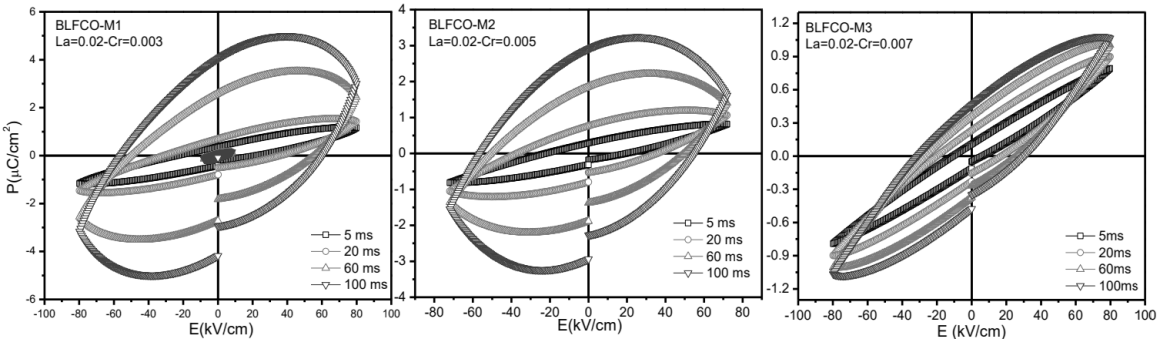


Figura 7.- Curvas de histéresis para los sistemas BLFCO, M1 (La=0.02-Cr=0.003), M2 (La=0.02-Cr=0.005) y M3 (La=0.02-Cr=0.007) a su máximo campo aplicado y variando los periodos.

 ISSN: 2007 8102

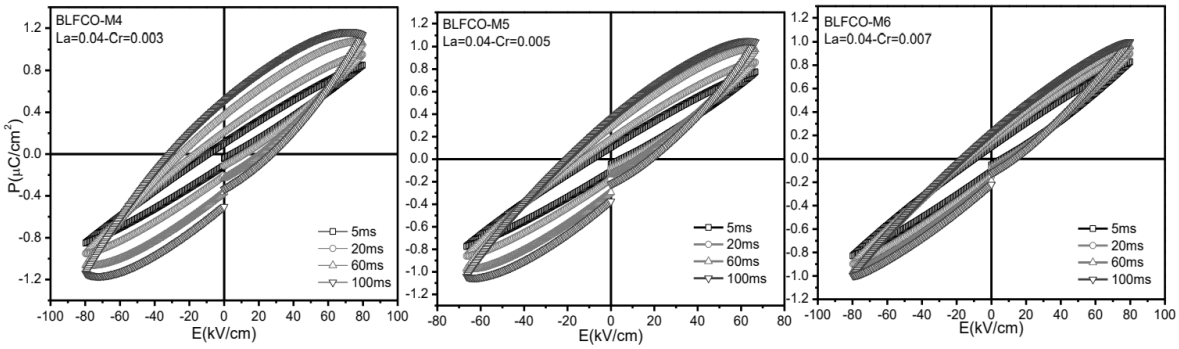


Figura 8.- Curvas de histéresis para los sistemas BLFCO. M4 (La=0.02-Cr=0.003), M5 (La=0.02-Cr=0.005) y M6 (La=0.02-Cr=0.007), a su máximo campo aplicado y variando los periodos.

Permitividad dieléctrica

Las muestras seleccionadas para esta caracterización son las que pertenecen a los sistemas: BLFCO-M2 y BLFCO-M5, debido a que sus respuestas ferroeléctricas en comparación a los otros materiales obtenidos son las más considerables. El sistema BFO-M, se seleccionó para evaluar el comportamiento del material cuando no está impurificado. La permitividad relativa, conocida también como constante dieléctrica (εr), a diferentes frecuencias y en función de la temperatura (de temperatura ambiente a 400 °C), se exhibe en la Figura 10, al aumentar las frecuencias la constante dieléctrica se reduce, debido a que se excede su tiempo de relajación (104 -108 Hz), de tal manera que los dipolos no pueden cambiar de dirección, afectando así la constante dieléctrica. Los sistemas al presentar una alta conductividad no cuentan con buenas propiedades dieléctricas, en la Tabla 3, se presentan los resultados de la constante dieléctrica a temperatura ambiente y a diferentes frecuencias, para las muestras de BFO-M y BLFCO-M5, su permitividad se considera baja, en comparación a lo reportado para el BFO sin ninguna impurificación, donde el valor de la constante dieléctrica es del orden de 80 a temperatura ambiente y una frecuencia de 100 kHz [71], solo el sistema BLFCO-M2 presenta una ligera mejora en base a lo reportado.

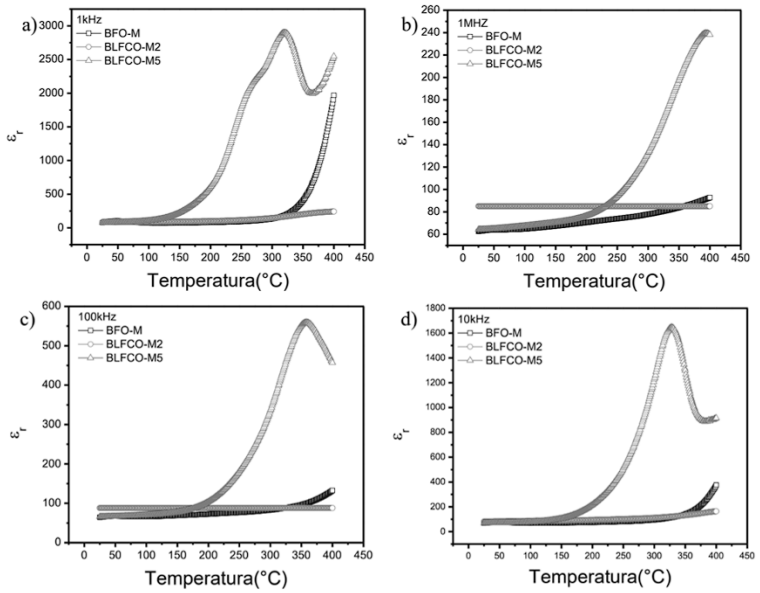


Figura 9.- Dependencia de la frecuencia y temperatura para los sistemas, BFO-M. BLFCO-M2 y BLFCOM5.

Propiedades ópticas

 ISSN: 2007 8102

Utilizando el método de Tau y la relación de Kubelka-Munk se estimó el Band gap para los cerámicos en volumen, con el fin de estudiar cómo son afectadas las propiedades ópticas del material al impurificarlo. Para todas las cerámicas sintetizadas en este trabajo, se logró reducir el band gap, al aumentar las concentraciones de cromo como se observa en la Figura 11. Los sistemas tienen la capacidad para responder a la luz solar, al cumplir la siguiente igualdad 0.5 eV >Eg < 3 eV, ya que el 99 % de la energía solar se emite en longitudes de onda que oscilan entre 0.3 y 2.5 µm (0.5 eV-3 eV), es decir la energía de un fotón cubre un rango desde lo infrarrojo hasta lo ultravioleta por lo tanto, al contar con un band gap menor a 3 eV para cada una de las muestras (Tabla 3), se logra una absorción parcial en los materiales lo cual es benéfico para las aplicaciones fotovoltaicas.

Tabla 3.- Valores de band gap para cada una de las cerámicas

Sistema	Band gap (eV)
BFO-M	2.222
BLFCO-M1	2.032
BLFCO-M2	2.031
BLFCO-M3	2.028
BLFCO-M4	2.053
BLFCO-M5	2.024
BLFCO-M6	2.015

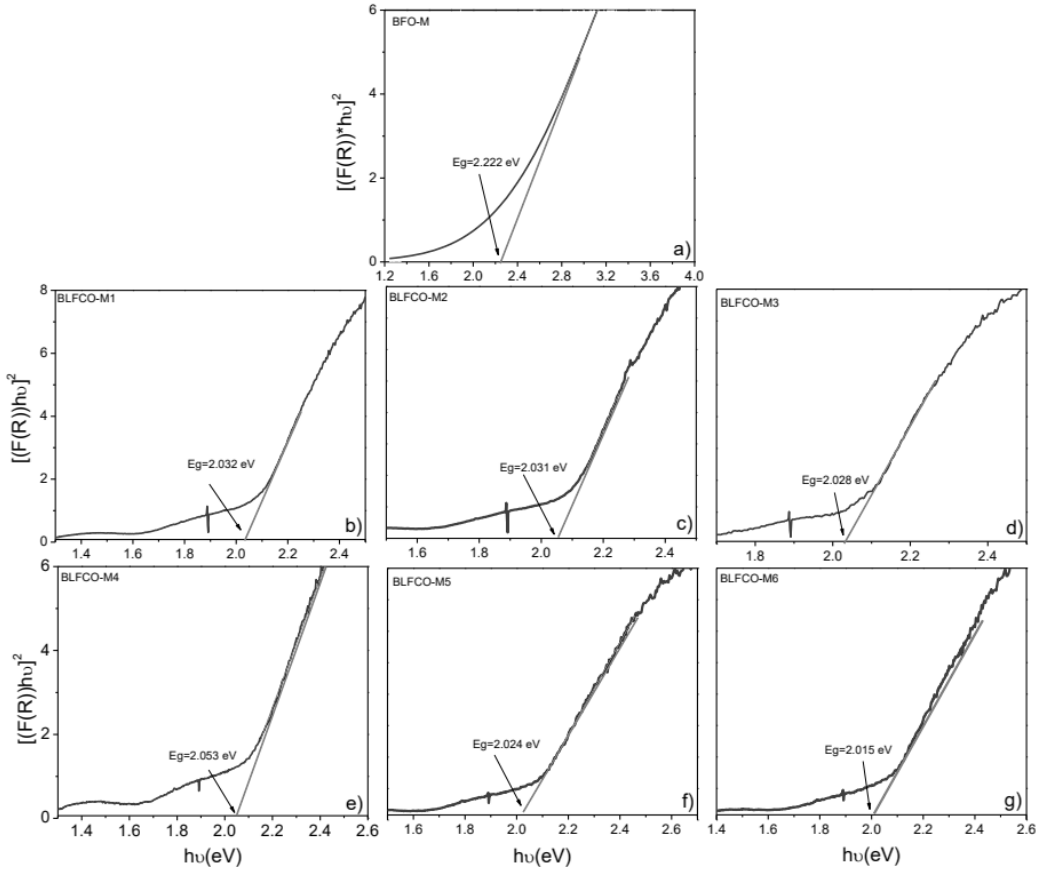


Figura 10.- Graficas de Tau para determinar el band gap: a) BFO-M sin impurificar, b) BLFCO-M1, c) BLFCOM2, d) BLFCO-M3, e) BLFCO-M4, f) BLFCO-M5 y g) BLFCO-M6.

Trabajo a futuro

Películas delgadas.

Una vez caracterizados los cerámicos en volumen se seleccionaron las muestras con el mejor desempeño en sus caracterizaciones eléctricas para ´preparar blancos para depósito de películas. El proceso para depositar las películas delgadas fue mediante la técnica de erosión catódica (Sputtering), para realizar esta deposición, primero

se realizaron los blancos cerámicos. Los sistemas seleccionados para la deposición de películas y para los cuales se realizaron los blancos fueron:

- BF0-M($BiFeO_3$)
- BLFCO-M2($Bi_{0.98}La_{0.02}Fe_{0.995}Cr_{0.005}O_3$)
- BLFCO-M5 ($Bi_{0.96}La_{0.04}Fe_{0.995}Cr_{0.005}O_3$).

En el caso de los sistemas, BLFCO-M2 y BLFCO-M5, se seleccionaron para el depósito de películas, debido a que presentan menos fases secundarias y mejores respuestas ferroeléctricas, en el caso del sistema BFO-M se seleccionó, para hacer una comparación y ver cómo afectan los dopajes al material. El proceso para depositar las películas delgadas fue mediante la técnica de erosión catódica (Sputtering), para realizar esta deposición, primero se realizaron los blancos cerámicos. Las películas delgadas fueron crecidas sobre sustrato de vidrio Corning y vidrio-ITO a temperatura ambiente, en un sistema de erosión catódica de radio frecuencia (R-F), a una presión de trabajo de 2x10-2 mbar. El gas utilizado para el depósito fue Argón de alta pureza, el equipo empleado fue: Intercovamex Sputtering. Las películas que fueron sometidas a un tratamiento térmico se encapsularon y el equipo fue precalentado a 900°C por 3 horas, un día antes del tratamiento para las películas, con el fin de eliminar contaminantes en la atmosfera de la cámara de calentamiento del equipo y evitar contaminación o cualquier tipo de impurezas en las películas. Para poder realizar las caracterizaciones ferroeléctricas y fotovoltaicas a las películas delgadas, por medio de un Mini Sputtering, Marca: Plasma Sciences Inc. Modelo: LVC-76, se colocaron contactos eléctricos de oro (Au) con un tiempo de depósito fue de 90 segundos. Las propiedades de las películas obtenidas de este trabajo serán reportadas sus propiedades en publicaciones posteriores

Conclusiones

La metodología empelada en este trabajo es ideal para obtener cerámicas densas del sistema $Bi_{1-x}La_xFe_{1-y}Cr_yO_3$, sin la necesidad de implementar solventes altamente tóxicos, prensado isostático en caliente, altas temperaturas, presiones sumamente bajas o atmosfera de oxígeno en los tratamientos térmicos. Los resultados para la DRX, identificaron como fase principal a la ferrita de bismuto para todos los sistemas, con una estructura hexagonal y grupo espacial R3c. Al impurificar el material con lantano, se reduce la formación de fases secundarias como $Bi_2Fe_4O_9$ y $Bi_{14}CrO_{24}$. Las concentraciones de lantano y cromo usadas no afectan la estructura cristalina del material, es decir la estructura hexagonal del BFO no se modificó al impurificar el material. Los sistemas, que presentaron una intensidad menor en sus fases secundarias son: BLFCO-M2 y BLFCO-M5. El porcentaje de densidad de todos los sistemas sinterizados fue superior a lo reportado, pero solo las muestras de los sistemas BLFCO-M2 y BLFCO-M5, presentaron porcentajes de porosidad menores al 5 %. El tamaño de grano para la ferrita de bismuto fue creciendo conforme se aumentaban las concentraciones de lantano, al aumentar las concentraciones de cromo se mejoró la consistencia de los granos. Para los materiales sinterizados en este trabajo las propiedades eléctricas son afectadas, cuando la concentración de lantano es del 4 %. La polarización remanente más alta de los sistemas dopados al 2 % fue de 0.697 µC/cm2 y pertenece al sistema BLFCO-M2. Para los sistemas dopados al 4 %, la polarización remanente más alta fue para el sistema BLFCO-M5, con un valor de 0.149 µC/cm2. Debido a la alta conductividad de los sistemas, BFO-M y BLFCO-M2 y BLFCO-M5, el aumento de la constante dieléctrica no fue lo esperado, solo para el sistema BLFCO-M2 presento un ligero incremento en base a lo reportado para el BFO sin impurificaciones. La impurificación con Cr no afecta drásticamente a la constante dieléctrica, pero al aumentar las concentraciones de La al 4 % se reduce la temperatura de Curí del material

Referencias

[1] Velu Venugopal, Dhandapani Balaji, Mani Preeyanghaa, Cheol Joo Moon, Bernaurdshaw Neppolian, Govarthanan Muthusamy, Jayaraman Theerthagiri, Jagannathan Madhavan, Myong Yong Choi, “Synergistic combination of BiFeO3 nanorods and CeVO4 nanoparticles for enhanced visible light driven photocatalytic activity”, Alexandria Engineering Journal. Vol. 1, pp. 531-543, 2023.

[2] Rui Su, Yuwei Zhao, Ruizi Xiao, Awei Dong, Zhengze Yuan, Weiming Cheng , Rui Yang, Junbing Yan, Yongchao Wang, Mingxing Gong, Xiangshui Miao, “Orthorhombic phase induced ultra-low operation voltage in La-doped BiFeO3 resistive switching devices”, Ceramics International, 2023.

[3] P Harshapriya, Pawandeep Kaur, Deepak Basandrai,“Influence of La-Ag substitution on structural, magnetic, optical, and microwave absorption properties of BiFeO3 multiferroics”Chinese Journal of Physics, vol. 84, pp. 119-131, 2023.

[4] Muhammad Tariq, Amiruddin Shaari, Kashif Chaudhary, Rashid Ahmed, Muhammad Arif Jalil, Fairuz Dyana Ismail, "Magnetoelectric, and dielectric based switching properties of co-doped BiFeO3 for low energy memory technology: A first-principles study", Physica B: Condensed Matter, Vol. 650, 414489, 2023.

[5] Abdul Ali Khan,Saif Ullah, Gul Rehman, Sajid Khan, "First principle study of band gap nature, spontaneous polarization, hyperfine field and electric field gradient of desirable multiferroic bismuth ferrite ($BiFeO_3$)", Journal of Physics and Chemistry of Solids, vol. 148, , 109737, 2021.

[6] S. Gupta, L.J. Feng, R. Medwal, J.V. Vas, M. Mishra, G.R. Deen, L.C.K. Paul, R.S. Rawat, "Spin-casted (Gd–Zn) co-doped $BiFeO_3$ thin films for sustainable oxide-electronics", Materials Science in Semiconductor Processing, vol. 132, 105902, 2021

[7] Eduardo A. Volnistem, Raquel D. Bini, Daniel M. Silva, Jaciele M. Rosso, Gustavo S. Dias∗ , Luiz F. Cótica, Ivair A. Santos "Intensifying the photocatalytic degradation of methylene blue by the formation of BiFeO3/Fe3O4 nanointerfaces", Ceramics International, vol. 46, Issue 11, pp. 18768-18777, 2020.

[8] F. Brahma, Lutu Sahoo, S. Bhattacharjee, R.L. Hota, B.N. Parida, R.K. Parida, "Investigation of impedance and leakage feature in BFO-BTO perovskite system" Materials Today: Proceedings, vol. 67, pp. 1175–1179, 2022.

[9] Yuta Shinjo, Masae Mori, Shinobu Fujihara, Manabu Hagiwara,"Ti doping and low-temperature sintering of BiFeO3 nanoparticles synthesized by the solvothermal method", Ceramics International, vol. 48, pp. 32723–32729, 2022

[10] Zifei Wang, Xinyue Yang, Xuemin He, Hongtao Xue, Xingfu Wang, Huiyuan Dong, Jiangwei Zhu, Weiwei Mao, XingLiang Xu, Xing'ao Li, "Roles of oxygen vacancy and ferroelectric polarization in photovoltaic effects of BiFeO3 based devices", Solid State Communications, vol. 360, 115042 , 2023

[11] Vijay, Priyanka Godara, Ashok Kumar, Ram Mehar Singh, "Structural and magnetic analysis of pure and rare earth doped bismuth ferrites (BFO) ", Materials Today: Proceedings , 2023

[12] G.D. Jadav, S.K. Chavda, P.V. Kanjariya, J.A. Bhalodia, "Influence of the Gd substitution on the structural, magnetic and electrical properties of BiFeO3", Materials Today: Proceedings, vol. 47, pp. 510–516, 2021

 ISSN: 2007 8102

Control de un convertidor Cuk de voltaje para seguimiento de curva de una celda fotovoltaica

María Andrea Olivo Calles[*1], Pedro Martín García Vite*[*1,2,3], Diana Karen García Ventura*[1], Brenda Lizeth Reyes García*[2], Luis Fortino Cisneros Sinencio*[1,2,3]
Maestría en Ciencias de la Ingeniería[1], Doctorado en Ciencias de la Ingeniería[2],
Maestría en Ingeniería Eléctrica[3]
Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Ciudad Madero,
Av. 1o. de Mayo y Sor Juana Inés de la Cruz s/n, C.P.89440, Cd. Madero, Tamaulipas, México

g22073001@cdmadero.tecnm.mx*, pedro.gv@cdmadero.tecnm.mx*, g22073005@cdmadero.tecnm.mx, d09071201@cdmadero.tecnm.mx, fortino.cs@cdmadero.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Eléctrica y Electrónica*

Resumen

Un emulador fotovoltaico es un dispositivo que simplifica la fase de prueba de los sistemas fotovoltaicos en diversas condiciones. Este se compone de un circuito electrónico que reproduce fielmente las características de voltaje y de corriente similares de un módulo fotovoltaico. En esta propuesta, se analiza y simula un convertidor de potencia tipo Cuk con un controlador proporcional-integral para validar su funcionamiento para el seguimiento del voltaje de acuerdo con una tabla de búsqueda que determina el punto de operación del emulador propuesto. Los valores de la tabla corresponden a la curva fotovoltaica generada mediante un modelo matemático simplificado. El controlador diseñado es lo suficientemente robusto para seguir el voltaje correspondiente a la curva del módulo fotovoltaico, actuando según el valor de la carga. Los resultados en simulación muestran una respuesta con un tiempo de establecimiento lo suficientemente bajo para esta aplicación, asumiendo un cambio lento en la carga.

***Palabras clave**: convertidor Cuk, controlador PI, emulador fotovoltaico, modelo PV*

Abstract

A photovoltaic emulator is a device that simplifies the testing phase of photovoltaic systems under various conditions. This is made up of an electronic circuit that faithfully reproduces the similar voltage and current characteristics of a photovoltaic module. In this proposal, a Cuk type power converter with a proportional-integral controller is analyzed and simulated to validate its operation for voltage monitoring according to a lookup table that determines the operating point of the proposed emulator. The values in the table correspond to the photovoltaic curve generated by a simplified mathematical model. The designed controller is robust enough to follow the voltage corresponding to the curve of the photovoltaic module, acting according to the load value. The simulation results show a response with a settling time low enough for this application, assuming a slow change in load.

***Key words**: Cuk converter, PI controller, photovoltaic emulator, PV model*

Introducción

La experimentación física con el sistema solar fotovoltaico (PV) se ve muy afectada por factores como lo son el costo de fabricación, el requisito de un área grande para su instalación y la irradiación solar discontinua. Esto puede ser un desafío dado que las condiciones meteorológicas cambian (principalmente la temperatura e irradiancia), asimismo el voltaje y la corriente son impuestos por la carga presente en el circuito [1]. Por lo tanto, para contemplar la investigación en sistemas PV, es obligatorio un equivalente al panel PV real con un entorno aislado de luz y temperatura. Como alternativa, un emulador PV es consistente, independiente del tiempo y libre de restricciones de espacio para realizar el análisis de una simulación precisa y validaciones experimentales [2].

Además, puede ser una herramienta útil para probar el rendimiento de los convertidores de potencia durante la fase de diseño y desarrollo [3]. Los emuladores PV están diseñados para emular las características de salida real

 ISSN: 2007 8102

utilizando circuitos eléctricos. Para hacerlo, las características de corriente y voltaje (I-V) son simuladas de un modelo matemático PV preciso utilizando los parámetros del fabricante del panel solar que será sujeto a estudio. Estas señales eléctricas son entregadas por un dispositivo electrónico y se introducen en el algoritmo de control del circuito eléctrico para controlar la salida del emulador que da como resultado una representación correcta de las características de dicho panel [4].

En la literatura existen distintas investigaciones sobre los emuladores PV, estos pueden ser clasificados en 4 categorías: basados en el modelo matemático PV [5], basados en convertidores de potencia [6], emuladores diseñados usando controladores en tiempo real y los de diseño hibrido [7,8].

Los basados en convertidores electrónicos de potencia han probado ser una opción robusta, confiable y eficiente, debido a que el modelo PV sólo provee la señal de operación y no transmite potencia, es necesario su uso en el sistema del emulador. Entre los distintos tipos de convertidores utilizados los de regulador lineal es raramente usado debido a que su eficiencia es muy baja. Los de fuente conmutada son ampliamente usados ya que la pérdida de potencia por conmutación es baja resultando así en una alta eficiencia y el voltaje de salida es fácilmente controlado cambiando el ciclo de trabajo. Sin embargo, la mayoría presentan oscilaciones alrededor del punto de operación lo que dificulta fijar el punto de máxima potencia [8]. Entre los diferentes tipos de convertidores el de tipo reductor es el más utilizado debido a su simplicidad y su bajo número de componentes [1,7].

Metodología

Para la presente propuesta se tiene como candidato al convertidor reductor-elevador Cuk para su uso en un emulador solar basado en [9]. La propuesta precedente tuvo como objetivo estimar los valores de todos los coeficientes manteniendo un bajo esfuerzo computacional y manteniendo la precisión adecuada para la emulación de las curvas características PV con una implementación electrónica sencilla [9].

De esta manera, con base al valor medido de una carga y considerando condiciones de irradiancia y temperatura deseadas, el emulador encuentra la correspondencia del voltaje calculado por el modelo PV simplificado. En este trabajo, esta señal de voltaje será el valor de referencia que deberá seguir el convertidor Cuk aunado a un controlador PI. La estructura de bloques del emulador solar fotovoltaico propuesto se aprecia en la Figura 1. Dado que se puede asumir que las variaciones de temperatura e irradiancia ocurren en el orden de milisegundos, causando un cambio en el punto de operación óptimo de un panel solar. El parámetro del desempeño del controlador a considerar es la precisión. Por tal motivo, la validación consiste en introducir cambios en el voltaje de referencia manteniendo el voltaje de entrada constante.

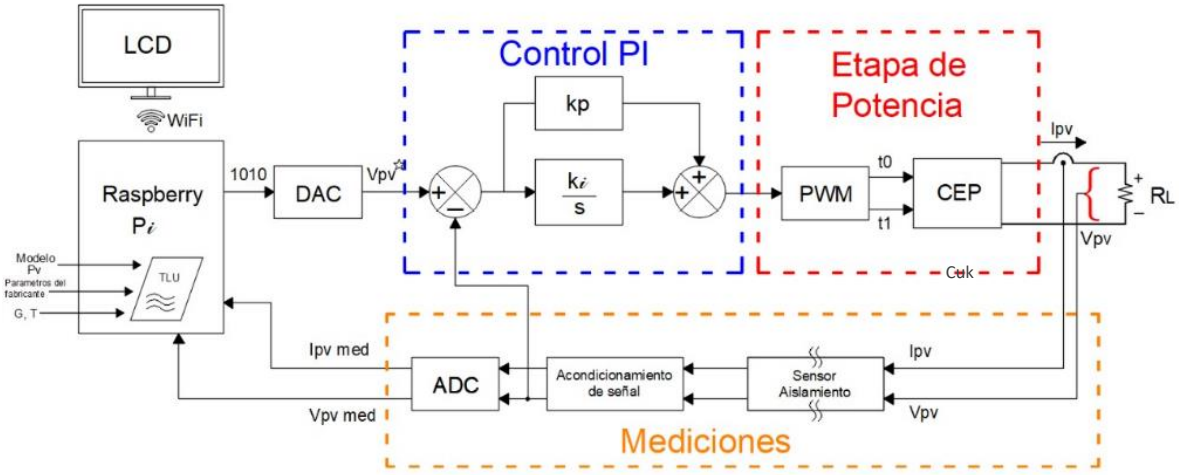


Figura 1. Estructura propuesta de un emulador basado en un convertidor de potencia.

En las siguientes secciones se describen detalladamente las características y funciones que desempeñan cada una de las partes del emulador solar en la estrategia propuesta. Se presenta la selección de la topología del convertidor de potencia, el dimensionamiento de sus elementos, la estrategia de control y su simulación.

 ISSN: 2007 8102

Modelo PV simplificado

El modelo PV simplificado o modelo de pérdidas óhmicas de 4 parámetros se basa en el modelo PV ideal de un diodo agregando una resistencia en serie R_s, la cual es debida a la resistencia que constituye la celda PV y por las pérdidas óhmicas debidas al contacto. La Ipv se calcula como en la ecuación 1. Este modelo facilita la obtención de los parámetros desconocidos los cuales son el factor A, I_{pv}, I_{os} y R_s usando los datos del fabricante. La ventaja de este modelo es que prescinde de ecuaciones muy complejas para adaptar los valores normalizados a cualquier irradiancia y temperatura a diferencia de otros modelos.

$$\mathrm{I_{pv}} = \frac{\mathrm{G}}{\mathrm{G_n}} \cdot \left[\mathrm{I_{SC-n}} + \propto_{\mathrm{SC}} \cdot \left(\mathrm{T_j} - \mathrm{T_n}\right)\right] - I_{os}\left[exp\left(\frac{q\left(V_{pv} + R_s \cdot I_{pv}\right)}{AKT_j}\right) - 1\right] \qquad (1)$$

En la Figura 2 está el modelo PV simplificado en Matlab/Simulink®. Los resultados del modelo PV son un conjunto de datos apareados para voltaje y corriente con los cuales se obtiene la curva característica. En la Figura 3 se encuentra el resultado de la simulación del modelo simplificado para un panel solar–compuesto por 36 celdas solares R.T.C. France. En este trabajo se valida la respuesta dinámica del controlador en la zona marcada como “Área de interés”, en la misma figura. Dicha zona contiene el punto de máxima potencia, bajo distintos valores de irradiancia, en el que se esperar trabaje nominamente el mdoulo PV.

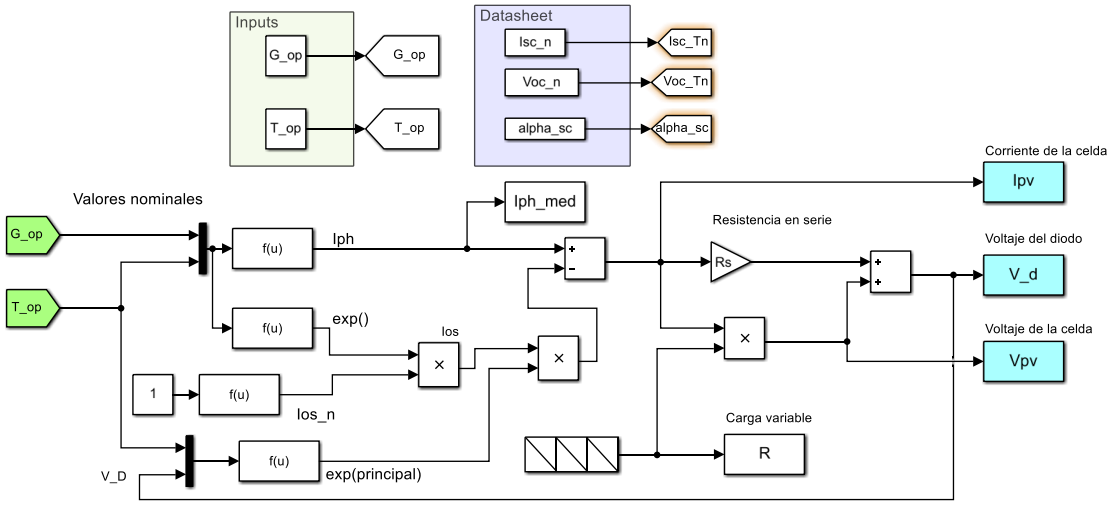


Figura 2. Simulación del modelo simplificado en Simulink Matlab®.

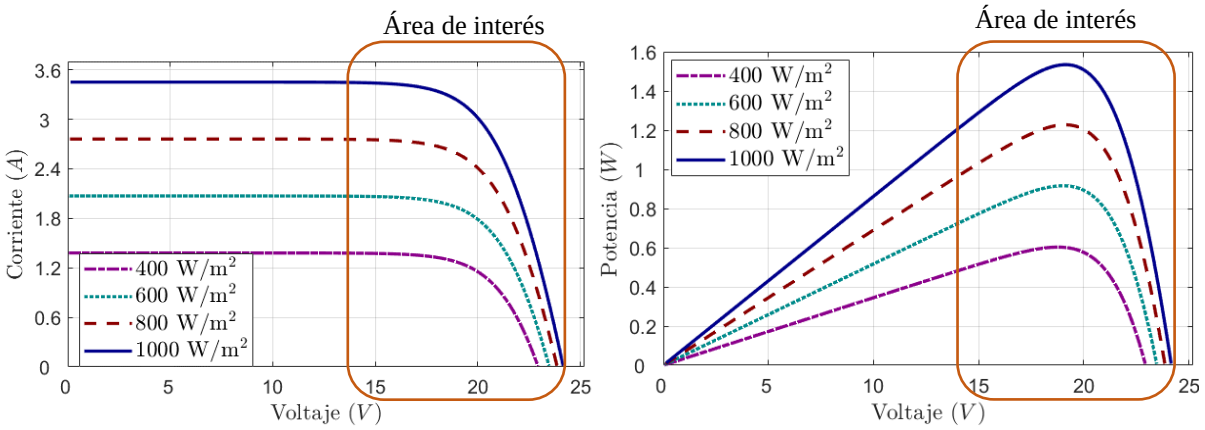


Figura 3. Curvas características I-V de un panel solar en diferentes valores de irradiancia en Simulink Matlab®.

 ISSN: 2007 8102

Tabla lookup

Los resultados del Modelo PV se almacenan en una hoja de cálculo de Excel y se introducen a un programa elaborado en Python. Este programa guada las variables eléctricas antes mencionadas y elabora con ellas una tabla de búsqueda denominada tabla lookup (TLU) que se almacena dentro de una Raspberry Pi. Dentro de ella se leen la corriente y el voltaje medidos de la carga y mediante la ley de Ohm se calcula la resistencia como se muestra en la Figura 4. Dentro de la tabla se utiliza el comando "`np.where()`" para encontrar el valor indicado de voltaje que le corresponde (V*) a ese valor de carga R_L. Este valor será la señal de referencia que recibirá el convertidor Cuk para ser ajustado en la salida mediante el controlado PI.

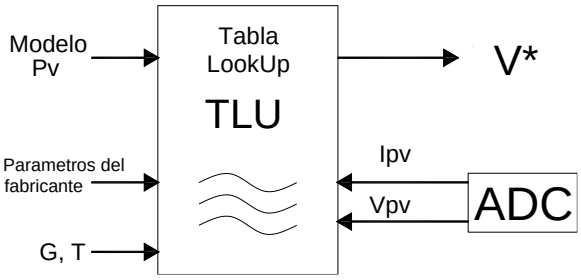


Figura 4. Esquema de composición de la tabla LookUp.

Sensores y acondicionamiento de la señal

Se conectan sensores de medición aislada para separar las señales medidas de la carga y estas se alimentan a un convertidor analógico digital (ADC). En esta propuesta el ADC es un Arduino uno el cual tiene una entrada máxima de voltaje de 5 V es necesario contar con una etapa intermedia que reduzca el Vpv medido saliendo de los convertidores aislados de 0-24 V a 0-5 V. El esquema de la Figura 5 ilustra el circuito de acondicionamiento de la señal.

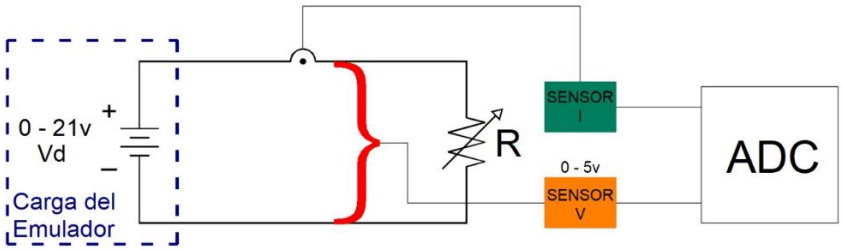


Figura 5. Conexión entre el ADC y los sensores de medición.

Estrategia de control

Como estrategia de control se utiliza un controlador PI de voltaje para que el convertidor de potencia actúe como el panel PV. El voltaje del valor real y de referencia se procesan para generar la señal de control (ciclo de trabajo). La señal de control se procesa a través del bloque PWM para generar pulsos para que el convertidor emule el comportamiento del modelo de referencia fotovoltaica. El diseño de la estrategia de control se ilustra en la Figura 6.

 ISSN: 2007 8102

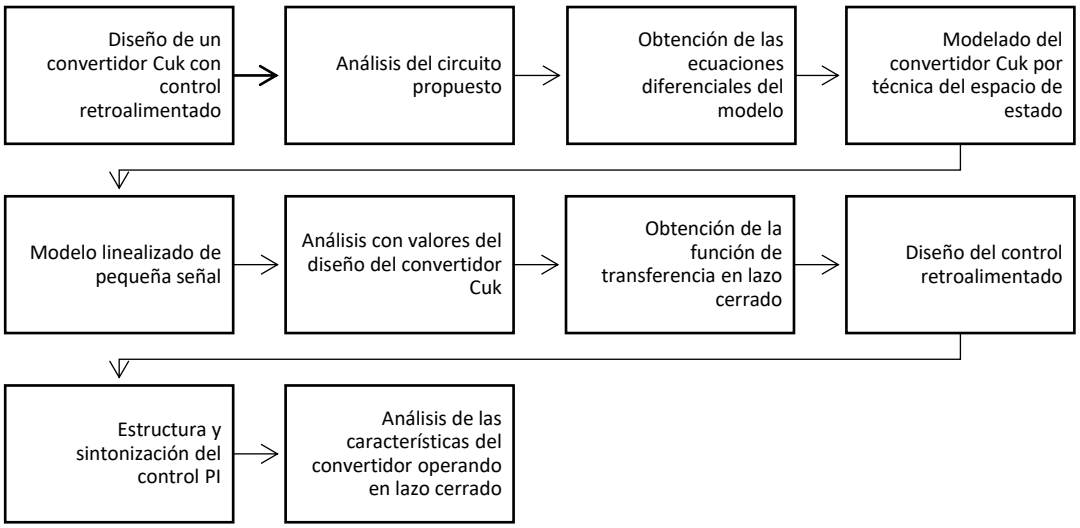


Figura 6. Método propuesto para el diseño del convertidor Cuk con controlador PI.

Convertidor de potencia

Se parte del convertidor Cuk como candidato, dado que presenta las mejores características de estabilidad en el voltaje durante los cambios de la carga R_L. Debido a sus características del tipo elevador y reductor del voltaje de entrada puede recorrer el amplio rango de voltaje de una celda PV con la estrategia de control adecuada [8]. Por lo tanto, el diseño del convertidor Cuk, en términos de niveles de potencia, se sugiere como punto de partida. Posteriormente, el diseño del circuito de lazo cerrado con un controlador PI se debe llevar a cabo. Por otra parte, la elección de los elementos del convertidor está basada en los requerimientos de rizos de voltaje y corriente para el capacitor y el inductor, respectivamente.

Análisis del convertidor

El convertidor Cuk es un convertidor que puede reducir o elevar la tensión de entrada según el ciclo de trabajo teniendo una polaridad contraria a la entrada en la salida de éste. Se conforma por dos capacitores, dos inductores, un interruptor/transistor y un diodo, por lo que es un sistema no lineal de cuarto orden. Para el diseño de control de retroalimentación se necesita un modelo lineal. El modelo lineal del convertidor se obtiene reemplazando el transistor y el diodo del convertidor por un modelo promediado de pequeña señal. La función de transferencia deseada se obtiene utilizando la técnica de promedio de espacio de estado.

Este artículo presenta el convertidor Cuk operando en modo de conducción continua. En el modo de conducción continua, la corriente del inductor nunca cae a cero durante un período de conmutación. La técnica de promedio de espacio de estado se utiliza para encontrar un modelo lineal de pequeña señal y sus diversas formas de funciones de transferencia. Dependiendo de la función de transferencia de control a salida, se puede diseñar un controlador de retroalimentación PWM para regular el voltaje de salida del Cuk.

Modelado del convertidor

Las ecuaciones (2) de estado del convertidor promediadas cuando se encuentra en estado de conducción y corte el interruptor son las siguientes:

$$L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = V_d - (1-d)V_{C1} \qquad (2.a)$$

$$L_2 \frac{di_{L2}}{dt} = V_{C1}d - V_{C2} \qquad (2.b)$$

$$C_1 \frac{dV_{C1}}{dt} = (1-d)i_{L1} - d\, i_{L2} \quad (2.c)$$

$$C_2 \frac{dV_{C2}}{dt} = i_{L2} - \frac{V_{C2}}{R} \quad (2.d)$$

Los modelos de señal pequeña se obtienen linealizando los sistemas de ecuaciones diferenciales no lineales anteriores.

Para obtener los sistemas de ecuaciones lineales (3) se ha tenido en cuenta que las corrientes medias de entrada y salida son iguales a la corriente por los inductores de entrada (i_{L1}) y salida (i_{L2}) respectivamente.

$$L_1 \frac{di_{L1}}{dt} = V_d - (1-D)V_{C1} + VC_1 d \quad (3.a)$$

$$L_2 \frac{di_{L2}}{dt} = V_{C1} D - V_{out} + VC_1 d \quad (3.b)$$

$$C_1 \frac{dV_{C1}}{dt} = (1-D)i_{L1} - D\, i_{L2} - (I_{L1} + I_{L2})d \quad (3.c)$$

$$C_2 \frac{dV_{C2}}{dt} = i_{L2} - \frac{V_{out}}{R} \quad (3.d)$$

La función de transferencia del ciclo de trabajo al voltaje de salida Gvd(s) del convertidor Cuk se obtienen aplicando el método de transformada de Laplace a los sistemas de ecuaciones diferenciales. La función de transferencia entre el ciclo de trabajo y la tensión de salida (4) es:

$$\mathrm{G_{vd}(s)} = \frac{\mathrm{V_{out}}\,(s)}{\mathrm{d}\,(s)} \quad (4)$$

Donde $\mathrm{G_{vd}(s)}$ es igual a la ecuación 5:

(5)

$$\mathrm{G_{vd}(s)} = \frac{R\,(D^2\ \mathrm{V}C_1 - \mathrm{V}C_1 - C_1\mathrm{L}_1\mathrm{V}C_1\, s^2 + D\ \mathrm{I}L_1\, L_1\, s)}{R + \mathrm{L}_2\, s - D\, R - D\,\mathrm{L}_2\, s - D^2\mathrm{L}_1 s + \mathrm{C}_1\,\mathrm{L}_1\mathrm{L}_2 s^3 + \mathrm{C}_1\,\mathrm{L}_1\, R\, s^2 + \mathrm{C}_1\,\mathrm{L}_1\, R\, s^2 + \mathrm{C}_2\,\mathrm{L}_2\, R\, s^2 - \mathrm{C}_2 D\,\mathrm{L}_2\, R\, s^2 + \mathrm{C}_2\ D^2\,\mathrm{L}_1\, R\, s^2 + \mathrm{C}_1\mathrm{C}_2\mathrm{L}_1\mathrm{L}_2\, R\, s^4}$$

Se diseñó un convertidor Cuk de 50 W, tomando como salida máxima de tensión 24 V debido a que esa es la tensión máxima del panel lo cual puede ser apreciado en la Figura 3. Los datos del dimensionamiento de los componentes se aprecian en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de los componentes del convertidor Cuk

Símbolo	Parámetro	Valor	Unidades
Vd	Voltaje de entrada	12	V
$\mathrm{L_1}$	Inductor 1	192	µH
$\mathrm{L_2}$	Inductor 2	768	µH
$\mathrm{C_1}$	Capacitor 1	23.15	µF
$\mathrm{C_2}$	Capacitor 2	3.25	µF
R	Resistencia de carga	115	Ohm
D	Ciclo de trabajo	66.6	%
Vout	Voltaje de salida	24	V
Fs	Frecuencia de conmutación	50	kHz

 ISSN: 2007 8102

La función de transferencia en modo continuo (6) se obtiene de la ecuación 5 como sigue:

$$G_{vd}(s) = \frac{-1.46e38\ s^2 - 1.752e34\ s - 1.168e30}{7.302e36\ s^4 + 6.49e32\ s^3 + 1.022e29\ s^2 + 6.49e24\ s + 4.868e19} \quad (6)$$

Controlador PI retroalimentado

En este estudio se realizó el controlador retroalimentado en lazo cerrado diseñado a partir de la función de transferencia con la herramienta de *sisotool* de Matlab® se variaron los márgenes de magnitud y fase buscando obtener un comportamiento estable del controlador. Los diagramas de Bode se muestran en la Figura 7.

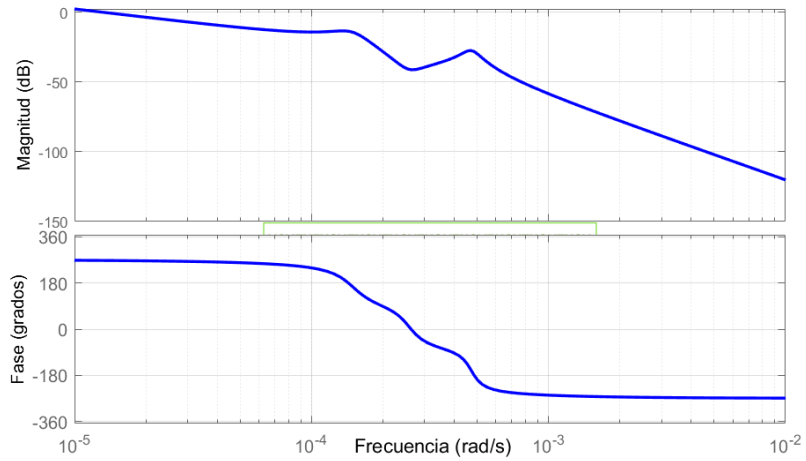


Figura 7. Diagramas de Bode. Margen de ganancia: 13.6 dB. Margen de fase: 85.5 grados.

Simulación del convertidor

Esta simulación del convertidor Cuk está representado con los parámetros encontrados en el diseño anterior. En estado estacionario la salida de tensión es de 24 V. Con la finalidad de validar el circuito propuesto, se realiza la simulación en el programa Matlab/Simulink® (Figura 8). Tiene una señal de entrada tipo escalón para caracterizar la estabilidad del controlador. En la Figura 9 se aprecia el código de bloques para la simulación del control PI retroalimentado con regulación del PWM. Los parámetros del controlador son kp = $1x10^{-13}$ y ki= 100.

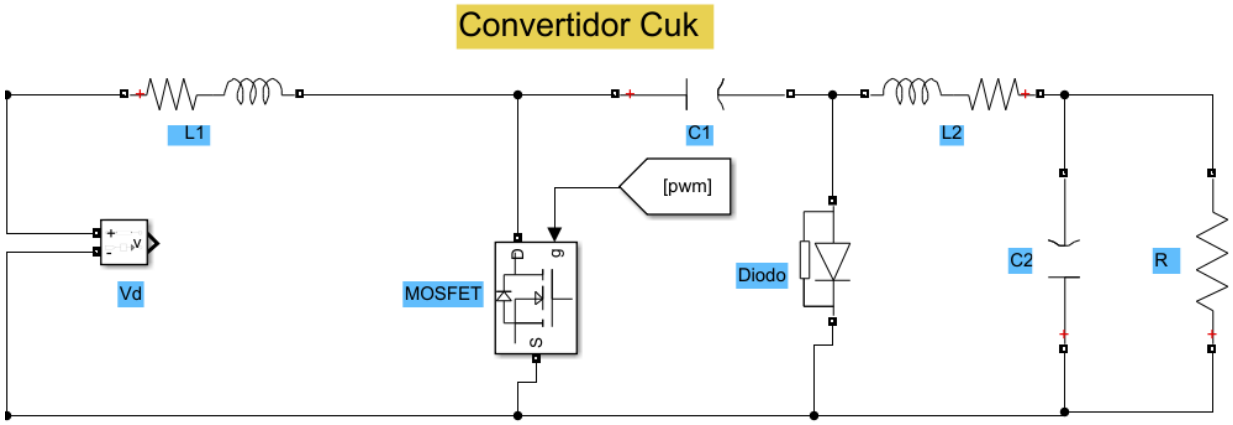


Figura 8. Esquema del con propuesto.

 ISSN: 2007 8102

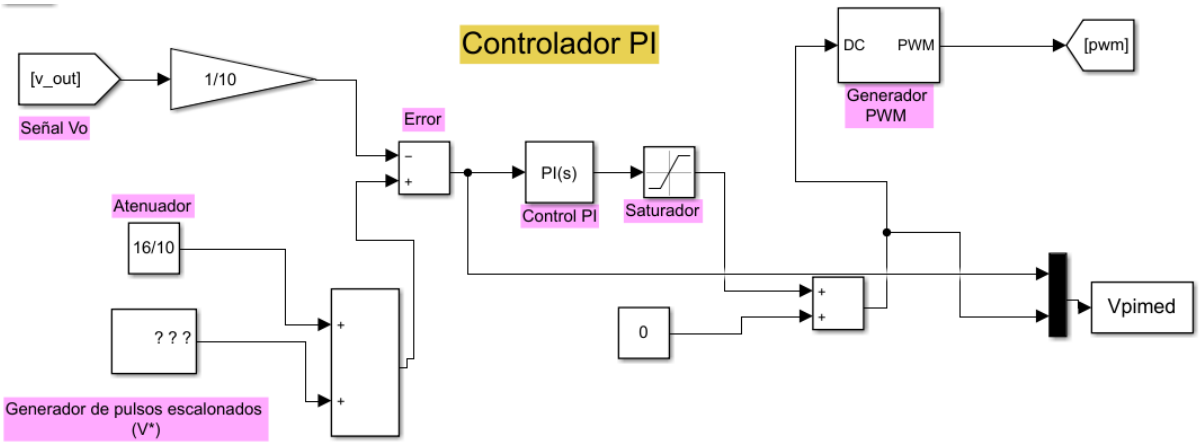


Figura 9. Esquema del controlador PI propuesto.

Resultados

En cada panel solar, de acuerdo a la curva característica I-V, existe un valor de carga para cada par de datos I-V, estos son los puntos de operación para el emulador. En esta aplicación estos puntos son almacenados dentro de una tabla lookup para después ser alimentados como una señal de referencia V* al controlador PI simulado en Matlab/Simulink® el cual debe ser lo suficientemente robusto para variar el ciclo de trabajo del convertidor como sea necesario teniendo este último una entrada fija de tensión según los parámetros calculados. Para este trabajo se limitó como área de interés a un conjunto de puntos de operación.

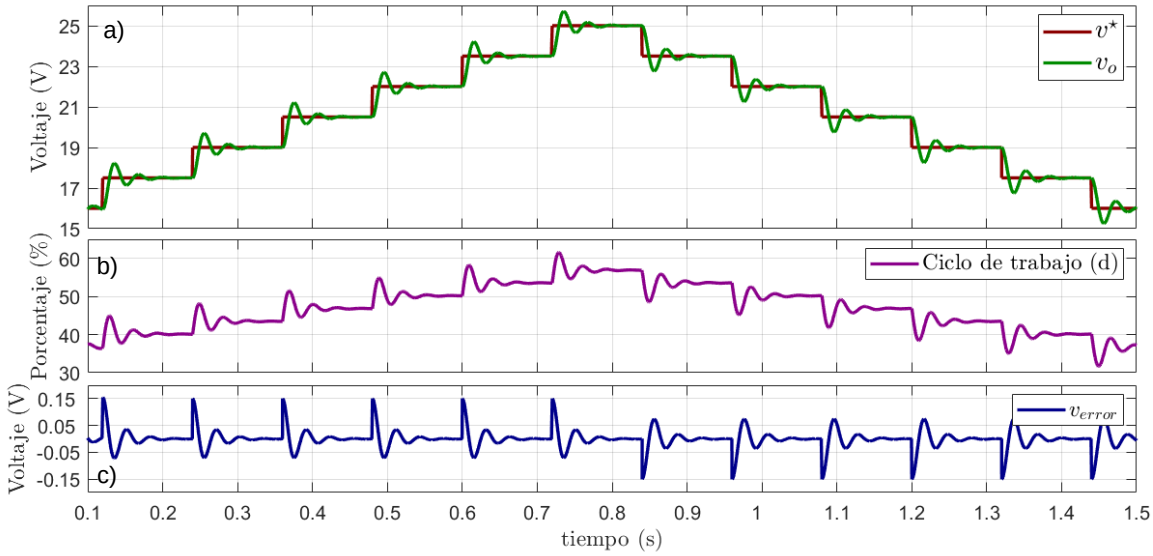


Figura 10. a) Gráfica de seguimiento del voltaje de referencia con la tensión de salida; b) Cambios en el ciclo de trabajo del emulador; c) Error del controlador PI.

En la Figura 10, se observa la gráfica a) en la cual se tiene la respuesta del convertidor (Vo) en el tiempo al seguir distintos valores de referencia (V*) de forma escalonada de 16 a 25 V en intervalos de 1.5. Se aprecia que existen

 ISSN: 2007 8102

sobre picos en la tensión de salida al realizar el cambio de la señal escalón de referencia. Después de estos sobre picos la tensión de salida Vo busca seguir a la referencia por lo cual esta regresa al punto V* con lo que se puede concluir que el controlador diseñado cumple con los parámetros establecidos necesarios para llevar de forma precisa el seguimiento del de la curva fotovoltaica como aplicación en un emulador solar fotovoltaico. En la gráfica b) se observa la acción del controlador PI para aumentar y disminuir el ciclo de trabajo del convertidor en cada cambio de referencia de voltaje V*. En la gráfica c) está el error del sistema el cuál se encuentra siempre tendiendo a cero ya que el control cumple seguir la referencia en todos los puntos deseados.

En la Figura 11 se observa a mayor detalle la acción del controlador PI ante el cambio de referencia del sistema ante un punto de operación donde el valor de V* aumenta de 16 a 20 V y al disminuir de 20 a 16 V por lo que el controlador aumenta y disminuye el ciclo de trabajo respectivamente.

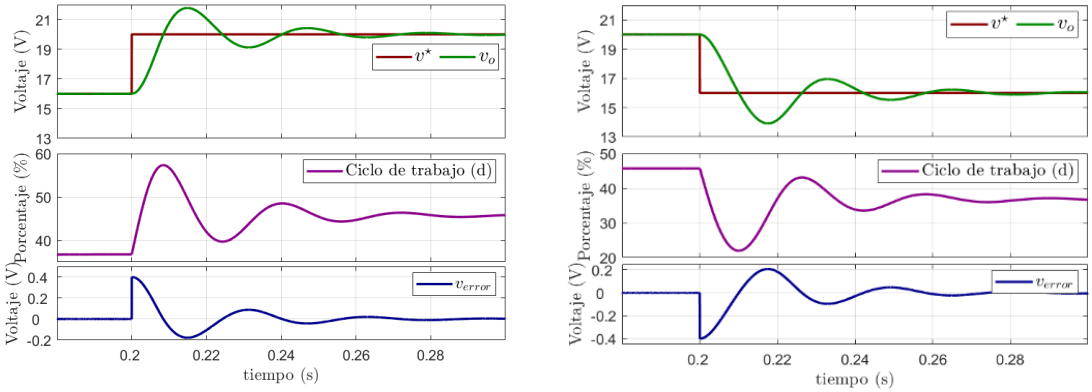


Figura 11. Respuesta en el tiempo del controlador ante cambios de referencia.

Trabajos Futuros

Con base a los resultados obtenidos en la validación numérica del convertidor Cuk usando las ganancias obtenidas con la metodología propuesta, la siguiente actividad consiste en llevar a cabo la experimentación usando los valores del caso de estudios. Una tarea particular por realizar es la selección de la plataforma a emplearse en la implementación del controlador. Dentro de las opciones está el uso de amplificadores operaciones y la utilización de un sistema digital como microcontrolador o procesador digital de señales. También, se contempla la segmentación de la curva característica completa con el fin de atacar de forma seccionada el seguimiento del voltaje de referencia.

Conclusiones

Partiendo de un modelo simplificado, se propone implementar un seguidor de voltaje constituido por un convertidor Cuk para regular el voltaje impuesto por una tabla lookup. Dicha tabla contiene puntos discretos de una curva característica de un módulo PV, dado que aplicación requiere un amplio rango de operación, se evaluó el desempeño del controlador diseñado mediante la técnica de diagramas de Bode. El controlador es capaz de seguir la referencia en un rango que incluye el punto de máxima potencia del módulo emulado. Pese al sobreimpulso presentado en la respuesta dinámica, el valor alcanzado presenta un error nulo en estado estable, que favorece la implementación de la aplicación propuesta.

Agradecimientos

Los autores agradecen al TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO por el apoyo otorgado para la realización del proyecto bajo el registro 18399.23-P.

Referencias

[1] R. Ayop and C. W. Tan, "Rapid Prototyping of Photovoltaic Emulator Using Buck Converter Based on Fast Convergence Resistance Feedback Method," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 34, no. 9, pp. 8715-8723, Sept. 2019, doi: 10.1109/TPEL.2018.2886927.

[2] M. Merenda, D. Iero, R. Carotenuto, and F. G. Della Corte, “Simple and Low-Cost Photovoltaic Module Emulator,” Electronics, vol. 8, no. 12, p. 1445, Dec. 2019, doi: 10.3390/electronics8121445.

[3] P. Korasiak and J. Jaglarz, “A New Photovoltaic Emulator Designed for Testing Low-Power Inverters Connected to the LV Grid,” Energies (Basel), vol. 15, no. 7, p. 2646, Apr. 2022, doi: 10.3390/en15072646

[4] A. Nazar Ali, K. Premkumar, M. Vishnupriya, B. v. Manikandan, and T. Thamizhselvan, “Design and development of realistic PV emulator adaptable to the maximum power point tracking algorithm and battery charging controller,” Solar Energy, vol. 220, pp. 473–490, May 2021, doi: 10.1016/j.solener.2021.03.077.

[5] H. A. Khawaldeh, M. Al-soeidat, D. Dah-Chuan Lu and L. Li, "Fast Photovoltaic Emulator Based on PV-cell Equivalent Circuit Model," *2021 IEEE 12th Energy Conversion Congress & Exposition - Asia (ECCE-Asia)*, Singapore, Singapore, 2021, pp. 2121-2126, doi: 10.1109/ECCE-Asia49820.2021.9479298.

[6] I. Moussa, A. Khedher, and A. Bouallegue, “Design of a Low-Cost PV Emulator Applied for PVECS,” *Electronics*, vol. 8, no. 2, p. 232, Feb. 2019, doi: 10.3390/electronics8020232.

[7] A. R. S, D. K. A, H. S, H. S and S. Saravanan, "Design of Solar PV Emulator using Raspberry Pi Controller," *2022 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, Nepal, 2022, pp. 581-584, doi: 10.1109/ICICT54344.2022.9850727

[8] L. L. O. Carralero, G. S. Barbara da S. e Silva, F. F. Costa and A. P. N. Tahim, "PV Emulator Based on a Four-Switch Buck-Boost DC-DC Converter," *2019 IEEE 15th Brazilian Power Electronics Conference and 5th IEEE Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC)*, Santos, Brazil, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/COBEP/SPEC44138.2019.9065364.

[9] A. Zapién-Castillo, J. A. Zumaya-García, M. A. Olivo-Calles, B. L. Reyes-García, and P. M. García-Vite, “Emulador Solar Fotovoltaico basado en Modelo Simplificado con Interfaz Inalámbrica” Journal CIM Vol. 10, no. 1, pp. IE 113-122, Oct. 2022

 ISSN: 2007 8102

Convertidor cuadrático con Controlador P+I con amplio rango de regulación

Pedro Martín García Vite[*1,2,3], *María Andrea Olivo Calles*[2], *Luciano Aguilera Vázquez*[1,2], *Ana Lidia Martínez Salazar*[1,2], *Francisca Hernández Angel*[4],
Doctorado en Ciencias de la Ingeniería[1], *Maestría en Ciencias de la Ingeniería*[2], *Maestría en Ingeniería Eléctrica*[3], *Ingeniería Industrial*[4]
Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Ciudad Madero[1,2,3],
Av. 1o. de Mayo y Sor Juana Inés de la Cruz s/n, C.P.89440, Cd. Madero, Tamaulipas, México
Universidad Politécnica de Altamira[4],
Nuevo Libramiento Altamira km 3, C.P. 89602 Altamira, Tamaulipas, México

pedro.gv@cdmadero.tecnm.mx*, g22073001@cdmadero.tecnm.mx, luciano.av@cdmadero.tecnm.mx, ana.ms@cdmadero.tecnm.mx, franyhangel@gmail.com

***Área de participación**: Ingeniería Eléctrica y Electrónica*

Resumen

En este artículo se presenta el diseño de un controlador lineal con ganancias adecuadas que permiten obtener una respuesta dinámica sobre un rango de regulación amplio. La capacidad de regulación en un rango amplio permite la modificación del punto de operación sin degradar el comportamiento dinámico. El convertidor analizado pertenece a la familia de ganancia cuadrática, lo cual permite trabajar con un ciclo de trabajo moderado. Además, mediante el modelado dinámico y el análisis detallado se pueden sintonizar las ganancias empleadas en las diferentes regiones de operación. El desempeño del convertidor permite implementar aplicaciones como las de un emulador solar, donde la salida del convertidor tiene que alimentar a una carga variable sobre un rango amplio de voltaje. El comportamiento del regulador es validado mediante diversos puntos de operación usando simulación y un prototipo de laboratorio. Los resultados muestran que el sistema es suficientemente estable para la aplicación como emulador solar que se propone.

***Palabras clave**: Controlador PI, modelo lineal, convertidor de potencia, emulador fotovoltaico.*

Abstract

This article presents the design of a linear controller with suited gains that allow to obtain a dynamic response over a wide regulation range. The regulation capacity in a wide range of voltage allows the modification of the operating point without degrading the dynamic behavior. The analyzed converter belongs to the quadratic gain family, which allows working with a moderate duty cycle. In addition, through dynamic modeling and detailed analysis, the gains used in the different regions of operation can be tuned. The converter's performance allows to implement applications such as a solar emulator, where the converter's output must feed a variable load over a wide range of voltage. The regulator's behavior is validated through several operation points using simulation and a laboratory prototype. The results show that the system is sufficiently stable for the proposed application as a solar emulator.

***Key words**: PI controller, lineal model, power converter, photovoltaic emulator*

Introducción

La necesidad de frenar el efecto invernadero provocado por el calentamiento global ha propiciado el uso masivo de fuentes de energía renovables [1]. Dentro de la gran variedad de fuentes existe la solar fotovoltaica que presenta algunas ventajas como lo son su fácil instalación y manejo, poco mantenimiento, abaratamiento, entre otras. Sin embargo, son susceptibles a los cambios ambientales como la temperatura e irradiancia [2]. Con el fin

de estudiar el comportamiento de las celdas solares fotovoltaicas, se utilizan emuladores que permiten reproducir la curva característica de la celda bajo estudio [3]. Sin embargo, para poder recorrer toda la curva de un panel solar es preciso que el emulador varíe su salida en un rango considerable. Por ejemplo, el panel solar Enesolar de 80 W puede variar desde cero hasta 21.6 V en circuito abierto, por lo que un convertidor tiene que proporcionar el dicho voltaje de forma constante, pese al cambio de voltaje súbito comandado por el controlador del emulador.

En los últimos años, el diseño de emuladores con convertidores electrónicos de potencia ha demostrado ser un método confiable y eficiente. Además, pueden ser utilizados para las pruebas del seguimiento del punto de máxima potencia. Actualmente, existen muchos convertidores que son candidatos para emplearse en emuladores, uno de los utilizados comúnmente es el convertidor reductor debido a que tiene un número reducido de componentes, su eficiencia es alta y es fácilmente controlable [4].

Metodología

El presente estudio está enfocado en un mejor uso de los emuladores de energía solar fotovoltaica [3] que emplean un convertidor de potencia como medio de suministro del voltaje generado por un panel solar real. Puesto que existen diversas técnicas de control para emuladores, este trabajo está dedicado al análisis, diseño y control de un convertidor capaz de seguir el voltaje de referencia impuesto de forma externa. Por lo cual se derivan punto de operación estáticos tras tomar muestras de la curva característica de un módulo fotovoltaico.

Si bien el enfoque está orientado a la aplicación de un panel, su uso se puede extender fácilmente a otras aplicaciones en las que se tenga que regular el voltaje de salida del convertidor en un rango amplio de voltaje.

El convertidor está compuesto por la conexión en cascada de dos convertidores del tipo elevador, por lo tanto, se obtiene una ganancia cuadrática cuando las dos partes son operadas en forma síncrona, no obstante, cuando se opera de forma de complementaria [5], se reduce la ganancia global del convertidor. Pese a la reducción de ganancia, se derivan otras ventajas como la reducción de los elementos reactivos [6].

En esta propuesta se utiliza un convertidor de electrónica de potencia de tipo cuadrático constituido de dos convertidores individuales del tipo elevador convencional. Este convertidor, introducido previamente [6], posee características adecuadas para ser empleado con un ciclo de trabajo relativamente bajo, manteniendo las pérdidas de potencia moderadas.

Sobre la técnica de control

Dada la naturaleza propia de los convertidores que presentan un comportamiento no lineal, para realizar el control adecuado es preciso emplear un control del mismo tipo o realizar una transformación hacia un sistema lineal. La segunda opción se puede abordar fácilmente empleando la metodología conocida como linealización [7]. En este trabajo se sigue dicha metodología. Cuando el sistema ha sido transformado a un sistema lineal, el controlador más comúnmente utilizado es el del tipo Proporcional + Integral (P+I), cuyas ventajas son ampliamente conocidas [8]. Teniendo presente la aplicación del emulador citada, se debe tener en cuenta que el controlador P+I opera adecuadamente en una región acotada alrededor de un punto de operación fijo el cual se determina según la carga del sistema. La forma de elegir las ganancias del controlador para operar en el punto de operación es mediante el mapeo de la respuesta dinámica en el dominio de la frecuencia usando los diagramas de Bode. La técnica propuesta incluye en segmentar un rango amplio de voltaje. Cada segmento puede ser atacado individualmente mediante ganancias particulares, que quedan en función del punto de operación particular. Tomando en cuenta la propuesta de aplicación y el uso particular del trabajo presentado la elección del punto de operación es inmediata lo cual facilita la implementación [3],[8].

Los retos consisten en elegir y aplicar las ganancias correspondientes. El primer objetivo es alcanzado mediante la técnica de Diagramas de Bode mientras que el segundo tiene básicamente dos vertientes para ser abordado. El controlador se puede implementar en forma analógica o digital. La versión analógica puede ser construida usando amplificadores operacionales, junto con resistores y capacitores. La forma digital presenta rango más flexible en el que cualquier dispositivo digital puede ser empleado, por lo que las posibilidades son muy amplias.

En este trabajo se propone usar un microcontrolador de TI TMS320F28335 el cual posee una alta capacidad de procesamiento [9]. Además de operar a una velocidad de procesamiento de hasta 150 MHz, tiene varios canales

 ISSN: 2007 8102

de convertidores analógico-digital de 16 bits de resolución lo que es suficiente para trabajar con el controlador. Adicionalmente, cuenta con periféricos de generación de señales PWM de varios canales que permiten controlar varios transistores simultáneamente.

Para llevar a cabo la sintonía de las ganancias de los controladores es necesario contar con el modelo matemático para esto se emplea la técnica de análisis de espacio de estados, seguida de la linealización. Con la linealización es posible trazar los diagramas de Bode mediante la función de transferencia, que se consigue tras fijar un punto de operación para determinado valor de carga.

Tanto el modelado como la simulación dinámica se realizan en Matlab. El uso del tipo de variables simbólicas permite manipular fácilmente el álgebra involucrada.

Finalmente, algunos de los resultados obtenidos en forma teórica mediante la simulación son corroborados en forma experimental. Empleando un prototipo de laboratorio de baja potencia es posible llevar a cabo experimentos en lazo abierto, dando indicios del buen desempeño del convertidor propuesto.

Preparación

En la Figura 1 se presenta la estructura del convertidor utilizado. Dicho convertidor consiste en dos convertidores individuales del tipo elevador conectados, a los cuales se le ha realizado una modificación del capacitor conectado a tierra.

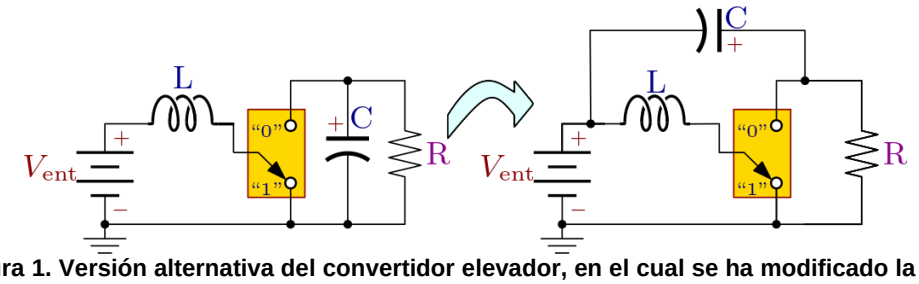


Figura 1. Versión alternativa del convertidor elevador, en el cual se ha modificado la conexión de la terminal negativa del capacitor.

Esta modificación permite realizar la conexión en cascada, quedando los dos capacitores en serie que a su vez forman una malla que contiene la fuente de alimentación, los dos capacitores y la resistencia de carga. La distribución de todos los componentes se aprecia en la Figura 2, donde se indican específicamente las dos etapas que conforman el convertidor completo.

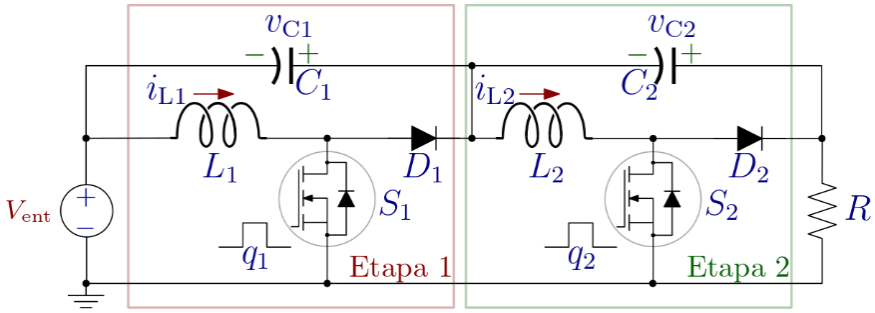


Figura 2. Convertidor utilizado para el controlador de voltaje.

Debido a que esta configuración tiene dos transistores que pueden ser operados de forma independiente, existen básicamente tres técnicas de conmutación que pueden ser empleadas: a) conmutación síncrona, b) conmutación síncrona complementaria y c) conmutación independiente. En este trabajo, con el fin de aprovechar la máxima ganancia de voltaje, se emplea la conmutación síncrona que brinda una ganancia de tipo cuadrático.

 ISSN: 2007 8102

Análisis del convertidor

Para obtener el voltaje de salida estático del convertidor es conveniente escribir las ecuaciones en términos de variables de estados correspondientes a cada circuito de conmutación equivalente. Dichos circuitos se obtienen al cerrar y abrir simultáneamente los transistores empleados, quedando como se aprecia en la Figura 3.

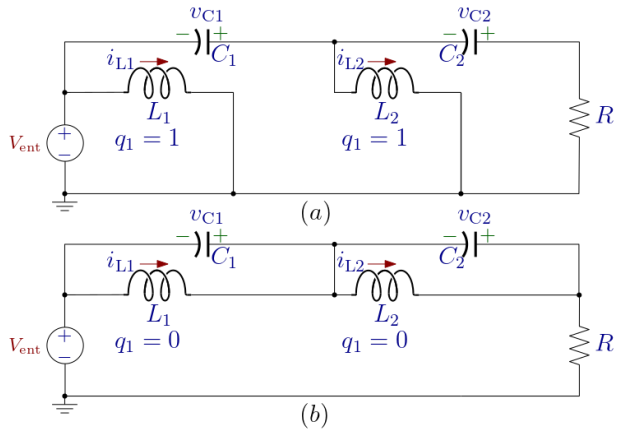


Figura 3. Estados de conmutación correspondientes a la activación y desactivación de los transistores usando estrategia de control síncrona.

Las ecuaciones que describen el comportamiento del circuito analizado se obtienen a partir de los circuitos presentados en la Figura 3. Asimismo, para resolver el circuito en términos de corriente directa (CD), es necesario promediar ambos estados. Esto se logra tomando en cuenta los valores correspondientes al circuito de la Figura 3.a por un tiempo igual a dT_s segundos, mientras que el circuito de la Figura 3.b se considera por una cantidad de $(1-d)T_s$ segundos. La representación completa se puede apreciar en (1), donde d es el ciclo de trabajo y T_s es el periodo de conmutación y el resto de las variables está indicado en las Figuras 2 y 3. Siendo las variables de estado las corrientes en los inductores y los voltajes en los capacitores.

$$L_1 \frac{d}{dt} i_{L1} = d(v_{ent}) + (1-d)(-v_{C1}), \tag{1.a}$$

$$L_2 \frac{d}{dt} i_{L2} = d(v_{ent} + v_{C1}) + (1-d)(-v_{C2}), \tag{1.b}$$

$$C_1 \frac{d}{dt} v_{C1} = d(-i_{L2} - i_o) + (1-d)(i_{L1} - i_o), \tag{1.c}$$

$$C_2 \frac{d}{dt} v_{C2} = d(-i_o) + (1-d)(i_{L2} - i_o). \tag{1.d}$$

Con el modelo promediado es fácil obtener los valores de los estados en términos de CD. Esto se logra haciendo las derivadas iguales a cero y resolviendo para cada variable de estado, considerando un sistema sin pérdidas. El resultado se puede apreciar en (2).

$$I_{L1} = \frac{V_{ent}}{R(1-D)^4}, \tag{2.a}$$

$$I_{L2} = \frac{V_{ent}}{R(1-D)^3}, \tag{2.b}$$

 ISSN: 2007 8102

$$V_{C1} = \frac{V_{ent} D}{(1-D)}, \tag{2.c}$$

$$V_{C2} = \frac{V_{ent} D}{(1-D)^2}. \tag{2.d}$$

Finalmente, el voltaje de salida se calcula fácilmente mediante la malla compuesta por la fuente de poder, los capacitores y la resistencia de carga. Al hacer uso de (2) y la malla citada, el resultado es:

$$V_{sal} = V_{ent} + V_{C1} + V_{C2}, \tag{3.a}$$

$$V_{sal} = V_{ent} + \frac{V_{ent} D}{(1-D)} + \frac{V_{ent} D}{(1-D)^2} = \frac{V_{ent}}{(1-D)^2}. \tag{3.b}$$

Mediante (3) se comprueba que la ganancia de voltaje es de orden cuadrático, lo que deriva en una utilización del ciclo de trabajo de los transistores en un valor pequeño, produciendo pérdidas de potencia menores con relación a un convertidor elevador convencional [5-6].

Desarrollo

Para poder realizar la acción de seguimiento del voltaje de referencia es necesario diseñar el esquema de control. En este artículo, se propone usar un controlador P+I, sin embargo, para sintonizar los parámetros es necesario disponer del modelo lineal. Para obtener dicho modelo, se sugiere utilizar el mismo esquema presentado en (1), pero introduciendo perturbaciones de pequeña señal en las variables estado, el voltaje de entrada y el ciclo de trabajo. Cada variable es reemplazada de la forma $x(t) = \tilde{x}(t) + X$, donde el primer término es el valor de pequeña señal mientras el segundo es el valor estático de CD. Obteniendo así, un modelo lineal de pequeña señal.

El reemplazo de cada variable original por su versión extendida $x(t) = \tilde{x}(t) + X$ implica la aparición de tres tipos de términos que puede ser clasificados como a) términos puros de CD de primer y segundo orden, b) términos puros de corriente alterna (CA) de primero y segundo orden y c) términos combinados de CA con CD.

Para obtener la función de transferencia se requiere trasladar las funciones del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, esto es, mediante la transformada de Laplace. En este escenario, los términos de interés son aquellos de CA puros de primer orden, puesto que los de segundo al integrarse por la multiplicación de dos valores pequeños (derivados de la pequeña señal) resulta en un producto más pequeño que pude ser despreciable. Adicionalmente, los valores de CD implican un punto estático que no es de interés en el dominio de la frecuencia. Al manipular algebraicamente las expresiones correspondientes, se encuentra la función de transferencia definida en (4).

$$G_{vd}(s) = \frac{V_{sal}(s)}{d(s)} \tag{4.a}$$

Diseño del controlador

El esquema de control general se puede apreciar en la Figura 4. Dicho esquema está constituido por la recién obtenida función de transferencia $G_{vd}(s)$ del convertidor y la función del controlador $G_c(s)$ la cual representa el reto de diseño en este proyecto. Adicionalmente, se incluyen una constante $\left(\frac{1}{V_M}\right)$ que corresponde al valor pico de la señal triangular de PWM y una función de retroalimentación $H(s)$ que tiene el valor de sensor de voltaje de salida. La señal $Z_o(s)$ es empleada para tomar en cuenta las variaciones de carga que pueden ser interpretadas como ruido en el sistema.

 ISSN: 2007 8102

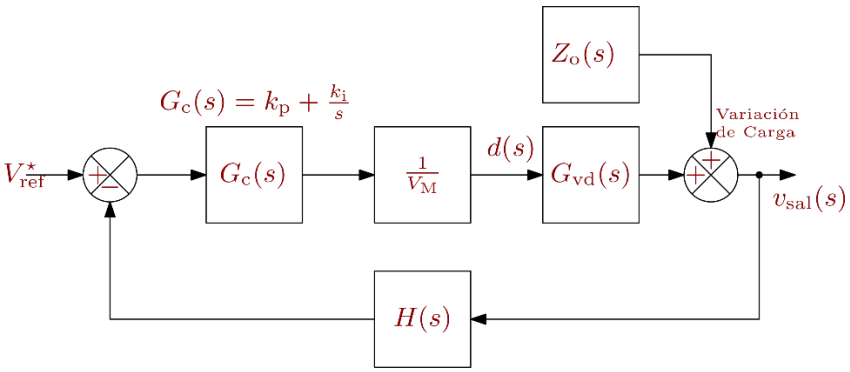


Figura 4. Esquema de control general utilizado para controlar el voltaje de salida en el convertidor cuadrático.

Para obtener el comportamiento en el dominio de la frecuencia es necesario evaluar la función de transferencia en un punto de operación específico asignando un valor de resistencia de carga determinado. Para ello, los parámetros son asignados con los valores de las variables presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores empleados para la evaluación de la función de transferencia, tomando en cuenta un punto de operación fijo.

Símbolo	Parámetro	Valor	Unidades
V_{ent}	Voltaje de entrada	5	V_1
L_1 y L_2	Inductores	100	μH
C_1 y C_2	Capacitores	100	μF
R	Resistencia de carga	25	Ω
D	Ciclo de trabajo	46.16	%
V_o	Voltaje de salida	17.25	V
F_s	Frecuencia de conmutación	50	kHz

Con estos parámetros es posible sintonizar el controlador para esto previamente se obtiene la respuesta del sistema en lazo abierto, mostrado en la Figura 5, el cual tiene un comportamiento de naturaleza estable. Utilizando la herramienta `sisotool` de Matlab, se encuentran las ganancias del controlador k_p =-0.000186 y k_i=0.00075, obteniendo un margen de ganancia de 12 dB y un margen de frecuencia de 80 grados. Se determinaron estos parámetros basados en el hecho de evitar el sobre impulso a costa de extender el tiempo de establecimiento.

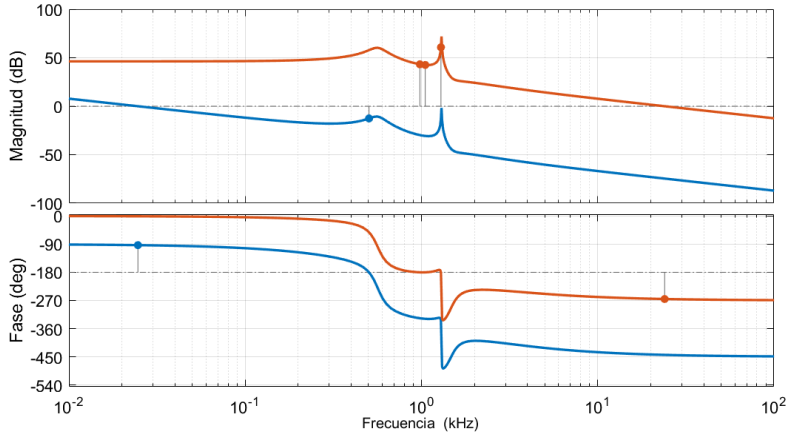


Figura 5. Esquema de control general utilizado para controlar el voltaje de salida en el convertidor cuadrático.

 ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Primeros resultados

Como punto de partida para la validación se realizó la simulación en lazo cerrado. Esto implica, que se tiene un punto de operación fijo con una carga de 25 Ω, siguiendo los valores presentados en la Tabla 1. En la Figura 6 se muestran las corrientes en los inductores en la gráfica del lado izquierdo y los voltajes en los capacitores y la salida, en la gráfica del lado derecho. La validación del convertidor de ganancia cuadrática junto con el diseño del controlador es implementada vía simulación en Simulink/Matlab®, usando el paquete especializado de sistemas de potencia dentro de Simscape.

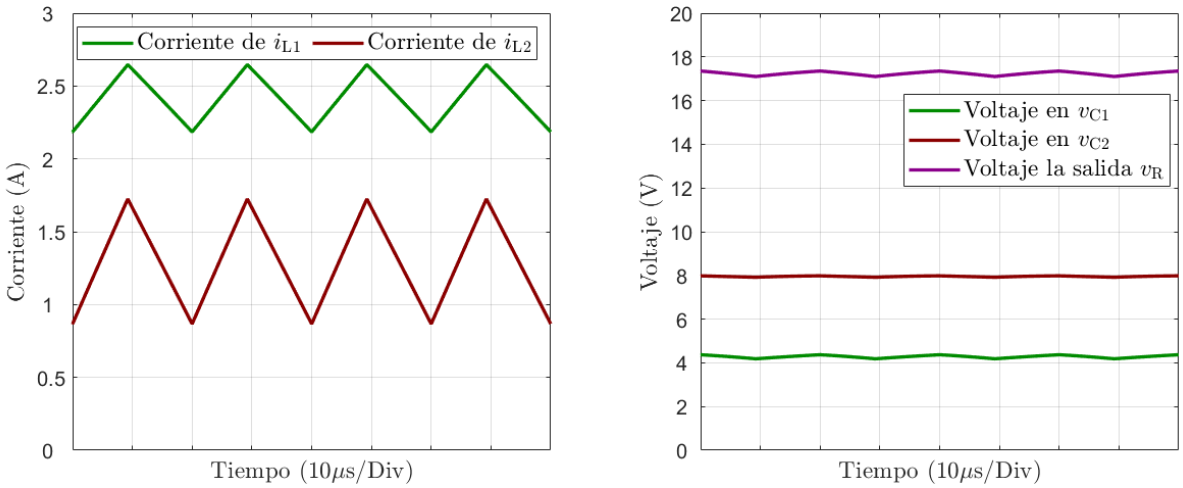


Figura 6. Resultados preliminares en simulación utilizando un punto de operación estático con los parámetros citados en la Tabla 1.

Usando (2) se pueden obtener fácilmente los valores promedio. Los valores promedio de las corrientes a través de los inductores son 2.38 y 1.28 A, para L1 y L2, respectivamente, mientras que en los capacitores y la carga el voltaje es 4.28, 7.96 y 17.24, lo cual es consistentes con las formas de onda expuestas en la Figura 6.

Resultado en lazo cerrado

La verificación del sistema en lazo cerrado, usando la metodología descrita se llevó a cabo en simulación. Los resultados son mostrados en la Figura 7, donde se puede apreciar cómo el voltaje de salida sigue al de referencia en un tiempo suficientemente corto tomando en cuenta las aplicaciones fotovoltaicas. El valor del voltaje de referencia se considera que está alrededor del punto de máxima potencia de un panel fotovoltaico. En la misma figura, se aprecia la evolución del ciclo de trabajo que apenas llega al 50% para obtener la ganancia de un poco más de 3.5, así mismo, cuando el voltaje de referencia se cambia en forma de escalón descendente el ciclo de trabajo también lo hace. Finalmente, una verificación adicional es observando el error, diferencia entre el voltaje de referencia y el voltaje de salida del convertidor. Dicho error, al inicio del disturbio, obtiene el valor máximo, sin embargo, a medida que el controlador actúa se va aproximando a cero.

 ISSN: 2007 8102

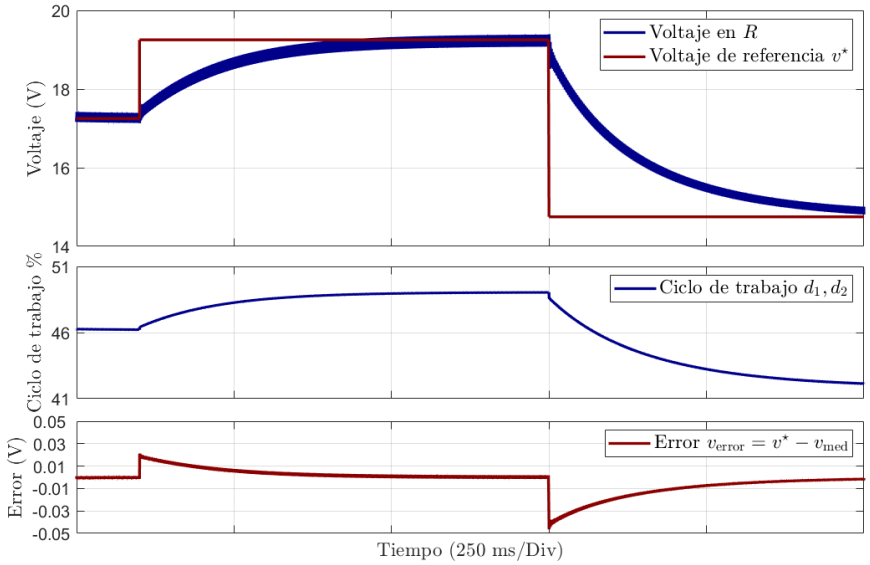


Figura 7. Resultados en simulación de la respuesta dinámica ante cambios en la referencia de voltaje: voltajes en la salida y referencia (arriba), ciclo de trabajo aplicado a ambos MOSFETs (en medio) y error corregido por el controlador P+I (abajo).

Resultados experimentales preliminares

Con el fin de orientar la propuesta a una aplicación práctica, el convertidor ha sido implementado físicamente. La versión preliminar junto con instrumentación auxiliar se aprecia en la Figura 8. Además de los elementos enlistados en la Tabla 1, se emplearon los MOSFETs FDP075N15A y diodos STPS10L60D y para la generación PWM se usó el microcontrolador TMS320F28335.

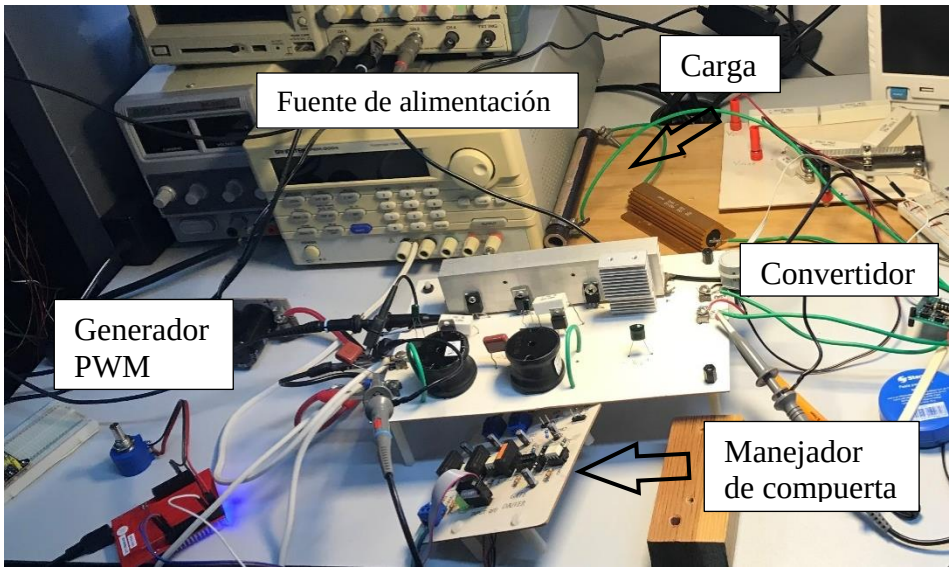


Figura 8. Prototipo empleado para validar el convertidor en lazo abierto.

El punto de operación estático se validó mediante el experimento, el resultado puede apreciarse en la Figura 9, donde se leen directamente los valores de entrada y salida, así como el pulso de compuerta que tiene un ciclo de trabajo de aproximadamente 46%.

 ISSN: 2007 8102

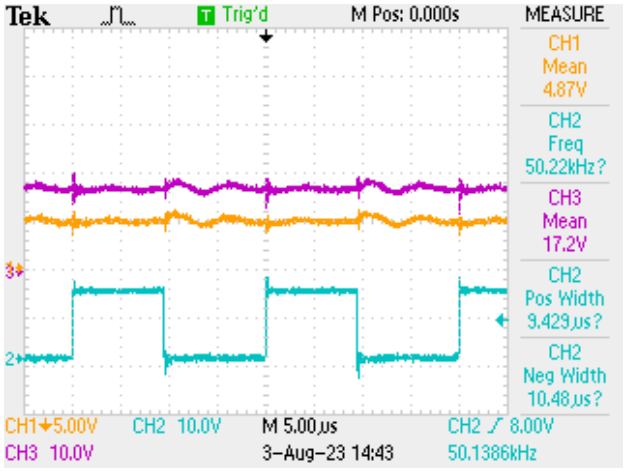


Figura 9. Formas de onda mostrando el voltaje salida (morado), voltaje de entrada (naranja) y pulso aplicado a la compuerta (cian).

Trabajo a futuro

Los estudios preliminares en simulación evidencian el buen desempeño del convertidor aunado a la verificación en lazo abierto del convertidor. Sin embargo, con el fin de trasladar el funcionamiento del convertidor mediante el controlador es necesaria la validación experimental. Para tal objetivo, se requiere de instrumentación para la lectura precisa del voltaje controlado, así como de la implementación de uno o múltiples controladores. Estas actividades forman parte de las tareas a desarrollar próximamente y cuyos resultados se espera sean publicados para su divulgación.

Conclusiones

Este artículo presenta una topología de convertidor cuadrático, cuyas principales ventajas son: la ganancia de voltaje es cuadrática, lo que permite que el convertidor opere en un amplio rango de voltaje con un ciclo de trabajo reducido. Se realizaron simulaciones para comparar las respuestas de lazo abierto y cerrado para mostrar la eficiencia del convertidor. Además, se obtuvieron resultados experimentales, tomando en cuenta un punto de operación estático. En cuanto a los resultados en simulación, las respuestas transitorias a cambios escalonados en el voltaje de referencia indican el buen funcionamiento del controlador. Por ende, es factible continuar con la investigación para su uso en el seguimiento de una curva característica de un panel solar.

Agradecimientos

Los autores agradecen al TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO por el apoyo otorgado para la realización del proyecto bajo el registro 18399.23-P.

Referencias

[1] M. Rabiul Islam, A. M. Mahfuz-Ur-Rahman, K. M. Muttaqi, and D. Sutanto, “State-of-The-Art of the Medium-Voltage Power Converter Technologies for Grid Integration of Solar Photovoltaic Power Plants,” IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 34, no. 1, pp. 372–384, Mar. 2019, doi: 10.1109/TEC.2018.2878885.

[2] A. Bughneda, M. Salem, A. Richelli, D. Ishak, and S. Alatai, “Review of Multilevel Inverters for PV Energy System Applications,” Energies, vol. 14, no. 6, p. 1585, Mar. 2021, doi: 10.3390/en14061585.

[3] M. Ahmed, I. Harbi, R. Kennel, and M. Abdelrahem, “Maximum Power Point Tracking Implementation under Partial Shading Conditions Using Low-Cost Photovoltaic Emulator,” Eng, vol. 3, no. 4, pp. 424–438, Oct. 2022, doi: 10.3390/eng3040031.

[4] R. Ayop and C. W. Tan, “Rapid prototyping of photovoltaic emulator using buck converter based on fast convergence resistance feedback method,” IEEE Trans Power Electron, vol. 34, no. 9, pp. 8715–8723, Sep. 2019, doi: 10.1109/TPEL.2018.2886927..

[5] Veerabhadra, S. N. Rao, “Assessment of high-gain quadratic boost converter with hybrid-based maximum power point tracking technique for solar photovoltaic systems”, Clean Energy, vol. 6, no. 4, pp. 632–645, Aug 2022, doi: 10.1093/ce/zkac04.

[6] G. Li, X. Jin, X. Chen and X. Mu, "A novel quadratic boost converter with low inductor currents," in CPSS Transactions on Power Electronics and Applications, vol. 5, no. 1, pp. 1-10, March 2020, doi: 10.24295/CPSSTPEA.2020.00001.

[7] S. A. Gorji, H. G. Sahebi, M. Ektesabi and A. B. Rad, "Topologies and Control Schemes of Bidirectional DC–DC Power Converters: An Overview," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 117997-118019, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2937239.

[8] Y. Mallal, L. El Bahir, and T. Hassboun, “High-Performance Emulator for Fixed Photovoltaic Panels,” International Journal of Photoenergy, vol. 2019, pp. 1–11, Oct. 2019, doi: https://doi.org/10.1155/2019/3951841.

[9] Tsai, M.-F., Tseng, C.-S., Hung, K.-T., & Lin, S.-H., “A Novel DSP-Based MPPT Control Design for Photovoltaic Systems Using Neural Network Compensator. Energies”, Energies vol. 14, no. 11, 3260, 2021, doi:10.3390/en14113260

ISSN: 2007 8102

TIEMPO CICLOS DE CARGA DE BATERÍA DE ION-LITIO Y SUPERCONDENSADOR PARA AUTO ELÉCTRICO CON LABVIEW.

I. Bautista Méndez [1], L. Hernández Aguilar [1], Y.N. Bautista Méndez[1], J. Erazo Macías Rodríguez[1], L.V. Garza López[1]

[1]Tecnológico Nacional de México / Campus Instituto Tecnológico de Reynosa, isaias.bm@reynosa.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Electrónica y Electrónica*

Resumen

Este trabajo muestra el análisis del porcentaje de carga de autos eléctricos utilizando LabVIEW, mostrando su curva característica y porcentaje de carga, así podemos seleccionar el nivel de carga óptimo entre batería Ion-Litio y supercondensadores. Con una interfaz gráfica que permita monitorear la respuesta de carga en la batería en autos eléctricos, utilizando 3 niveles de alimentación eléctrica: 1,120 Volts ca; 2,240 Volts ca y 3,680 Volts cd, también se obtiene la medición de variables de tiempo y ciclos de carga mostrando gráficamente la carga ideal (sin carga) y real (con carga). Los resultados obtenidos muestran los ciclos de carga y la comparación de rendimiento basado en 0.5, 200 y 500 ciclos de carga (porcentaje). Logrando conocer el comportamiento de las variables con el software que permite evaluar, que el nivel de carga es el óptimo entre la batería de ion-litio y los supercondensadores.
***Palabras clave**: Labview, Ion-litio y ciclo de carga, Supercondensador.*

Abstract

This work shows the analysis of the charge percentage of electric cars using the LabVIEW, showing its characteristic curve and charge percentage, so we can select the optimal charge level between Lithium-Ion batteries and supercapacitors. With a graphical interface that allows monitoring the battery charge response in electric cars, using 3 power levels: 1,120 Volts ac; 2,240 Volts ac and 3,680 Volts dc, the measurement of time variables and load cycles is also obtained, graphically showing the ideal load (without load) and real (with load). The results obtained show the load cycles and performance comparison based on 0.5, 200 and 500 load cycles (percentage). Achieving to know the behavior of the variables with the software that allows to evaluate, that the charge level is the optimum between the lithium-ion battery and the supercapacitors.

***Key words**: Labview, Lithium-ion and charge cycle, Supercapacitor.*

Introducción

En los últimos años el desarrollo de nuevas aplicaciones y de vehículos eléctricos han propiciado el surgimiento y desarrollo de nuevas tecnologías de baterías, cada vez más eficientes y fiables. El objetivo principal no es solo la industria del automóvil al lograr mayor energía y mayor potencia, sino también el almacenamiento de energía que complementa la fuente de energía amigable con el medio ambiente.

En la actualidad, el interés por los vehículos eléctricos a batería ha alcanzado un nivel muy alto. Sin duda, estas serán las tecnologías líderes en el futuro. Sus presentaciones limitadas y un alto precio, hacen dura la competencia con vehículos convencionales de combustión. Existe una creciente demanda social de tecnologías limpias, más responsable con el medio ambiente que exige el desarrollo de vehículos eléctricos.

Una batería es un dispositivo que convierte energía química en energía eléctrica mediante una reacción redox.

Las células de iones de litio tienen el mejor rendimiento en cuanto a energía específica ya sea por unidad de masa o unidad de volumen y es por eso que se utilizan para muchas aplicaciones [1].

Las baterías de iones de litio siguen siendo uno de los dispositivos de almacenamiento más prometedores. Para construir la batería ideal, continúan los esfuerzos de desarrollo en todo el mundo.

Las baterías de iones-litio son las más utilizadas en la mayoría de dispositivos electrónicos portables. Entre sus ventajas destaca la mayor capacidad de carga por unidad de peso y volumen respecto a otros sistemas de almacenamiento de energía.
La batería de iones de litio (Li-ion) se considera la mejor entre todos los tipos y celdas de batería por sus características y rendimiento superiores [2]. Así, los vehículos puramente eléctricos, en los que debe haber mucha energía a bordo para asegúrese de que el vehículo tenga suficiente autonomía, solo puede usar baterías de litio (iones de litio o metal de litio), que son al menos dos veces más densos que las demás tecnologías de almacenamiento electroquímico.
Los supercondesadores son sistemas de almacenamiento de energía eléctrica (ESS) que cierran la brecha entre baterías y los condensadores convencionales con respecto a las densidades de energía y potencia; su energía especifica es mucho mayor que la de los capacitores convencionales y su potencia especifica es mayor que las baterías existentes [3].
Un supercapacitor puede almacenar energía en el orden de los faradios e inclusive múltiplos superiores, la característica fundamental de este tipo de dispositivos eléctricos se denota en su capacidad de cargarse y descargarse en el orden de segundos o inclusive en menor tiempo. Esta última característica se hace muy conveniente cuando se trabaja con picos de potencias altas o para compensar la liberación de energía de los mismos en interrupciones de energía que duren poco tiempo [4]. Los supercondensadores se caracterizan por tener una alta densidad de potencia y un número de ciclos de vida elevado, en comparación con las baterías.
La estructura interna de los supercondensadores está formada por múltiples capas de carbón activado. Sin embargo, la autodescarga es uno de los efectos intrínsecos del supercondensador, que causa la caída de tensión y perdida de energía. En esta área, se está avanzando mediante el estudio de nuevos materiales, con una potencial reducción del 80% de la corriente de fuga [5].
Existen diferentes tipos de supercapacitores, generalmente se suelen dividir según la composición del material dieléctrico o del conductor usado para su constitución, entre los principales tipos existen:

- Supercapacitores electroquímicos de doble capa “EDLC”
- Supercapacitores con pseudocapacitancia
- Supercapacitores híbridos.

El capacitor electroquímico de doble capa, también conocido como ultracapacitor o supercapacitor, usa sus dos capas de carga cuando se le aplica un voltaje a un electrodo inmerso en una sustancia electrolítica. Los electrodos en un EDLC (Electrochemical Double-Layer Capacitor) son construidos en carbono altamente poroso, dando como resultado una superficie con una amplia relación de volumen.
Un modelo de una batería es matemático que describe de forma analítica el comportamiento de un sistema real, en este caso la batería de iones-litio, a partir de unos datos de entrada. Todos los modelos llevan asociados un cierto grado de exactitud que determinará su éxito o fracaso al intentar reproducir el sistema real definido matemáticamente en el modelo. Además, la exactitud de su aplicación a un sistema real en unas determinadas condiciones depende de la fidelidad con la que se construye el modelo y de los valores de las variables utilizadas en el mismo. La complejidad depende de la cantidad de parámetros que se incorporen al modelo y de las características propias del sistema real. La inclusión de un elevado número de parámetros eleva la exactitud del modelo.
LabVIEW de National Instruments es una herramienta de programación gráfica; orientado para aplicaciones de control de equipos electrónicos usados en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual. Su naturaleza grafica lo hace ideal para pruebas y mediciones, automatización, control de instrumentación, adquisición y análisis de datos, aumentando la productividad.
La batería Ion-Litio y supercondensador (SC) son complementarios en términos de rendimiento energético. De hecho, los supercondensadores se consideran generalmente como una fuente de energía, capaz de proporcionar o recuperar picos de potencia; mientras que las baterías se consideran como una fuente de energía, capaz de proporcionar energía durante un largo periodo de tiempo [6]. Además, son complementarios en otras características, que son tan interesantes como las prestaciones energéticas: tiempo de descarga, vida útil (número de ciclos) y autodescarga.
Ambos componentes de almacenamiento tienen una buena eficiencia energética, que está entre el 95% y el 98% para un supercondensador, y cerca del 100% para una batería de polímero de iones de litio, siendo útiles en aplicaciones de frenado regenerativo en los sistemas de propulsión. Este tipo de batería también tiene una baja tasa de autodescarga, que oscila entre el 0,1% y el 0,5% al día, mientras que la tasa de autodescarga del supercapacitador es más importante y alrededor del 5% al día.
En la búsqueda de conocer más sobre las baterías de ion litio y supercondensadores, surge la necesidad de diseñar un software que permita medir el comportamiento de las variables de carga: variables tiempo y ciclos de carga de las baterías. Para llevarlo a cabo, ha sido necesario investigar primero sobre el funcionamiento de los compuestos químicos en las baterías en iones-litio presentan unas características de rendimiento y

almacenamiento de energía superiores en comparación con otras tecnologías existentes, como las baterías de ion de litio con cátodo de LiFePO4, son una variación de las baterías de ion de litio con cátodo de LiCoO2. Son normalmente conocidas por las siglas “LIFE”. El fosfato de hierro litio (LiFePO4), posee un bajo costo, no es tóxico, tiene una alta abundancia de hierro, una excelente estabilidad térmica, buenas características de seguridad y un rendimiento electroquímico bueno. La mejora de su conductividad respecto al ion de litio con ánodo LiCoO2 se debe a la presencia de nanotubos de carbono, y el tiempo de carga de un supercondensador es 1 a 10 segundos siendo unos de sus puntos más fuertes y no está sujeto a sobrecarga y no requiere detección de carga completa (la corriente simplemente dejara de fluir cuando esté lleno). En carga, la tensión aumenta linealmente y la corriente cae por defecto cuando el condensador está cargado sin la necesidad de un circuito de detección de carga completa, se desea conocer el tiempo de carga en baterías de ion-litio y el supercondensador.

Metodología

Se desarrolló en tres etapas, primeramente, la caracterización del circuito y cálculos, segunda etapa selección del software de simulación y tercera etapa de prueba.

Caracterización del circuito y cálculos.

Para el desarrollo de este software de simulación se basa en el proceso de modelar un fenómeno ideal y real con un conjunto de fórmulas matemáticas que permitirán conocer el comportamiento del sistema de carga. Los simuladores más básicos trabajan simulando condiciones ideales o de laboratorio, mientras que otros más avanzados permiten simular hasta cierto puntos condiciones reales o ideales, en esta ocasión se utilizó el circuito eléctrico básico con una resistencia y una fuente.

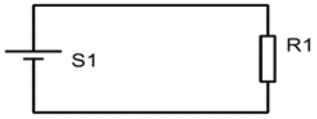


Figura 1. Circuito básico con una fuente S1 y un resistor R1.

A través del simulador eléctrico básico se hace el cálculo en la ecuación de la Ecuación 1 para indicar la corriente en un circuito como el de la Figura 1, mientras que uno más avanzado puede realizar el cálculo en la ecuación de la Ecuación 2.

Ley de Ohm

$$I = \frac{V}{R} \qquad \textit{Ec. 1}$$

Ley de Ohm considerando la resistencia y la resistividad.

$$I = \frac{V}{R + \rho} \qquad \textit{Ec. 2}$$

Claro está, que el cálculo de ρ se hace con la ecuación 3, el simulador pedirá al usuario introducir los valores necesarios.

Para el Cálculo de la resistividad de un conductor

$$\rho = \frac{R \cdot A}{L} \qquad \textit{Ec. 3}$$

Donde: ρ es la resistividad del conductor en Ω·m.
R es la resistencia específica del material del conductor en Ω.
A es la sección transversal en m².
L es la longitud del cable en m.

Aunque es cierto que el cálculo será más específico, este tipo de datos suelen ser desconocidos por el usuario promedio y en muchas ocasiones la diferencia suele ser mínima, por lo que simuladores avanzados.
Cálculos asociados a la carga y descarga de una batería.

Carga ideal

Lo referente al proceso “ideal” de carga de una batería para vehículo eléctrico se utilizaron tres tipos de cargas para el auto eléctrico, señalando que cada compañía ofrece variaciones en sus baterías. Estas variaciones van enfocadas al tiempo de vida, la duración, la relación carga-kilometraje entre otros parámetros.

Para el cálculo de la forma ideal he recurrido a los valores estándar:

Nivel 1 – Aproximadamente 8 km por hora de carga (8 horas para carga completa).
Nivel 2 – Aproximadamente en 32 km por hora de carga (4 horas para carga completa).
Nivel 3 – Aproximadamente 5 km por minuto de carga durante los primeros 20 minutos y 2.5 Km durante los últimos 10 minutos (30 minutos).

Las ecuaciones ideales consisten sobre todo en reglas de 3 simples, con base en las cuáles se puede obtener el porcentaje de carga y el rendimiento del vehículo con dicho porcentaje.
Carga del nivel 1. Se sabe que la carga completa toma 8 horas.
Se describe el comportamiento de la carga según su porcentaje para un cargador de nivel 1.

$$T_C = \left(\frac{C_P}{100}\right)8 \qquad \textit{Ec. 4}$$

Donde: C_P es el porcentaje de carga (Charge percentage).
T_C es el tiempo de carga (Charge Time).

El usuario define el porcentaje de carga deseado y el programa simulación obtiene con la ecuación 4; el tiempo que le tomará a la batería alcanzar dicho nivel para después desplegarlo en la pantalla.
Cálculo de la distancia que se puede alcanzar según el tiempo de carga para un cargador de Nivel 1.

$$S = T_C \cdot 8.04672\ (km\ por\ hora\ de\ carga) \qquad \textit{Ec.5}$$

Finalmente, con la ecuación 5, el programa despliega también la distancia que dicho nivel de carga permitirá alcanzar.
Carga nivel 2. Utilizando los datos de nivel 2, se conoce que un auto que se cargue con estos cargadores alcanzará un rendimiento de 32.18 kilómetros por hora de carga.
La ecuación 6 describe el comportamiento de la carga según su porcentaje para un cargador de nivel 2.

$$T_C = \left(\frac{C_P}{100}\right)4 \qquad \textit{Ec. 6}$$

De la ecuación 6 se obtiene el tiempo de carga de acuerdo al porcentaje.

$$S = T_C \cdot 32.18\ (km\ por\ minuto\ de\ carga) \qquad \textit{Ec. 7}$$

Ecuación 7 para el cálculo de la distancia que se puede alcanzar según el tiempo de carga para un cargador de Nivel 2.
Carga de nivel 3. La carga de nivel 3 utiliza programación para proteger los circuitos internos y a la batería misma. La batería carga hasta un nivel A con cierta velocidad, después la carga del nivel A hasta 100% es más lenta.
El porcentaje del nivel A depende del fabricante, un valor promedio es 80% entre los primeros 20 y 25 minutos del proceso de carga. Para la versión preliminar del software se utiliza el 80% de carga a 20 minutos.
La ecuación que describe la carga queda dada como:

$$T(c) = \begin{cases} \dfrac{P(c)}{4} & si \quad c \leq 80\% \\ \dfrac{P(c)}{2} & si \quad c > 80\% \end{cases} \qquad \textit{Ec. 8}$$

La ecuación 8 describe el comportamiento de la carga según su porcentaje para un cargador de nivel 3.
Donde: $T(c)$ es el tiempo de carga
$P(c)$ es el porcentaje de carga

La ecuación 8, nos señala que para la carga del 0 al 80%, cada 15 segundos (1/4 de minuto) la batería se llena en 1%. Sin embargo, al superar el 80%, la carga se reduce a 1% por cada 30 segundos (1/2 minuto). Después el programa calcula la distancia alcanzable con:

S=T(c)*4.02336 (km por minuto de carga) *Ec. 9*

La ecuación 9 es utilizada para el cálculo de la distancia que se puede alcanzar según el tiempo de carga para un cargador de Nivel 3.

Carga real. La investigación hecha sobre los factores que deterioran una batería recargable arrojó una gran multitud de resultados, sin embargo, en el desarrollo del software se ha incluido sólo uno de estos factores: cantidad de ciclos de carga.
Cantidad de ciclos de carga. Se considera ciclo de carga cuando la batería se carga desde el 0% hasta el 100%, de esa forma un relleno del 50% al 100% es sólo medio ciclo de carga y uno del 75% al 100% es sólo un cuarto

de ciclo de carga. La vida útil de las baterías, en específico las de iones de litio, se mide en ciclos de carga, normalmente éstas tienen vidas de entre 300 y 500 ciclos de carga (600 a 1,000 medios ciclos).
Al llegar a los 300 ciclos de carga una batería habrá perdido entre el 30% y el 40% de su capacidad de carga. Esto quiere decir que, si antes el 100% rendía para 120 km, la batería ahora podría rendir sólo 84 km. Conforme la cantidad de ciclos aumenta, el rendimiento de la batería se deteriora aún más hasta llegar a 0, es decir, que la batería ha muerto. Una batería puede, de todos modos, vivir más tiempo del indicado, aunque su rendimiento puede no ser óptimo.
Ciclo de Carga. El tiempo de carga de un supercondensador es 1 a 10 segundos, siendo unos de sus puntos más fuertes y no está sujeto a sobrecarga y no requiere detección de carga completa (la corriente simplemente dejara de fluir cuando esté lleno). En carga, la tensión aumenta linealmente y la corriente cae por defecto cuando el condensador está cargado sin la necesidad de un circuito de detección de carga completa. Se considera ciclo de carga cuando el supercondensador se carga desde el 0% hasta el 100%, de esa forma un relleno del 50% al 100% es sólo medio ciclo de carga y uno del 75% al 100% es sólo un cuarto de ciclo de carga. La vida útil de los supercondensadores, se mide en ciclos de carga, normalmente éstos tienen vidas de hasta 1 millón de ciclos.
Esta variable se incluye en el simulador, pues en teoría es sencillo para el usuario final mantener un registro de cuántas veces ha cargado su vehículo.
Ciclo de Descarga. La descarga de un supercondensador es sustancialmente mayor que la de un condensador electrostático y algo mayor que una batería electroquímica; contribuyendo el electrolito orgánico a esto. El supercondensador se descarga de 100 a 50 por ciento en 30 a 40 días en comparación de las baterías de plomo y de iones de litio, la autodescarga es de alrededor del 5% por mes.
La energía específica de las gamas de la supercondensadores es de 1Wh/kg 30Wh/kg, 10-50 veces menos a la de la batería de iones de litio lo cual es una clara desventaja.
Para definir el modelo de circuito equivalente de un supercondensador (SC) son:

- El número de ramas RC a considerar: se da una situación de compromiso entre la complejidad del modelo y su grado de aproximación a la realidad.
- Decidir si se consideran las capacidades de cada rama constante o dependientes de la tensión.
- Como estimar las constantes de tiempo de cada rama: se debe decidir la velocidad de respuesta de cada una.
- Como estimar los valores de cada condensador y resistencia de las ramas: en principio la constante de tiempo de cada rama no tiene por qué estar únicamente definida con la capacitancia y resistencia de la misma. Una rama puede ser más rápida porque su resistencia equivalente es menor o porque lo es su capacidad.

Para la obtención de los parámetros del modelo del SC el fabricante propone escalar determinados parámetros proporcionados en las hojas de características de acuerdo con unas reglas específicas. De esta forma se obtienen los parámetros del modelo equivalente sin la necesidad de realizar pruebas experimentales sobre el dispositivo, alimentándose con los tres niveles de alimentación para auto eléctrico (nivel 1, 120 Vca; nivel 2, 240 Vca y nivel 3, 680 Vcd). En la figura 2, se muestra el modelo equivalente de un supercondensador con 3 ramas.

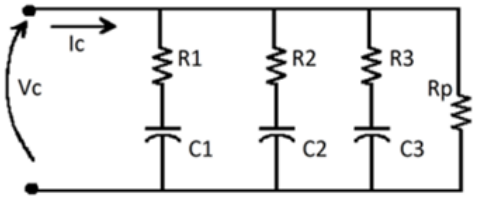


Figura 2. Modelo del circuito equivalente de un SC.

Las reglas para obtener los parámetros del modelo equivalente de un SC de N = 3 ramas de la figura 2, y el conjunto de parámetros obtenidos para modelar se muestran en las tablas 1 y 2 siguientes:

 ISSN: 2007 8102

	RAMA 1	RAMA 2	RAMA 3
R	N x 0.7 x ESR	N x 909.37 x ESR	N x 2380.7 x ESR
C	$\frac{1}{N} \cdot 1.05 \cdot C_0$	$\frac{1}{N} \cdot 0.095 \cdot C_0$	$\frac{1}{N} \cdot 0.248 \cdot C_0$
t	0.7 x (ESR x C0)	68.1 x (ESR x C0)	590.1 x (ESR x C0)
Rp	$\frac{V_N}{I_{LK}}$		

Tabla 1. Reglas del fabricante para obtener los parámetros supercondensador

	RAMA 1	RAMA 2	RAMA 3
R	0.387 Ω	0.527 Ω	1.381 Ω
C	1260 F	114 F	297.6 F
t	0.487 s	60.125 s	410.922 s
Rp	1000 Ω		

Tabla 2. Parámetros obtenidos

Selección del software de simulación

Se seleccionó al software Labview por ideal para pruebas y mediciones, posteriormente se desarrolló una interfaz gráfica en LabVIEW que permita monitorear la respuesta de carga en la batería de autos eléctricos, utilizando los niveles de alimentación de 120 Vca, 240 Vca y 680 Vcd, con la interfaz gráfica se obtendrá la medición de variables de tiempo y ciclos de carga en baterías de ion-litio y supercondensadores.
En la Figura 3, muestra el diagrama de bloques en LabVIEW donde se realiza los cálculos del tiempo de carga en la batería ion-litio y condensador.
En la Figura 4, se observa el Diagrama de bloques que realiza el cálculo de carga ideal para los tres niveles, realizando los ajustes pertinentes para que la interfaz de usuario logre proporcionar respuesta a valores propuestos.

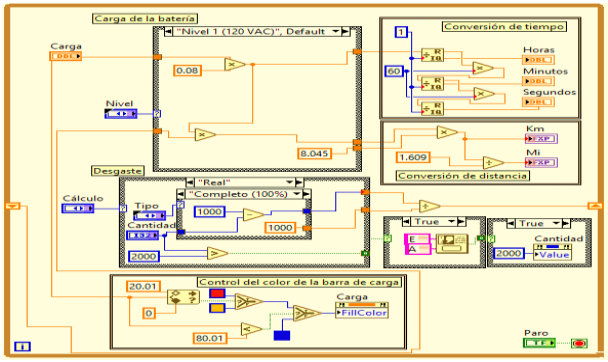


Figura 3 - Diagrama de bloques para cálculo de tiempo de carga en LabVIEW.

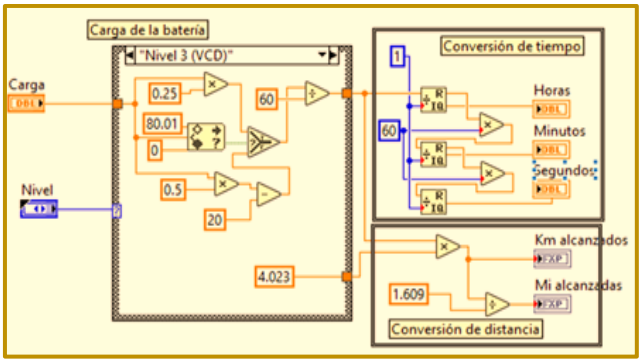


Figura 4. Sección del diagrama de bloques que realiza el cálculo ideal.

La Figura 5, se observa la interfaz gráfica final para: a) nivel 1 de carga a 120 Vca, en modo ideal y real respectivamente, donde el usuario obtiene la medición del tiempo para el porcentaje de carga requerido; b) nivel 2 de carga a 240 Vca, en modo ideal y real, donde el usuario obtiene el tiempo de carga para el porcentaje de carga; c) nivel 3 de carga a 680 Vcd, en modo ideal y real, se obtiene el tiempo para el porcentaje de carga requerido; como se puede observar, en los tres niveles también se calcula la distancia recorrida (en kilómetros y millas); al introducir un valor incorrecto, usar el botón de paro para reestablecer el cálculo.
La Figura 6, se observa también la interfaz gráfica final para los tres niveles de carga para el supercondensador, donde se observa el porcentaje de carga a un tiempo requerido.

 ISSN: 2007 8102

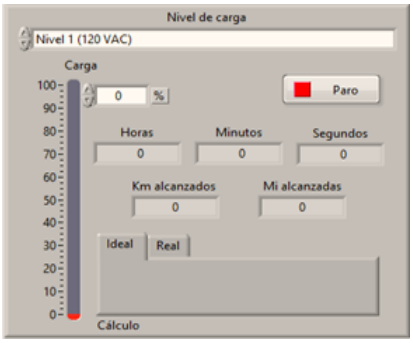


Figura 5 a) Interfaz gráfica para nivel 1 de carga ideal y real a 120 Vca con batería de ion-litio.

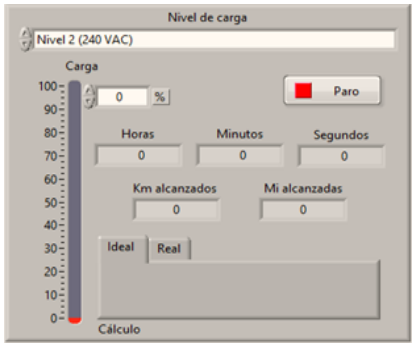


Figura 5 b) Interfaz gráfica para nivel 2 de carga ideal y real a 240 Vca con batería de ion-litio.



Figura 5 c) Interfaz gráfica para nivel 3 de carga ideal y real a 680 Vcd con batería de ion-litio.



Figura 6. Interfaz gráfica para nivel 1 de carga ideal y real a 120 Vca, con supercondensador



Figura 6. Interfaz gráfica para nivel 2 de carga ideal y real a 240 Vca, con supercondensador.



Figura 6. Interfaz gráfica para nivel 3 de carga ideal y real a 680 Vcd, con supercondensador.

 ISSN: 2007 8102

Prueba

Se desarrollaron las pruebas finales del interfaz gráfico de usuario con LabVIEW [7], obteniendo resultados de reconocimiento y medición de variables en las baterías y supercondensador logrando cuantificar el tiempo y ciclos de carga en los tres niveles de carga de alimentación en forma ideal y real para la batería de ion-litio y supercondensador.

Resultados

Las curvas obtenidas manifiestan el comportamiento no lineal en el proceso ideal y real de carga de una batería de ion-litio y supercondensador para vehículo eléctrico, en los tres niveles de alimentación. Es importante destacar que el interfaz gráfico utilizado, es útil para ambos modos de simulación: ideal y real, y en modo real se usó 0.5, 200 y 500 ciclos de carga para su caracterización para este experimento. A continuación, se presentan las gráficas del porcentaje de carga versus tiempo de carga en modo ideal y real obtenidas experimentalmente. En la Figura 7, se observa el porcentaje de carga versus tiempo de carga para los tres niveles de carga en modo ideal, donde se puede identificar que en el nivel de carga 3 es más rápido que los dos niveles restantes en batería de ion-litio, de igual forma en la figura 8, para supercondensador.

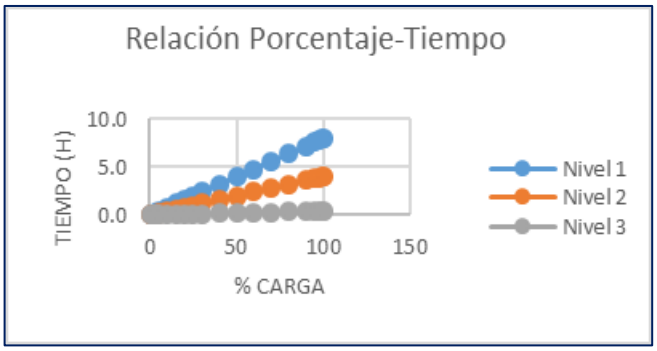


Figura 7. Comparación entre el porcentaje de carga deseado y el tiempo requerido, en los tres niveles de carga, modo ideal con batería de ion-litio.

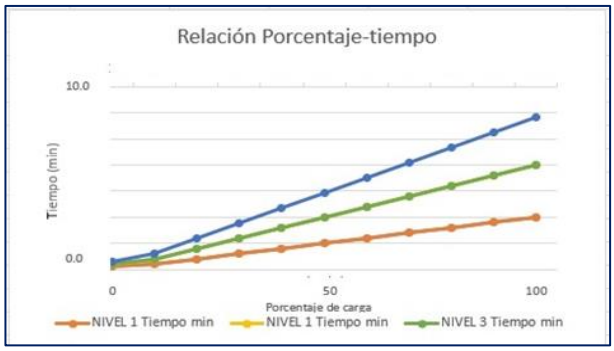


Figura 8. Comparación entre el porcentaje de carga deseado y el tiempo requerido, en los tres niveles de carga, modo ideal con supercondensador (SC).

En la Figura 9, se observa los datos obtenidos por el software de simulación, el porcentaje de carga (%) versus distancia alcanzada (km). Los resultados permiten identificar en la Figura 9, la carga a 200 ciclos es más eficiente que en las cargas a 0.5 y 500 ciclos. En la Figura 10, también la carga a 200 ciclos es más eficiente que en las cargas a 0.5 y 500 ciclos.

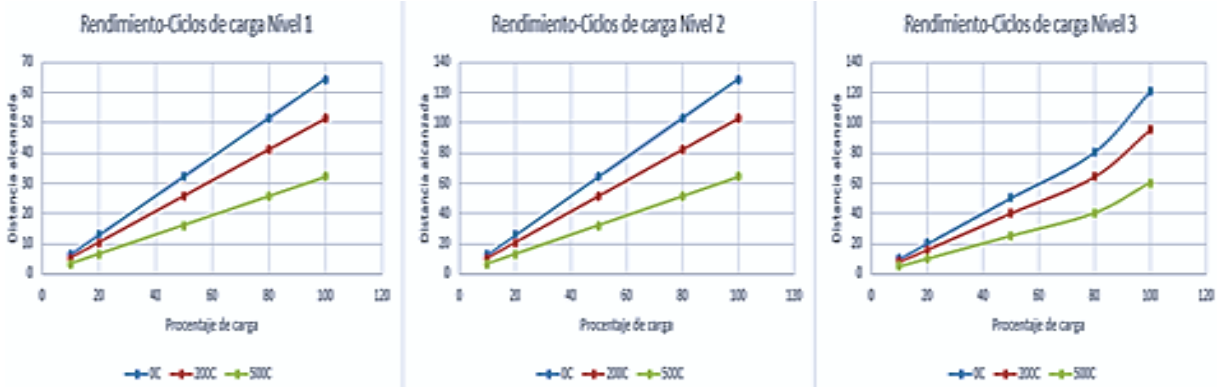


Figura 9. Comparación de rendimiento basado en 0.5, 200 y 500 ciclos de carga (Porcentaje de carga) en cada nivel de carga versus Distancia alcanzada (Km) en modo real con batería de ion-litio.

 ISSN: 2007 8102

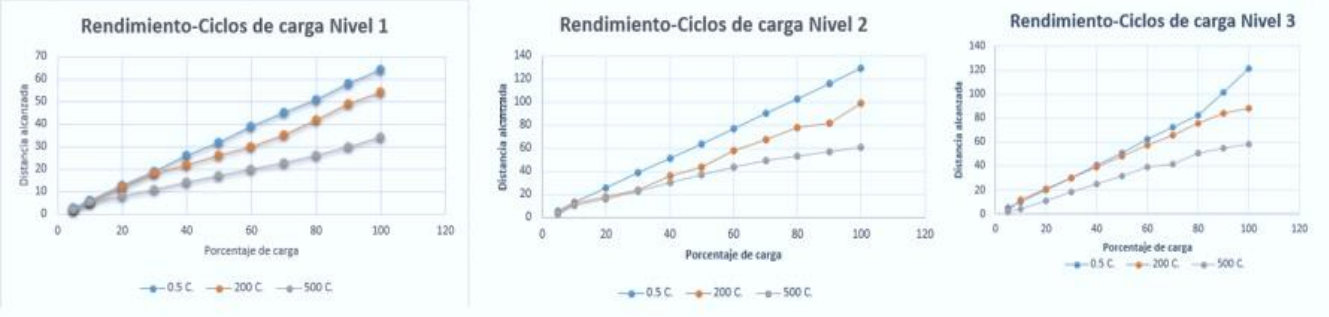


Figura 10. Comparación de rendimiento basado en 0, 200 y 500 ciclos de carga (Porcentaje de carga) en cada nivel de carga versus Distancia alcanzada (Km) en modo real con supercondensador

En la Tabla 3, muestra la distancia recorrida versus niveles de alimentación nivel 1 (110V), nivel 2(240V) y nivel 3 (680V); analizando la información, se logra observar que el nivel 2 de alimentación muestra mayor aprovechamiento en la distancia recorrida en Km con respecto a los niveles 1 y 3, para la batería de ion-litio y supercondensador; también se aprecia el aprovechamiento (%) a plena carga con respecto al nivel 2.

Datos comparativos.

CICLOS DE CARGA/BATERIA	110 V	Aprovechamiento	240V	Aprovechamiento	680V	Aprovechamiento
0.5 Ion-Litio	64Km	47%	135Km	100%	120Km	88.88%
0.5 Supercondensador	64Km	49%	129Km	100%	121Km	93.79%
200 Ion-Litio	52Km	50.48%	103Km	100%	95Km	92.23%
200 Supercondensador	54Km	54.54%	99Km	100%	88Km	88.88%
500 Ion-Litio	34Km	51.51%	66Km	100%	60Km	90.90%
500 Supercondensador	34Km	55.73%	61Km	100%	58Km	98.08%

Tabla 3. Comportamiento de la distancia recorrida versus niveles de alimentación, al 100% en batería de ion –litio y supercondensador, en modo real y el aprovechamiento porcentual.

Trabajo futuro

Como trabajo futuro se pretende mejorar el ambiente gráfico, haciéndolo más complejo con la inclusión de más variables, como usar baterías con tecnología biodegradable y la vida útil de las baterías, así como las implicaciones al combinar ambos elementos que tendrá la red eléctrica para su distribución. Así mismo se abordará el comportamiento del Cobalto utilizado recientemente en batería para autos eléctricos, que crece su uso en un 22% en este año.

Conclusiones

Logrando conocer el comportamiento de las variables con los tres niveles de alimentación del proceso de carga para la batería de ion-litio y supercondensador para auto eléctrico, utilizando la interfaz gráfica permitió evaluar el nivel de carga óptimo para batería de ion-litio y supercondensador, donde se observa que en el nivel 2 de carga logra ese impacto para los tres ciclos de carga y por otra parte usando las baterías de ion-litio se observa mayor distancia de recorrido con respecto a los supercondensadores.

Los resultados permiten validar la funcionalidad del sistema propuesto eficientemente para conocer el comportamiento de carga de un auto eléctrico, con el uso de la interfaz grafica siendo una opción viable por su versatilidad y asequibilidad, cada vez su uso en la industria automotriz es de mayor frecuencia.

Referencias

[1] A. Gandía Santaya, Performance study of different equivalent circuit topologies for modelling commercial Li-ion batteries, Tesis de Doctoral. Universitat Politècnica de València, Valencia, Pág. 6, España, 2020

[2] M. A. Hannan, M. M. Hoque, A. Hussain, Y. Yusof and P. J. Ker, "State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 19362-19378, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2817655.

[3] A. Berrueta, A. Ursúa, I. S. Martín, A. Eftekhari and P. Sanchis, "Supercapacitors: Electrical Characteristics, Modeling, Applications, and Future Trends," in IEEE Access, vol. 7, pp. 50869-50896, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2908558.

[4] E.F. Méndez, E.V. Arrobo y A.F. Morocho, Supercapacitores como aporte al desarrollo energético eléctrico, análisis comparativo mediante herramientas computacionales de simulación aplicadas. Revista Espacios, vol. 41, no. 14. Pág. 29, 2020

[5] H. S. Miniguano, Modelado e identificación de baterías de ion-litio y supercondensadores para su aplicación al vehículo eléctrico. Tesis de Doctoral. Dept. Tecnología Electrónica, Universidad Carlos III de Madrid, España, 2019. Recuperado en: http://hdl.handle.net/10016/31517

[6] J. Snoussi, S. Ben Elghali, M. Benbouzid, and M. F. Mimouni, M.F., Auto-adaptive filtering-based energy management strategy for fuel cell hybrid electric vehicles, Energies, vol. 11, no. 8, pp. 1–20, 2018

[7] National Instruments., 2019. National Instruments. Recuperado en http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/execution-structures

 ISSN: 2007 8102

Diseño de una nariz optoelectrónica para determinar la concentración de gases aplicada a invernaderos verticales

G.X. Abad Galindo[1], G. Águila Rodríguez[1], O.O. Sandoval González[1], B.E. González Sánchez[1], A. Ortiz Celiseo[2].*
[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Orizaba, Oriente 9 852, Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, México
[2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, Oriente 9 No. 852, Col. Emiliano Zapata, CP.94231, Orizaba, Veracruz, México
**xolotzina.g@gmail.com.*

***Área de participación**: Ingeniería Electrónica*

Resumen

Desde hace veinte años, el desarrollo y aplicación de narices electrónicas para determinar la presencia y concentración de gases, ha sido un tema de gran interés científico y tecnológico, debido al impacto sobre la economía y la sociedad.

En este trabajo se presentan los resultados del desarrollo de una nariz opto-electrónica con capacidad para determinar la concentración de especies químicas: CO_2, H_20 y C_2H_4, que se encuentran presentes durante el crecimiento de especies biológicas en invernaderos y la maduración de frutas climatéricas, se obtuvieron muestras de gases a partir de la maduración de bananos Roatán y se caracterizaron por FTIR. A partir de aquí, se identificaron las bandas principales de absorción para las especies de interés, y se desarrollaron diferentes sistemas para la nariz opto-electrónica tales como: celda de medición, circuitos de acondicionamiento y procesamiento de señales entre otros, con el objetivo de obtener un sistema integrado capaz de instrumentar un invernadero vertical.

***Palabras clave**: Espectros FTIR, longitud de onda, sistema opto-electrónico, nariz electrónica.*

Abstract

For twenty years, the development and application of electronic noses to determine the presence and concentration of gases has been ~~a~~ subject of great scientific and technological interest, due to the impact on the economy and society.

This work shows the results of the development of an optoelectronic nose capable of determining the concentration of chemical species: CO_2, H_20 and C_2H_4, which are present during the growth of biological species in greenhouses and the ripening of climacteric fruits. Gas samples were obtained from the ripening Roatán banana and characterized by FTIR. From here, main absorption bands were identified for the species of interest, and different systems for the opto-electronic nose were developed such as: measurement cell, signal conditioning and processing circuits, among others, with the aim of obtaining an integrated system capable of implementing a vertical greenhouse.

***Key words**: FTIR spectra, wavelength, optoelectronic system, electronic nose.*

Introducción

La espectrofotometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) es un método experimental extremadamente confiable para identificar la composición de mezclas moleculares [1]. En este caso, la luz infrarroja es absorbida por la muestra (mezcla de gases bajo estudio) dentro de un rango determinado de longitudes de onda (400 a 4000 cm^{-1}), y, como resultado se obtiene un espectro donde aparecen las llamadas bandas de absorción. Estas bandas se localizan a una longitud de onda específica y con una determinada amplitud. En este caso, las especies a determinar están relacionadas con la frecuencia dentro del espectro de medición mientras que la amplitud de las bandas se relacionada con concentración de las especies químicas.

ISSN: 2007 8102

De acuerdo con en el criterio anterior, a partir del análisis de un espectro por FTIR se pueden llegar a identificar las frecuencias de absorción para una especie en particular y desarrollar un sistema más simple, confiable y de menor costo tal como las narices electrónicas [2]. En este caso la selección cuidadosa de la fuente de luz (diodo emisor de IR) así como del receptor (fotodiodo), definirán la selectividad y sensibilidad de la aplicación para medir las especies químicas de interés. Otros aspectos técnicos importantes tales como las dimensiones, los materiales del contenedor, el tipo y calidad de los circuitos electrónicos dependerán de las exigencias de operación del área de aplicación. Sin embargo, para los fines de este trabajo se plantea desarrollar una nariz electrónica para aplicaciones en invernaderos verticales [3].

Los invernaderos verticales son importantes debido a la eficiencia que estos poseen para producir alimentos con menos recursos, es decir, abastecer las necesidades de la población con menos área del suelo. Además, representan una necesidad real debido a que estos medios de producción se caracterizan por que el ambiente (temperatura, humedad, CO_2, pH, etc.) debe estar totalmente controlado.

Así bien, el sistema opto-electrónico [4] o nariz electrónica que se describe en este trabajo, tiene el potencial para monitorear los gases generados durante la maduración de frutas climatéricas, o bien, ayudar a instrumentar electrónicamente la operación de invernaderos verticales. Un problema de gran importancia económica vinculado con la producción de frutas climatéricas, es que estas continúan madurando aun después de su cosecha [5]. Así, al incrementar la concentración de gases producto de la maduración tal como el etileno, se acelera el proceso de maduración, modificando el color, firmeza, sabor y aromas característicos de cada fruto. Por todo lo anterior, se propone monitorear dichos niveles para que la fruta tenga el estado deseado hasta llegar al consumidor.

Para lograr los requerimientos de operación de nuestra propuesta tales como: selectividad para especies de CO_2, humedad y etileno, alta sensibilidad y portabilidad entre otros, es necesario realizar una serie de pasos que involucra conocimiento y técnicas relacionados con el área química, y, por otro lado, conocimientos vinculados con circuitos y dispositivos electrónicos.

En vista de todo lo anterior, la primera etapa de este trabajo consistió en realizar una serie de mediciones por espectrofotometría de FTIR utilizando el equipo Thermo Scientific Nicolet iS5 sobre muestras de gases producidos por la maduración del plátano Roatán (*Musa paraisiaca var. Cavendich*) [6]. Con esto, se identificó la longitud de onda de absorción para las especies de interés y en consecuencia se definen las características de los sensores opto electrónicos (emisor/receptor) de la nariz electrónica. Posteriormente, se establece la configuración general de la propuesta, el diseño mecánico (tamaño de la celda de medición, distribución de los sensores, etc.), así como las características de los circuitos electrónicos para controlar y procesar las señales de nuestro sistema.

Metodología

Materiales

Por simplicidad la especie biológica (EB) que se utilizó para nuestro trabajo fue el plátano roatán (*Musa paraisiaca var. Cavendich*). Este se adquirió en su etapa de madurez comercial y en todos los casos se utilizó 1 kg como material de partida. Para medir los gases producidos y liberados por la EB se utilizó un espectrofotómetro Thermo Scientific Nicolet iS5 FTIR (ver Figura 1).



Figura 1. Espectrofotómetro Thermo Scientific Nicolet iS5 FTIR

 ISSN: 2007 8102

Preparación de las muestras

Calibración del equipo FTIR

Antes de procesar la muestra es necesario verificar que el equipo está en buenas condiciones, para ello se calibró con una película de poliestireno (dada por el fabricante) y se comparó el espectro resultante con el de referencia que viene incluido en la biblioteca del software OMNIC del equipo. En la Figura 2 se muestra el espectro de referencia de acuerdo con la base de datos del software del equipo, mientras que, la Figura 3 corresponde al espectro experimental obtenido con una película real de poliestireno. Observe que aun cuando la longitud de onda aumenta para un caso mientras que en el otro decrece, la similitud y la posición de las bandas entre ambos resultados es similar. Esto permite afirmar que el espectrofotómetro se encuentra en óptimas condiciones de trabajo y que las muestras pueden ser procesadas de forma correcta.



Figura 2. Espectro experimental para validar la calibración (película de poliestireno)

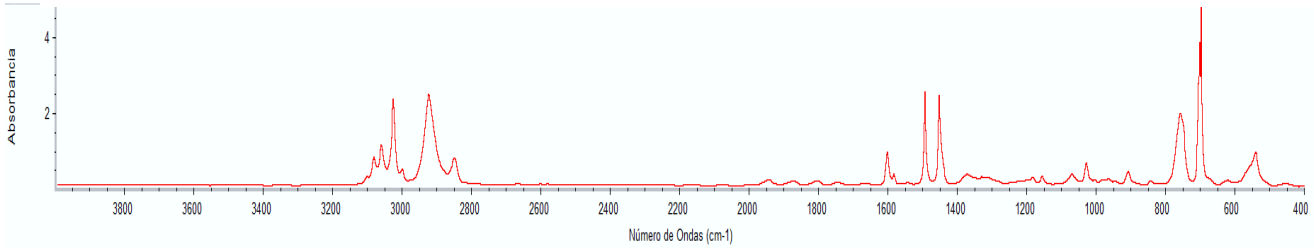


Figura 3. Espectro para referencia guardado en la base de datos del sistema (película de poliestireno)

Identificación de etileno con espectroscopia de FTIR

Se realizó un proceso de muestreo, para fines prácticos se utilizó la especie *Musa paraisiaca var. Cavendich*, conocida comúnmente como plátano roatán, tabasco o enano gigante. La elección de dicha especie biológica (EB) se debe a la facilidad de conseguirlo durante el año, el costo económico y sobre todo porque es un buen productor de gases de maduración (en específico el etileno) durante este proceso. Una de las principales características a tomar en cuenta es el nivel de maduración con respecto al color, esto debido a que durante el proceso las concentraciones de gases varían y aparecen otros factores que pueden generar incertidumbre en la medición, tales como: temperatura, humedad relativa del medio ambiente y la producción de CO_2 y CO.

Para unificar la muestra en los grupos, se ha manejado la escala de Von Loesecke (Tabla 1) que permite clasificar el grado de maduración del plátano de manera visual, observando el color de la cáscara y seccionando la fruta en tres partes, el tallo, el centro y la punta.

Tabla 1. Grados de maduración *[7]*

Grado de maduración	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Características	Verde	Verde claro	Verde amarillento	Más amarillo que verde	Amarillo con puntas verdes	Totalmente amarillo	Amarillo con puntas cafés
Imagen							

 ISSN: 2007 8102

De acuerdo con lo anterior, las muestras se trabajaron según el grado de maduración en los grados 4 y 7, esto para su comparación con respecto a la concentración de gases (figuras 4 y 5 respectivamente).

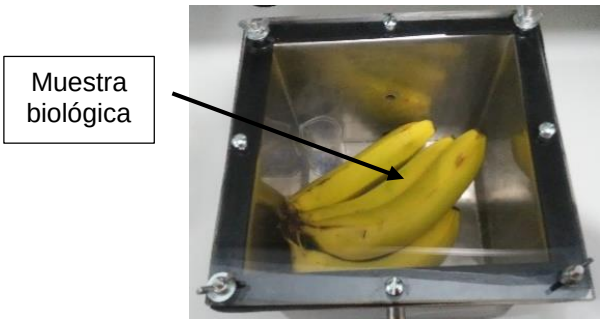


Figura 4. Muestra grado 4

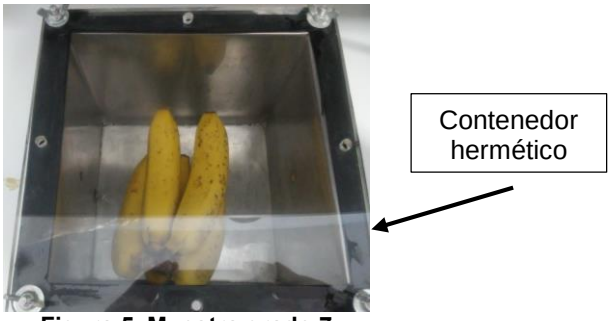


Figura 5. Muestra grado 7

Las muestras biológicas se colocaron en una celda de almacenamiento sellada (figuras 4 y 5) y fueron monitoreadas en un lapso de dos días por muestra, es decir, la fruta se colocaba en el contenedor y la primera toma (volumen de gas para tres mediciones con 1, 2 y 3 ccm^3 respectivamente) se hacía cada hora y así sucesivamente hasta completar cuatro grupos de mediciones por día. Para el día dos, se aplicó el mismo criterio iniciando a las 11 am con una toma de muestra (6 cm^3) cada hora hasta completar cuatro mediciones. Para extraer los gases muestra del contenedor se utilizó una jeringa de uso clínico estándar.

Las muestras de gas se introdujeron en la celda de medición del espectrofotómetro Thermo Scientific Nicolet iS5 FTIR [8] (adecuado para procesar muestras líquidas, sólidas y gases), dado que se procesaron muestras gaseosas se utilizó una celda de vidrio para medición de gases que cuenta con dos válvulas (Figura 6), la muestra se inyecta por una de ellas, mientras que la válvula que conecta con el equipo permanece cerrada.

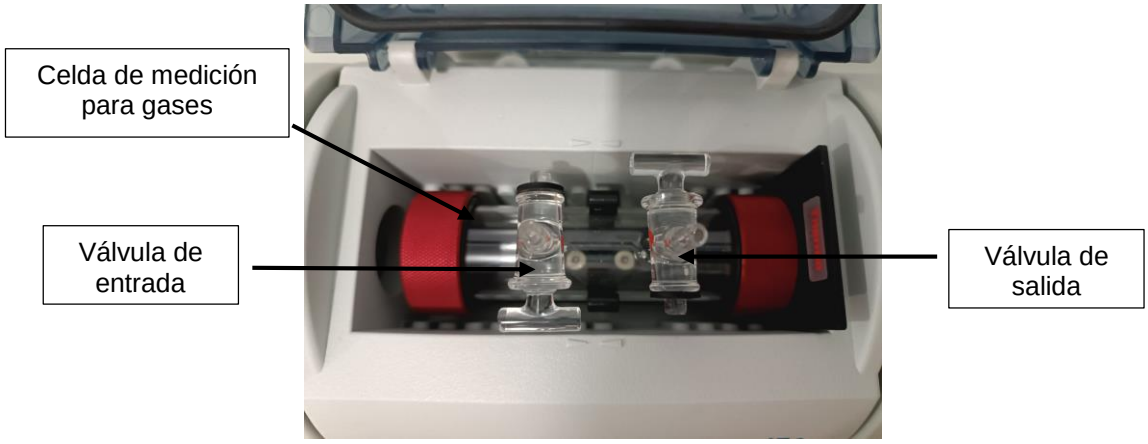


Figura 6. Celda de medición para gases (Espectrofotómetro Thermo Scientific iS5)

Una vez cargada la muestra se procede a realizar la medición en el rango de 4000-400 cm^{-1}, y los resultados se exportan a una base de datos para su posterior análisis, este mismo procedimiento se realizó para cada uno de los diferentes volúmenes y estados de maduración.

Diseño de circuitos electrónicos que emulen el emisor y receptor del sistema

Una vez que se han identificado las bandas principales de absorción para las especies de interés, se desarrollaron los diferentes sistemas que componen la nariz opto-electrónica tales como: la celda de medición y los circuitos de acondicionamiento y procesamiento de señales (Figura *7*).

Un aspecto importante es que los sistemas de nuestra propuesta constan de dos etapas principales, estas son: la celda de medición que debe ser capaz de contener a la mezcla de gases y los circuitos electrónicos correspondientes que acondicionaran y procesaran las señales.

 ISSN: 2007 8102

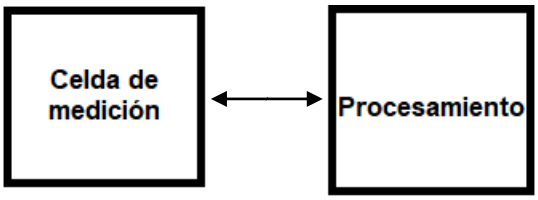


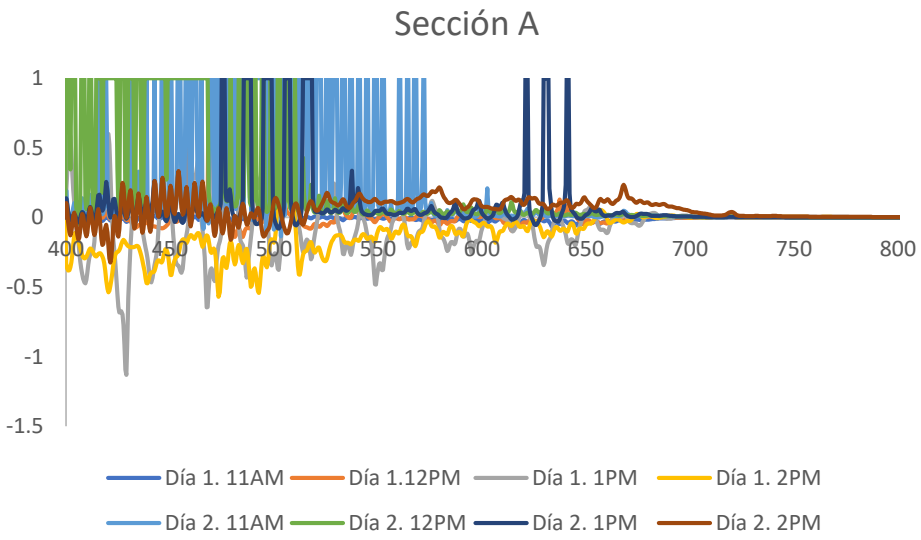
Figura 7. Bloques que integran la nariz electrónica para la medición de gases

Resultados

A continuación, se muestran los resultados de los métodos propuestos para la determinación de la concentración de gases. Se hace referencia a los resultados obtenidos en el espectrofotómetro y a los de la nariz opto-electrónica.

Identificación de gases con espectroscopia de FTIR

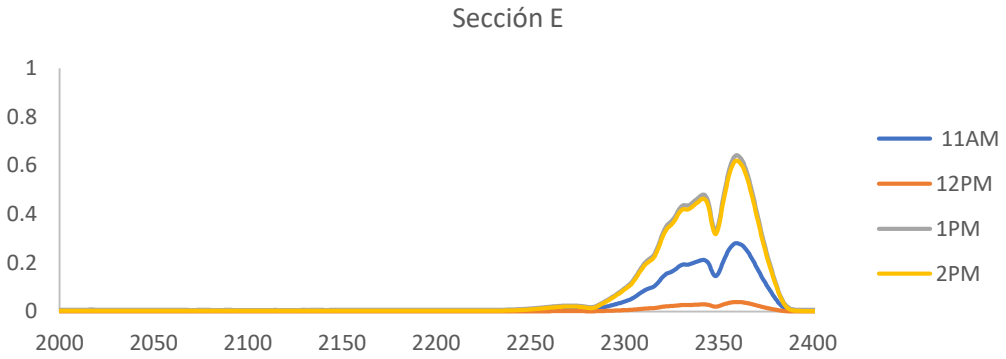
En base a los muestreos realizados en diferentes periodos, se obtiene una serie de datos que al procesarlos y compararlos gráficamente exponen un comportamiento semejante entre ellos. Esto dio un mejor análisis no sólo con respecto al tiempo sino también conforme al volumen de la mezcla de gases en la celda de medición. Para observar el cambio dentro del espectro se realizó un seccionamiento de la A – I, abarcando de los 400 a 4000 cm^{-1} respectivamente. Siendo la región A y E las que muestran el mayor cambio, pero dado que se busca un grupo funcional específico se descarta la región A que además por la intensidad de los picos de absorción no se pueden apreciar a detalle los cambios (Gráfica 1). Se puede observar que hay niveles de saturación por lo cual, las diferentes bandas de absorción no sin visibles a simple vista.



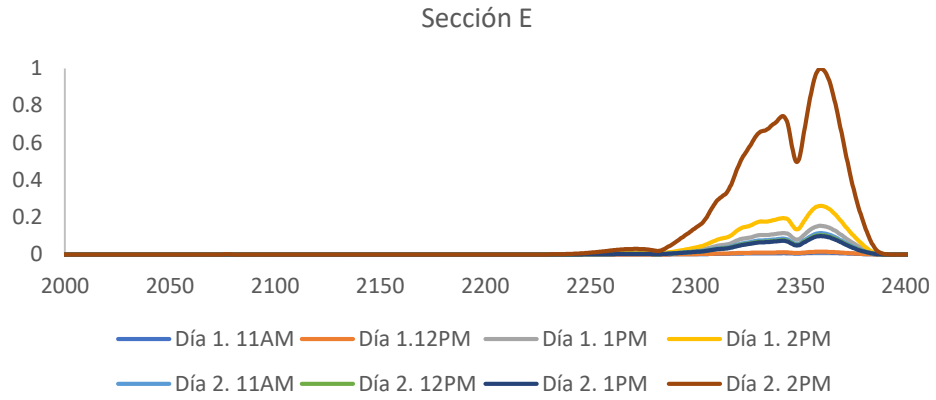
Gráfica 1. Sección A de un espectro de una muestra de 1 cm^3

Graficando los datos, se puede notar en que longitud de onda hace presencia cierto gas, y siendo esta la que presenta una evolución de absorbancia con respecto al número de onda. En la Gráfica 2, se observa un ejemplo del primer muestreo realizado por hora y como predomina un cambio en la región de 2250-2400 cm^{-1} cada banda de absorción corresponde a una muestra tomada, es decir, hacen referencia a diferentes horas del día en el cual fueron procesadas las muestras. En la Gráfica 3, se pueden observar diferentes niveles de concentración de CO_2, el cual se representa por esos dos pico prominentes en la región señalada.

 ISSN: 2007 8102

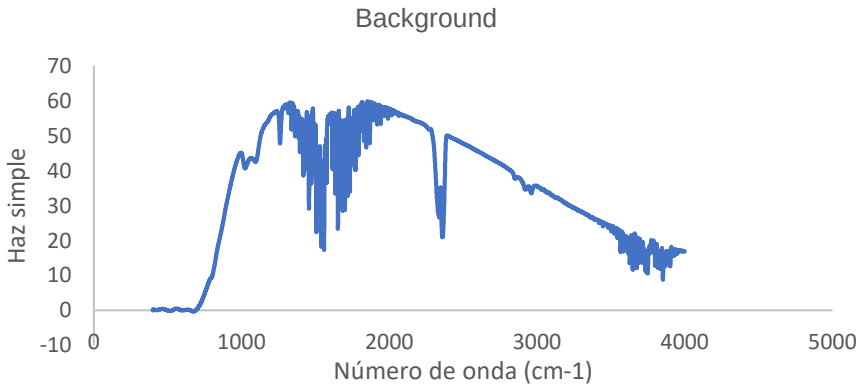


Gráfica 2. Comportamiento de la concentración de gases en un lapso de cuatro horas, con un volumen de 1 cm^3



Gráfica 3. Comportamiento de los gases en un lapso de 8 horas, con un volumen de 3cm^3

Respecto a las gráficas anteriores se puede decir que el volumen representa una característica importante, debe ser lo suficientemente representativa y tomar un tiempo de homogenización dentro de la celda de medición de gases, así como una correcta limpieza después de cada muestra. Para limpiar la celda se utilizó una bomba Elite 802, a la cual se le acoplo una manguera de poliuretano de 6*4 mm que es conectada a una de las válvulas de la celda de gases y la otra válvula queda abierta para que el gas inyectado circule, para ello se toma un tiempo de 10 minutos para asegurar la limpieza y posteriormente se corre el background (Gráfica 4) [9]., este proceso se realiza con cada muestra.



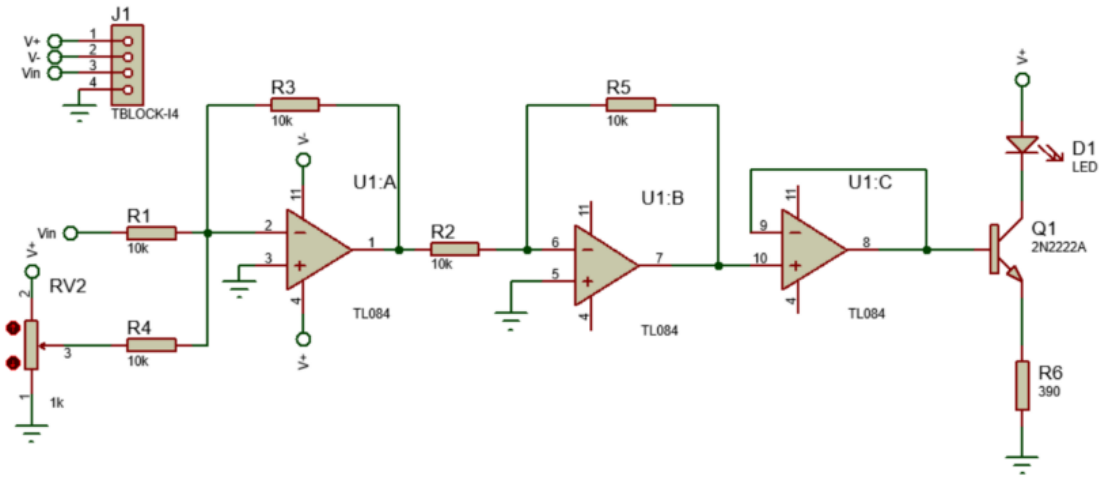
Gráfica 4. Ejemplo del background

 ISSN: 2007 8102

Elementos o bloques funcionales de la nariz electrónica

Con los resultados del primer método de medición, se hace la propuesta para implementar un sistema optoelectrónico que tenga la capacidad de determinar la concentración de un gas en base a una longitud de onda específica, para ello se realizaron las simulaciones necesarias en Multisim que permitió evaluar los componentes a utilizar y el comportamiento del sistema una vez implementado. Para integrar la nariz opto-electrónica fue necesario acoplar la parte que emitirá la luz infrarroja y un receptor que es el encargado de recibir el haz de luz una vez pasado por la muestra.
En primer lugar, se planteó el diseño de los circuitos para cada etapa, constando del diagrama esquemático, el diseño PCB según convenga y una vista 3D.
El emisor (

Figura ***8***) dispone de un LED infrarrojo el cual genera una longitud de onda, al igual que amplificadores operacionales (TL082) configurados de forma conveniente y un transistor (2n222) para dar paso a la señal que emitirá el LED. En la Figura 9 se hace una proyección de cómo quedó la placa PCB una vez manufacturada.
Por otra parte, el receptor (Figura 10 y 11) está conformado por amplificadores operaciones (TL082), capacitores encargados de filtrar el ruido (cerámicos y electrolíticos de 1 µF y 1 nF respectivamente) de la señal que recibirá el fotodiodo. Dicha señal de salida pasa por una etapa de rectificación para transformar la señal senoidal en corriente directa y pueda ser procesada por una interfaz.



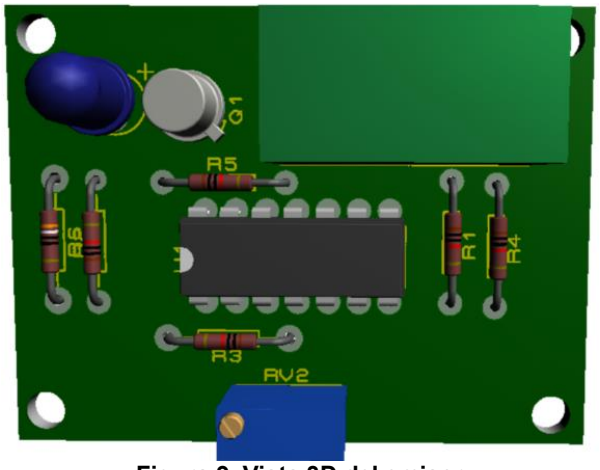


Figura 9. Vista 3D del emisor

 ISSN: 2007 8102

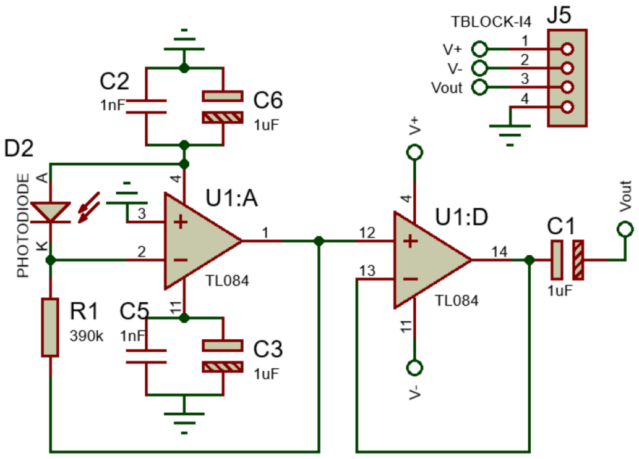


Figura 10. Diagrama esquemático del receptor

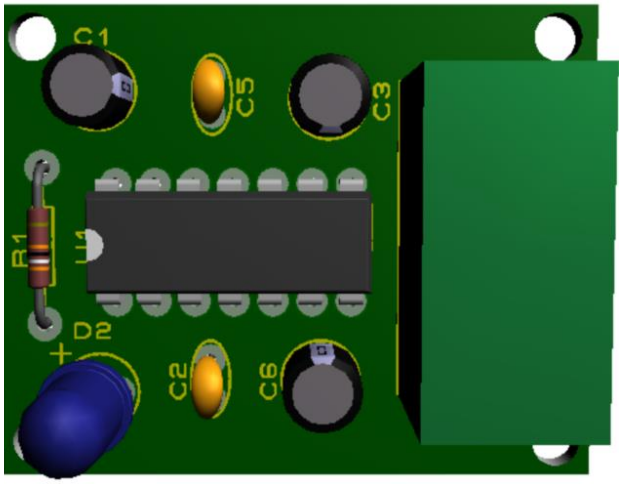


Figura 11. Vista 3D del receptor

La etapa de rectificación (Figura 12) es muy importante para que la señal pueda ser conducida a una interfaz y que el usuario observe un dato. De manera que se utiliza un rectificador de onda completa para conducir una corriente que sea manejable en placas electrónicas de hardware libre (ejemplo, Arduino).

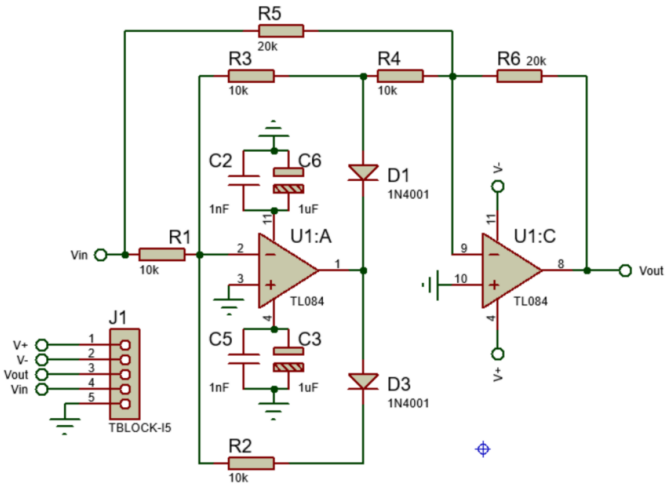


Figura 12. Diseño esquemático del circuito rectificador

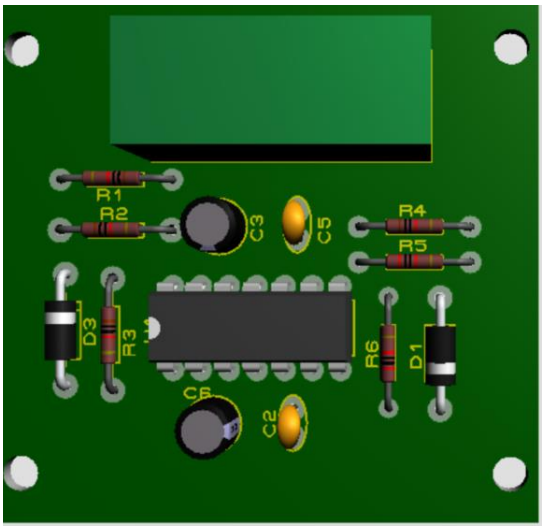


Figura 13. Vista 3D de la etapa rectificadora

Identificación de restricciones de diseño

En la etapa de manufactura se considera todo lo referente al ensamblado de las placas PCB, se deben ajustar los tamaños de acuerdo al enclosure, el tipo de orificio de montaje que se acople mejor a las necesidades y el tipo de montaje de los componentes (SMD o THT [10]), para realizar pruebas se considera utilizar de tipo throug hole ya que es más fácil al momento de soldar los componentes. Para complementar la nariz opto-electrónico se debe tomar como un conjunto denominado celda de medición, la cual se rige por el tipo de muestra a procesar, para primeras pruebas se puede utilizar un tubo de ensayo con sello hermético. Se propone el siguiente diseño para la celda de medición, con medidas aproximadas y contemplando las necesidades que se requieren (Figura 14).

 ISSN: 2007 8102

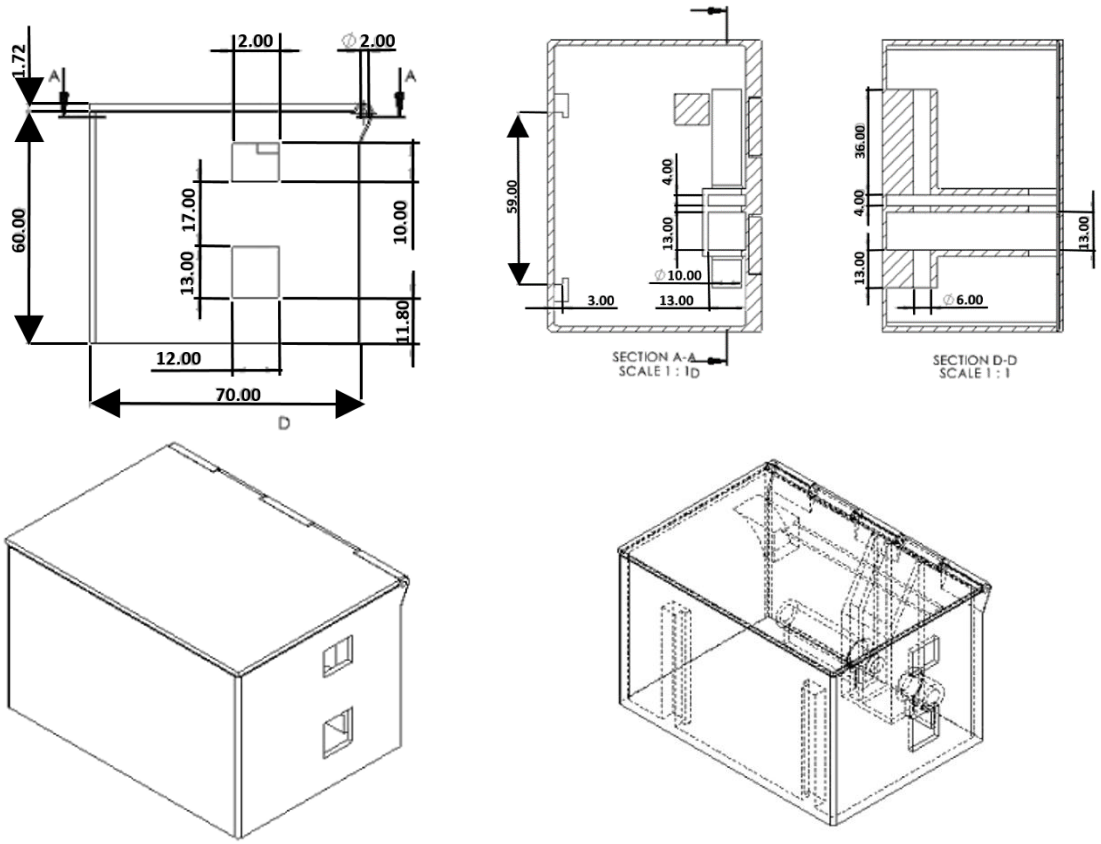


Figura 14. Propuesta de diseño de la celda de medición

Una de las consideraciones a tomar en cuenta es la incidencia de la luz externa sobre el circuito, dado que el receptor es un fotodiodo [11] con alta sensibilidad, se optó por colocar un canal que funciona como trayectoria del emisor al receptor. Véase en la Figura 15 un corte transversal de la celda, donde se indica la sección dónde se inserta el tubo de ensayo con la muestra y el canal que comunica la trayectoria emisor-receptor. En la vista superior (Figura 16) se puede observar desde otra perspectiva el diseño y el espacio donde se coloca la tarjeta de adquisición de datos (Arduino uno) y las muescas son de soporte para los circuitos electrónicos.

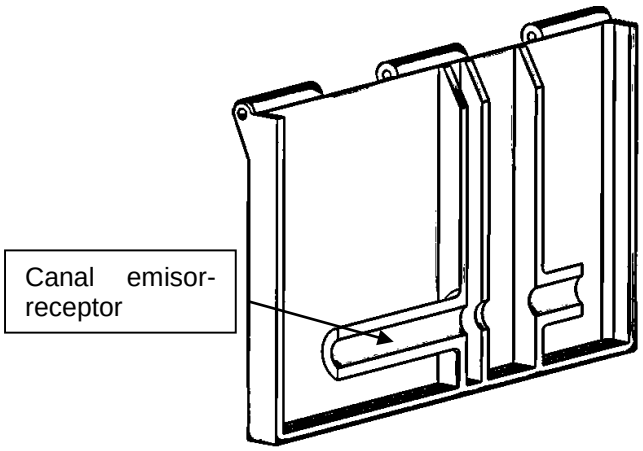


Figura 15. Vista transversal de la celda de medición

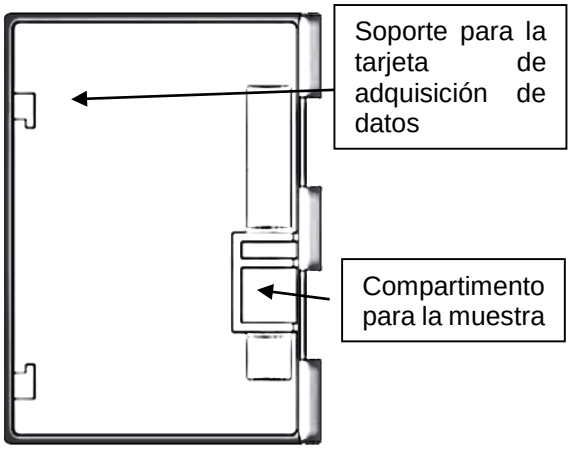


Figura 16. Vista superior sin tapa

 ISSN: 2007 8102

Una vez contemplado todos los parámetros y restricciones, se puede observar en la Figura 17 celda construida con filamento ABS o acrilonitrilo butadieno estireno, el acrilonitrilo le proporciona rigidez y resistencia química al material y el butadieno lo vuelve duro y utilizable a temperaturas bajas, por lo tanto, la obtención es una pieza ligera y resistente. Una vez ensamblada se realizaron las pruebas pertinentes para su funcionamiento óptimo. Dando como resultado una nariz opto-electrónica que asegura la obtención de la concentración de un gas específico, en este caso el emitido por las frutas climatéricas.

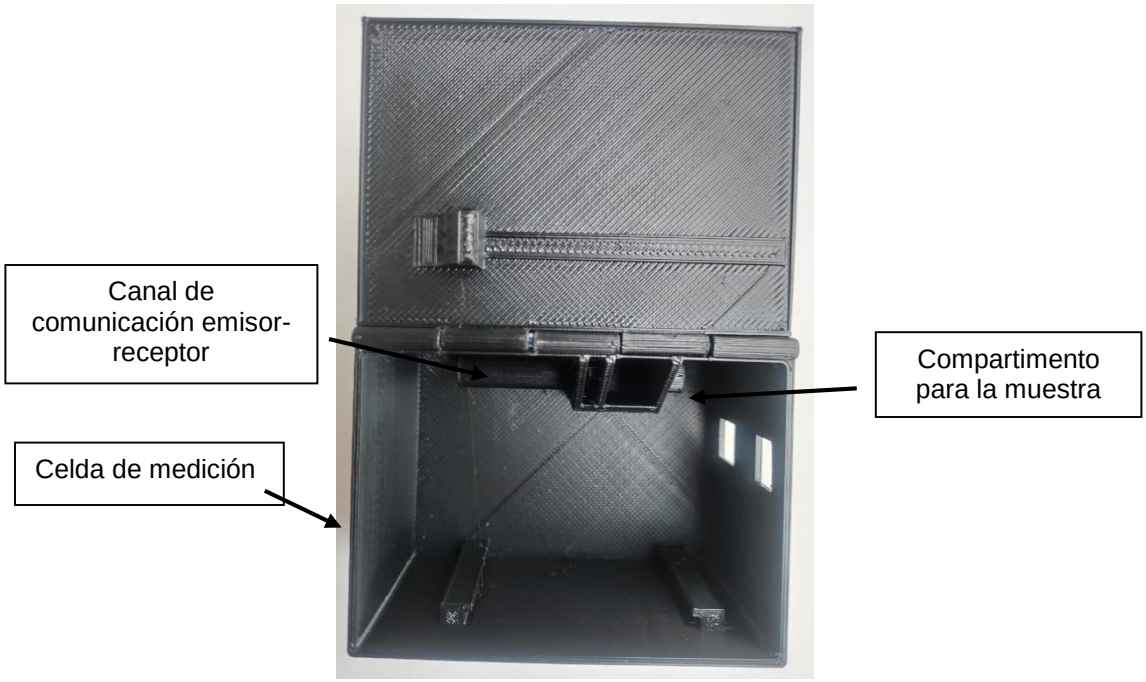


Figura 17. Impresión 3D de la celda

Trabajo a futuro

La nariz opto-electrónica puede ser modifica de acuerdo a la longitud de onda de la muestra a considerar, ya que cada especie biológica de fruto o verdura en general emite diferentes concentraciones de gases (C_2H_4, CO, CO_2). Para aplicarlo al invernadero vertical primero se debe conocer la especie a cosechar y realizar el procesamiento de muestras por espectrofotometría FTIR para seleccionar el LED adecuado.

Como ya se tiene una metodología a seguir este proceso resulta más sencillo, la propuesta aún puede estar sujeta a modificaciones dependiendo del lugar en donde se vaya a instalar, en este caso se necesita evaluar el invernadero vertical para reestructurar el diseño.

Conclusiones

La nariz opto-electrónica es una excelente opción para medir concentraciones en diferentes tipos de muestras, desde sólidos a líquidos o como lo es en este caso con muestras gaseosas, por lo cual puede ser aplicado a diferentes áreas de interés. La implementación de ella en un invernadero vertical, puede reducir o prolongar el tiempo en la maduración de lo que se desee cosechar, ya que monitoreando los niveles de gases emitidos (CO_2, CO Y C_2H_4) se pueden tomar decisiones que pueden acelerar el proceso para que una fruta o verdura esté lista para su consumo y que a su vez el invernadero vertical va orientado a la auto sustentabilidad alimenticia que es un área creciente de atención. Los datos obtenidos en el espectrofotómetro fundamentan el principio del sistema opto-electrónico ya que es el parte aguas para determinar la longitud de onda específica de la muestra y

 ISSN: 2007 8102

que limita las características de los componentes electrónicos que deben ser utilizados en el sistema y que además una vez manufacturada la nariz en su totalidad los resultados pueden ser comparados con los espectros y realizar una validez en la eficacia del sistema propuesto.

El diseño propuesto de la celda de medición toma en consideración las restricciones necesarias para que sea funcional en la etapa de pruebas, así como las restricciones de diseño de las placas PCB que deben ajustar con las medidas del diseño mecánico que aún puede estar sujeto a modificaciones.

Referencias

[1] J. C. Villalba, *Estudio de quelados de glicina mediante espectroscopía FTIR,* Españala: Universidad Politécnica de Cataluña, 2017.

[2] R. C. Quille, *Estudio de la nariz electrónica en la industria alimentaria,* Arequipa: Universidad Católica San Pablo, 2020.

[3] C. Gómez-Cotta, «Llegan los invernaderos verticales,» *ethic,* 29 Marzo 2019.

[4] U. d. Salamanca, *Optoelectrónica,* Salamanca: Universidad de Salamanca, 2022.

[5] INTAGRI, *El papel del etileno en la maduración de frutos,* México: INTAGRI, 2019.

[6] G. d. México, *Estudio para determinar el impacto económico de Foc R4T en México,* México: Gobierno de México; Senasica, Agricultura, 2021.

[7] M. S. Ballestero, Bananos III. Manejo poscosecha y comercialización, Costa Rica: Tecnología de Costa Rica, 2017.

[8] T. Scientific, «A tutorial on Spectral Resolution for the Nicolet iS5 FT-IT Spectrometer,» Thermo Fisher Scientific Inc, 2013.

[9] P. M. M. Cortez, *Análisis de los espectros de infrarrojo. En principios de aplicaciones de la espectroscopia de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas.,* Guadalajara: CIATEJ, 2022.

[10] Y. A. M. Gutiérrez, *Caracterización de PIN in hole en los modelos producidos de diversos clientes,* Guadalajara: Instituto Tecnológico de Colima, 2018.

[11] G. M. E. R. H. J. R. &. M. J. J. J. Molina, *Aplicaciones del fotodiodo OPT301 para la industria automotriz utilizando software libre y estudiantil,* Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 2023.

ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL

II1 **Diseño de un guante recolector de chícharo con tecnología de impresión 3D** II-03
Alejandra Cristhian Valdés Álvarez, Antonio Calderón Jiménez, Luis Alberto Hernández Sánchez, Caín Méndez Rivera y Rogelio Mora Guadalupe

II2 **Mejora del OEE en empresa de la región mediante herramientas de Lean Manufacturing** II-13
Norma Elizabeth Rodríguez Bustos, Adrián Agustín Ríos Barreto y María del Carmen Chacón Olivares.

II3 **Estudio de localización de un centro de distribución de hielo en el Estado de México** II-23
Carlos Manuel Pérez Ramírez

II4 **La sustentabilidad en la cadena de suministros – Una revisión bibliométrica** II-33
Jorge Luis García Alcaraz, Jorge Meza Jiménez, Miguel Escamilla López, Héctor Eduardo Cárdenas Velasco y Arturo Realyvásquez Vargas

II5 **Factores Críticos de Éxito para la Implementación Exitosa de Lean Six Sigma en Organizaciones Mexicanas** II-43
Jorge Limon-Romero, Jorge Luis Garcia-Alcaraz, Carlos Uriel Gastelum-Acosta, Yolanda Baez-Lopez y José Roberto Diaz-Reza

II6 **Mantenimiento Autónomo: implementación para la reducción del deterioro en equipos para fabricación de PVB** II-53
Nohema Pérez España, Lilia Araceli Bahena Medina, Miguel Ángel Gómez Vicario y Leslie Galván Franco.

II7 **Determinación de acciones prioritarias para mejorar tiempos de atención a clientes en empresa de servicios** II-63
Karen Valeria Cabrera Pérez, Fernando Ortiz Flores, Fernando Ortiz López, Ma. Eloisa Gurruchaga Rodríguez y Jorge Luís Hernández Mortera

II8 **Gemelos digitales en la industria 5.0: Una perspectiva contrastada a nivel de países Iberoamericanos** II-70
Clara Inés González Sotelo y Richard de Jesús Gil Herrera

II9 **Evaluación de la Resistencia a la Tensión en Bolsas de Polietileno Tipo Camiseta con Aditivos Oxobiodegradables** II-80
Miriam Silvia López Vigil, Eva Liliana Munguía Hernández, Héctor Santos Alvarado, Héctor Islas Torres y Lorena Santos Espinosa

II10 **Mejoras del Layout en el área de cocina del restaurante "PEPE'S" utilizando la metodología "8D".** II-90
Mara Cristina Guzmán Mota, Delia del Carmen Gamboa Olivares, Dafne Michel García García, Manuel Rivera Moreno y Karina Gómez Cantarell

II11 **Triz & Seis Sigma: Innovación estructurada para incentivar la productividad en la industria quesera** II-100
Nancy Tass Salinas, Andrea Colunga Guevara, Bella Rangel Salazar y Cristal Anahí Suárez Padilla

II12 **Propuesta De Un Programa De Seguridad E Higiene Laboral En La Construcción Comercial** II-111
Elda Iliana Caldelas González, Oliveth Guadalupe Barajas Castañeda, Oscar Pérez Arellano y Mónica Lizzeth Hernández Lagunes

II13 **Evaluación ergonómica en panaderías artesanales mediante el cuestionario Quick Exposure Check (QEC) y el Diagrama de Corlett y Bishop (BPD)** II-121
Gaudencio Antonio Benito, Bernardino Ávila Martínez, Yoana Diaz Castillo y Eduardo Franco Austria

II14 **Implementación de herramientas Lean Manufacturing en el área de corte de una Maquiladora textil** II-131
José Ángel Hernández Ramos, Luis Alberto Hernández Sánchez, Antonio Calderón Jiménez, Alejandra Cristhian Valdés Álvarez y Caín Méndez Rivera

II15 **Aplicación de pronósticos y MRP al proceso de Servicios de mantenimiento a Locomotoras** II-141
Viridiana Sánchez Vázquez, Juan Alberto Hernández Morales y Magdalena Hernández Cortez

II16 **Optimización de logística de transporte a través del método "secuencia de rutas" y una Power App.** II-151
S. J. Santaman Montoya, M.E. Maceda Rodríguez, R. López Arroyo, F.H. Fontes Medina y M.G. Aguilar Uscanga

II17 **Implementación de seis sigma transaccional para reducir desfases de tiempos en una empresa de software** II-160
Farid Alfredo Bielma López, María del Socorro Flores Serrano, Liliana Fuentes Rosas y Lucila Guadalupe Tobón Galicia

II18 **Optimización de mano de obra directa aplicando la metodología DMAIC** II-170
María Merced Cruz Rentería, Rosa Hilda Félix Jácquez, Ma. Dolores Delgado Celis y Teresa de Jesús Muñoz Robles

II19 **Diseño de rutas para la recolección de RSU en un municipio del estado de Veracruz** II-180
Lucila Guadalupe Tobón Galicia, Gabriel Sánchez Martínez, Liliana Fuentes Rosas y Linda García Rodríguez

II20 **Implementación de metodología 5'S en área de producción en una empresa galletera** II-190
Filemón Carreño Reyna, Lorena Santos Espinosa, Julio César Cruz Trujillo y Miriam Silvia López Vigil

ISSN: 2007 8102

Diseño de un guante recolector de chícharo con tecnología de impresión 3D

A.C. Valdés Álvarez[1], A. Calderón Jiménez [1], L. A. Hernández Sánchez[1], C. Méndez Rivera[1], R. Mora Guadalupe[1]*
[1]Tecnológico Nacional de México/ ITS de Ciudad Serdán, Av. Instituto, Av. Tecnológico S/N, Col la Gloria, Cd Serdán Puebla, México, C.P 75520,
**acalderon@cdserdan.tecnm.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Industrial*

Resumen

En la agricultura actual, el esfuerzo físico requerido para la siembra y la cosecha representa un desafío significativo. Aunque existen tecnologías de recolección disponibles, su alto costo limita su adopción, lo que lleva a los agricultores a depender de métodos tradicionales. Esto implica trabajo manual extenuante para los agricultores, resultando en fatiga y dificultad para cumplir con las metas de producción. Los cultivos, como el chícharo, a menudo sufren pérdidas debido a la falta de cosecha, lo que afecta la economía de los agricultores. Para abordar este problema, se propone el diseño de un guante cortador fabricado con tecnología de impresión 3D. Los resultados mostraron una reducción del 21% en el tiempo de cosecha, una disminución del 15% en lesiones, y un 13% de mejora en la recolección de chícharo de alta calidad.

***Palabras clave**: Agricultores, fatiga, impresión 3D, guante.*

Abstract

In today's agriculture, the physical effort required for planting and harvesting represents a significant challenge. Although harvesting technologies are available, their high cost limits their adoption, leading farmers to rely on traditional methods. This involves strenuous manual labor for farmers, resulting in fatigue and difficulty meeting production goals. Crops, such as peas, often suffer losses due to lack of harvest, which affects the economy of farmers. To address this problem, the design of a cutter glove manufactured with 3D printing technology is proposed. The results showed a 21% reduction in harvest time, a 15% decrease in injuries, and a 13% improvement in harvesting high-quality peas.

***Key words**: Farmers, fatigue, 3D printing, glove*

Introducción

En la sociedad contemporánea, el sector agrícola desempeña un papel de vital importancia, ya que constituye una fuente fundamental de ingresos para diversos grupos de la población, desde los dedicados a la labranza de la tierra hasta los consumidores finales. Estos actores desempeñan un rol directo en el desarrollo económico del país, brindando alimentos y recursos básicos. La región enfrenta desafíos tanto de corto plazo, ligados a la desaceleración económica y sus impactos sobre el bienestar y la solidez de los presupuestos estatales, como de largo plazo, en cuanto a la necesidad de asegurar el desarrollo económico, aprovechando el potencial de la región como proveedora de alimentos, pero atendiendo la conservación de los recursos naturales [1].

La baja en la producción agrícola es consecuencia de múltiples factores, entre los que destacan, por su interés para investigación, los bajos rendimientos agrícolas promedio, la inadecuada asimilación de tecnologías, deficiencias en el proceso de difusión de innovaciones técnicas y una grave desarticulación del sector primario con respecto a la cadena agroindustrial [2]. Si bien existen tecnologías innovadoras disponibles para mejorar la eficiencia de la recolección de cultivos, su adquisición suele ser prohibitivamente costosa, lo que lleva a los agricultores a depender en gran medida de métodos tradicionales de recolección.

Esto implica que los agricultores deban realizar manualmente la ardua tarea de recolectar los cultivos, lo cual genera un agotamiento físico considerable y, lamentablemente, con frecuencia resulta en una incapacidad para alcanzar las metas de producción deseadas. Las consecuencias de no lograr cumplir con los objetivos de producción son significativas, ya que pueden traducirse en la pérdida de frutos no cosechados y en una

disminución generalizada de la productividad agrícola. Además, en muchas ocasiones, los agricultores se ven desfavorecidos al recibir bajos ingresos por su labor cuando no poseen las habilidades requeridas para la recolección eficiente. Un cultivo que ejemplifica claramente los desafíos mencionados es el chícharo, donde se han evidenciado dificultades en su recolección debido a los factores mencionados.

Las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) han permeado casi todos los procesos de la vida de las personas; por su parte, la agricultura ha experimentado de manera similar esta evolución. Las TIC se han convertido en un actor indispensable en los modelos de negocios de los agricultores y esto ha permitido el aumento de la inserción de desarrollos tecnológicos en los procesos de agricultura. Adicional, la globalización ha llevado a que los agricultores se vean obligados a utilizar tecnologías en sus cultivos para aumentar la eficiencia y poder disminuir costos de producción [3].

En vista de esta problemática, se ha planteado una solución innovadora: el diseño y la fabricación de un guante cortador utilizando tecnología de impresión 3D. Esta propuesta tiene como objetivo brindar apoyo a los agricultores encargados de recolectar los guisantes, permitiéndoles aumentar la eficiencia de sus operaciones de corte sin poner en riesgo su integridad física. Al implementar este guante cortador, se logró un impacto positivo en la economía de los agricultores, al permitirles alcanzar sus metas de producción de manera más efectiva y reducir las pérdidas causadas por la falta de cosecha.

Metodología

Estado del arte y tipo de investigación:

Se realizó una búsqueda minuciosa de los diseños, modelos, prototipos, herramientas y artilugios en general, asociados a la propuesta que se pretende desarrollar, contemplando el tipo de investigación, de esta forma, concientizar acerca de la originalidad y áreas de oportunidad para la puesta en marcha del proyecto, a continuación, se muestra en resumen lo encontrado relacionado con el tema.

- Cosechadora de chícharo: Son máquinas especializadas diseñadas para recolectar de manera eficiente los chícharos de los cultivos. Estas cosechadoras pueden realizar el corte de los tallos y separar los chícharos de las vainas de manera automática [4].
- Tijeras de cosecha: Son herramientas manuales que permiten cortar los tallos de los chícharos de forma precisa. Estas tijeras suelen tener cuchillas afiladas y mangos ergonómicos para facilitar el proceso de recolección [5].
- Cestas de recolección: Son recipientes utilizados para almacenar y transportar los chícharos recolectados. Estas cestas suelen ser de mimbre o plástico resistente, y están diseñadas para facilitar la ventilación y evitar daños en los chícharos durante el transporte, actualmente en la región de estudio utilizan botes de plásticos o cubetas para solventar la recolección [6].
- Máquinas de cribado: Una vez recolectados, los chícharos pueden pasar por máquinas de cribado para separar impurezas y clasificarlos según su tamaño. Estas máquinas utilizan tamices y sistemas de vibración para realizar el proceso de separación, cabe mencionar que la zona no utiliza máquinas de cribado [6].

Identificar las necesidades del cliente

El primer paso para detectar las necesidades del cliente fue la obtención de una muestra, con la cual, se obtuvo información relevante para el estudio. Para obtener el tamaño ideal de la muestra, se utilizó la siguiente formula [7]:

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

Donde:

N = tamaño del universo a estudiar.
σ = desviación estándar de la población.
Z = valor que se obtiene a través de niveles de confianza.

e = es el límite de error muestral admisible.

Datos:

N = 2560 personas (según INEGI 2020)
σ = 122
Z = 1.96
e = 1.8

Al sustituir se obtiene:

$$:\frac{1.96^2 * 122 * 2560}{1.8^2(2560-1)+1.96^2 * 122} = \frac{3.84 * 122 * 2560}{3.24(2559)+3.84 * 122} = \frac{1199308}{8759} = 136.92 = 136$$

Se realizaron encuestas a 136 personas productoras agrícolas, lo cual, permitió conocer las necesidades que se presentan en el momento de sembrar y cosechar dando como resultado lo siguiente tomando en cuenta las preguntas con mayor relevancia:

Se les preguntó ¿cuál era lo más importante para su siembra y su cosecha?, dando como resultado:

- Riego y gestión del agua 30%
- Semillas 20%
- Fertilizantes 10%
- Maquinaria 40 %

Se les preguntó de igual manera ¿Cuál era la parte más importante de toda su cadena de producción?

- Cosecha 60%
- Siembra 30%
- Control 10%

Se les preguntó abiertamente ¿Cuál es el problema en el momento de cosechar?

- Dando como resultado unánime de la existencia de problemas de recolección y complejidad de la tarea (Esta pregunta fue sintetizada), además, de que no llegan a cubrir la totalidad del cultivo por el tiempo y la velocidad del corte del agricultor, trayendo como consecuencias una reducción de la producción esperada con la real cortada.

Dado el resultado se puede inferir que la cosecha es el factor con mayor relevancia para los agricultores, es de aquí donde surge la idea de un guante recolector de chícharo.

Conocer el proceso de cosecha:

Se llevó a cabo una investigación de campo para identificar los diversos procesos de cosecha de chícharo, los cuales, se presentan a continuación [6].

- Determinación de la madurez: Antes de la cosecha, se realiza una inspección para determinar si los chícharos han alcanzado la madurez adecuada para su recolección. Esto se hace verificando el tamaño, el color y la consistencia de las vainas de chícharo.
- Preparación de equipos: Se preparan los equipos y las herramientas necesarias para la cosecha, como cestas, cajas o contenedores para recolectar los chícharos.
- Corte de las vainas: Se cortan las vainas de chícharo de las plantas utilizando las manos. Las vainas se cortan cerca de la planta para evitar dañar las semillas y asegurar una recolección eficiente.
- Recolección de las vainas: Las vainas de chícharo cortadas se recolectan y se depositan en los contenedores o cestas preparados. Es importante manipular las vainas con cuidado para evitar dañar las semillas y preservar su calidad.
- Venta: Los chícharos se venden con diversos clientes, según la conveniencia del recolector.

Diagnóstico:

De acuerdo a la información recabada tomando en cuenta la pregunta sintetizada de la entrevista anteriormente mencionada se puede considerar lo siguiente:

- Los agricultores están preocupados en el corte del chícharo debido a que no cumplen con sus expectativas de producción.
- El corte de chícharo actualmente se realiza de manera manual.
- Actualmente la ganancia de los agricultores se basa en la calidad del corte del chícharo.

Proponer alternativas de diseño:

Para la propuesta de alternativas, se tomaron en cuenta principios de ergonomía, la cual, se define como el estudio científico de las relaciones entre el hombre y su medio ambiente laboral" [8]. Mientras que David Oborne menciona: "La labor de la ergonomía es primero determinar las capacidades del operario y después intentar construir un sistema de trabajo en el que se basen estas capacidades".

En el diseño de las alternativas se proponen diferentes prototipos que cubren las necesidades que presentan los agricultores, dada la revisión previa de metodologías de diseño.

Para ello principalmente se realizó un muestreo de mediciones antropométricas de las manos de los cortadores y cortadoras tomando en cuenta los siguientes elementos de medición.

1. Tamaño de los dedos: el cual fue medido desde el término de la palma hasta el final de los dedos
2. Puño: Tomando en cuenta la medida con el puño cerrado.
3. Palma: tomando las medidas en la parte media, alta y baja de la palma.
4. Pulgar: tomando en cuenta el largo y el ancho del mismo.
5. Índice: tomando en cuenta el largo y el ancho del mismo.

Esto dio como resultado lo necesario para poder comenzar con los diseños preliminares, donde los factores que se evaluaron son los siguientes:

- **Durabilidad:** Debe ser resistente y duradero para soportar el uso repetido en el campo sin rasgarse ni desgarrarse fácilmente.
- **Agarre:** Debería proporcionar un buen agarre para que los recolectores puedan agarrar los chícharos con facilidad y precisión.
- **Flexibilidad:** Debe ser lo suficientemente flexible para permitir movimientos de la mano y los dedos con comodidad, lo que facilita la recolección.
- **Transpirabilidad:** Debe permitir la transpiración de la mano para evitar la acumulación de humedad y sudor, lo que podría ser incómodo durante jornadas largas en el campo.
- **Ajuste adecuado:** Debe estar diseñado para ajustarse de manera segura a la mano del recolector, evitando que se caiga o se deslice durante el trabajo.
- **Resistencia a los elementos:** Debería ser resistente al agua y a la humedad, ya que la recolección de chícharos puede realizarse en condiciones húmedas o después de la lluvia.
- **Facilidad de limpieza:** Debe ser fácil de limpiar, ya que los chícharos pueden dejar residuos en el guante después de la recolección.
- **Protección contra espinas o elementos afilados:** Debe ofrecer cierta protección contra espinas u objetos afilados que puedan estar en el campo y que podrían lastimar las manos del recolector.
- **Material adecuado:** El material del guante debe ser adecuado para la recolección de chícharos, generalmente un material resistente pero suave que no dañe los chícharos.
- **Facilidad de uso:** Debe ser fácil de poner y quitar, lo que ahorra tiempo al recolector.
- **Tamaño variado:** Debería estar disponible en diferentes tallas para adaptarse a las manos de distintos recolectores.
- **Ergonomía:** Debería estar diseñado ergonómicamente para minimizar la fatiga de la mano y mejorar la eficiencia en la recolección.

En resumen, la propuesta presentada tiene como objetivo abordar una serie de necesidades relacionadas con la recolección de chícharo. Al cumplir con estos puntos clave, se logrará un impacto positivo en diferentes niveles, desde el aumento de la producción hasta la protección de los recolectores y el impulso socioeconómico en general.

Tomando en cuenta lo anterior se sintetizó a dos propuestas, donde: un guante cubra por completo la mano y otro donde sólo involucre los dedos de acción de corte, ambos guantes con adaptación de plástico tipo PLA en con una uña sin agarre y otra con agarre adaptándolo al guante, como se muestra en la Figura 1, es importante mencionar que el diseño del guante se centró principalmente en el pulgar y es justamente donde entra la impresión 3D.

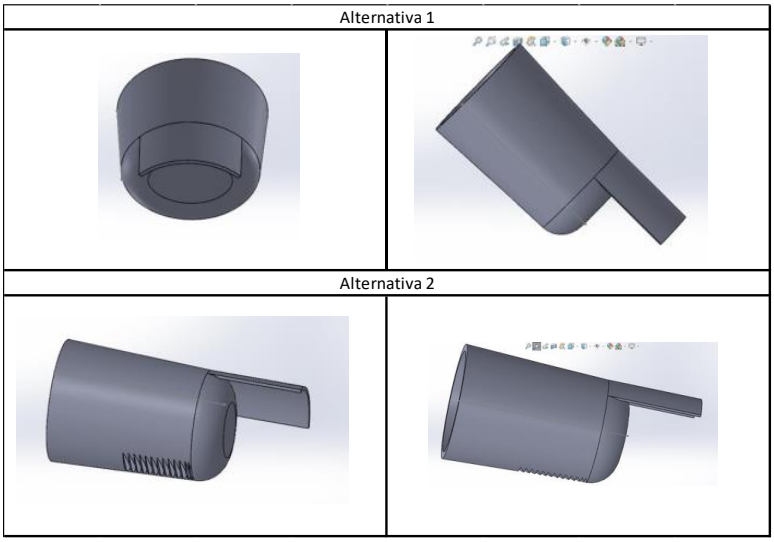


Figura 1. Alternativas

Seleccionar una de las alternativas de diseño:

Para selección de la alternativa se optó por realizar un método por puntos ponderando las características técnicas requeridas por el agricultor (mencionadas en el punto anterior).

Para ello las alternativas de selección fueron:

A. Un guante que cubra por completo la mano
B. Un guante que cubra la palma y los dedos: pulgar índice y medio.

Quedando como resultado por mayor puntaje la opción B.

Diseño de prototipo:

Se realizaron diferentes modelados del prototipo en un software CAD (SolidWorks), empleando diversas técnicas de diseño para materializar la propuesta seleccionada. Al analizar la Figura 2, se puede apreciar claramente la cuidadosa elección del cubrimiento de la mano. En esta etapa, se ha prestado especial atención a los detalles, considerando la ergonomía y la funcionalidad del producto, el diseño sólo cubre los dedos pulgar índice y medio.

Es importante mencionar que, durante el proceso de modelado en el software CAD, se han considerado diferentes variables, como las dimensiones adecuadas para adaptarse a la anatomía de la mano, la resistencia del material seleccionado y la viabilidad de fabricación del prototipo. Se ha buscado alcanzar un equilibrio óptimo entre diseño, funcionalidad y factibilidad técnica.

ISSN: 2007 8102

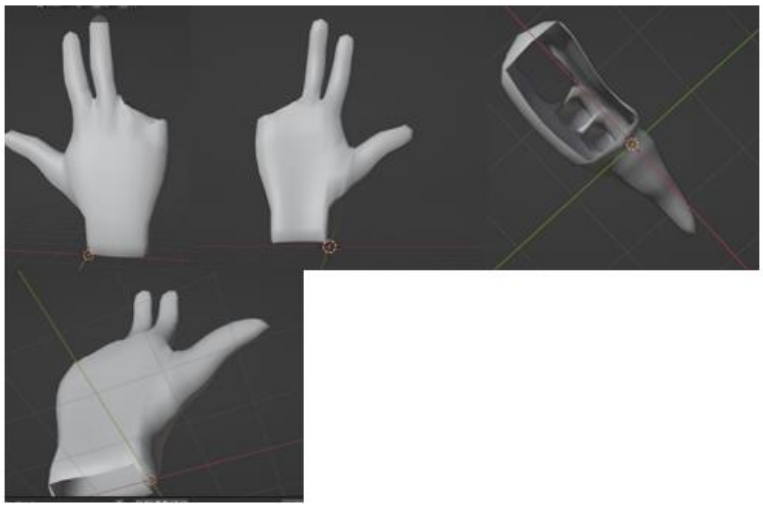


Figura 2. Diseño de guante seleccionado

En resumen, el diseño del guante combina características como las muescas de agarre en el dedo pulgar y la uña extendida, con el objetivo de optimizar el proceso de cosecha de chícharos como se muestra en la Figura 3. Con este enfoque ergonómico y versátil, se busca brindar a los agricultores una herramienta eficiente y cómoda para realizar su trabajo, mejorando así la productividad en el campo.

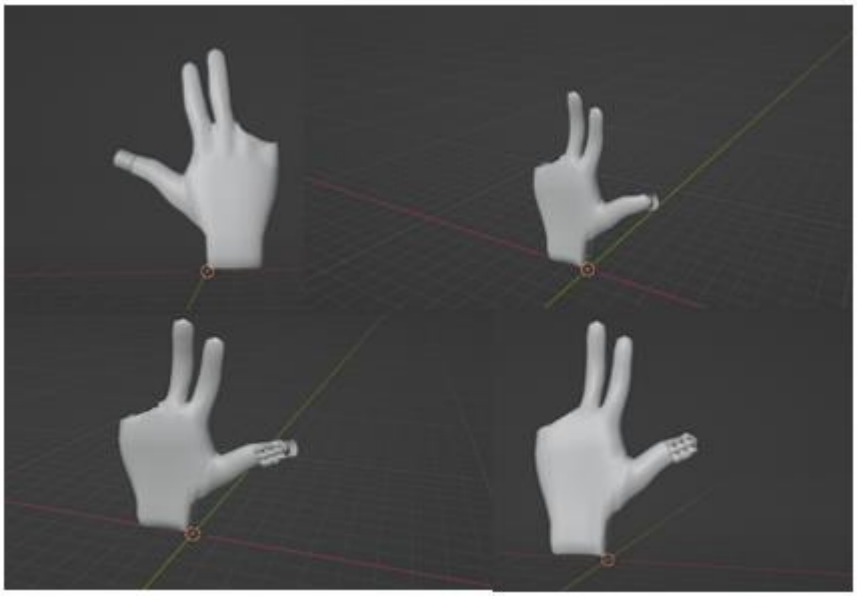


Figura 3. Diseño de guante seleccionado con muestras

El material seleccionado para la impresión 3D fue de Tipo PLA con un rango de fundición para el extrusor de 190° a 220° especificadas por el fabricante y una temperatura en cama de 60°, para la impresión se utilizó una impresora Ender 3 V2. En la Figura 4 se muestra los inicios de impresión y sus resultados.

ISSN: 2007 8102

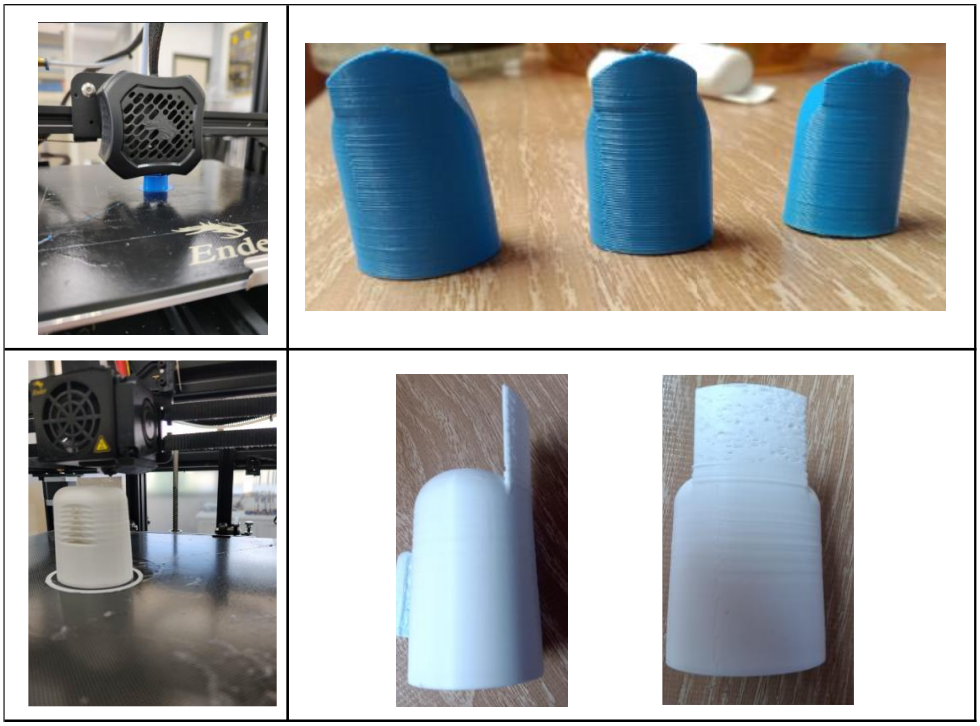


Figura 4. Impresión 3D

Resultados y discusión

Primeros resultados

Se obtuvieron los modelos finales del guante, y de manera provisional se llevaron al campo para poder determinar el grado de aceptación del mismo. Por lo anterior se realizó una nueva encuesta de satisfacción después del uso. Obteniéndose los siguientes resultados.

- El 100% de las personas NO usan dispositivos o herramientas para la cosecha del chícharo.
- El 92 % de las personas entrevistadas presentan lesiones o malestares en el cuerpo después de realizar la cosecha del chícharo.
- Las lesiones y malestares se presentan en: 40% en los dedos de las manos, 25 % en la palma de la mano y 20% en las muñecas de las manos y 15% en la espalda.
- El tiempo promedio del malestar dura entre 6 y 8 horas, siendo el de los dedos de la mano y la muñeca los de mayor duración.
- La intensidad del dolor se cuantifico en una escala del 1 al 5, siendo 1 menor intensidad y 5 de mayor intensidad, donde las personas en promedio manifiestan en una escala del 4 el 35% y en la del 5 el 65%.
- En la actividad de la cosecha del chícharo el 60 % de las personas que cortan son mujeres que rondan entre los 12 y 75 años de edad y el 40% son hombres entre 22 y 64 años de edad.
- El 90% manifiesta que han observado una disminución de sus capacidades diarias por las actividades de cosecha de chícharo, por lo cual, saben de los riesgos a la salud que se tienen, pero todo lo justifican con su necesidad económica y que esto ha sucedido por generaciones en sus núcleos familiares.

Segundos resultados

Se realizaron pruebas de corte chícharo con el prototipo final, capacitando a las personas en su uso, cabe mencionar que dichas pruebas se aplicaron a una cuadrilla de 16 personas de Santa Cruz Texmalaquilla Municipio de Atzizintla Puebla, quienes accedieron a dicho experimento, los resultados fueron los siguientes:

- Se realizó el proceso de cosecha de chícharo con el guante, obteniéndose una reducción del 21% del tiempo final de la jornada.
- Se propusieron movimientos de calentamiento antes de la jornada laboral.
- Se presentó la reducción de las lesiones o malestares en un 15%, en las primeras tres semanas de uso.
- Se realizaron las pruebas en la región de texmalaquilla y en barrio, que son zonas aledañas a Ciudad Serdán.
- Se generó un seguimiento médico de las personas con la finalidad de detectar en su momento enfermedades en desarrollo.
- Se dieron pláticas sobre el riesgo y enfermedades de trabajo que se tienen en la cosecha de los campos mexicanos.
- Se mejoró en un 13% la recolección de chícharo de primera, es decir, el corte fue más definido, no se maltrató la vaina y para los trabajadores se les dio un mejor pago por este, por lo cual, los ingresos económicos de las personas mejoraron significativamente.
- Se solicitó una mejora en el diseño impreso dando como resultado lo presentado en la Figura 5.

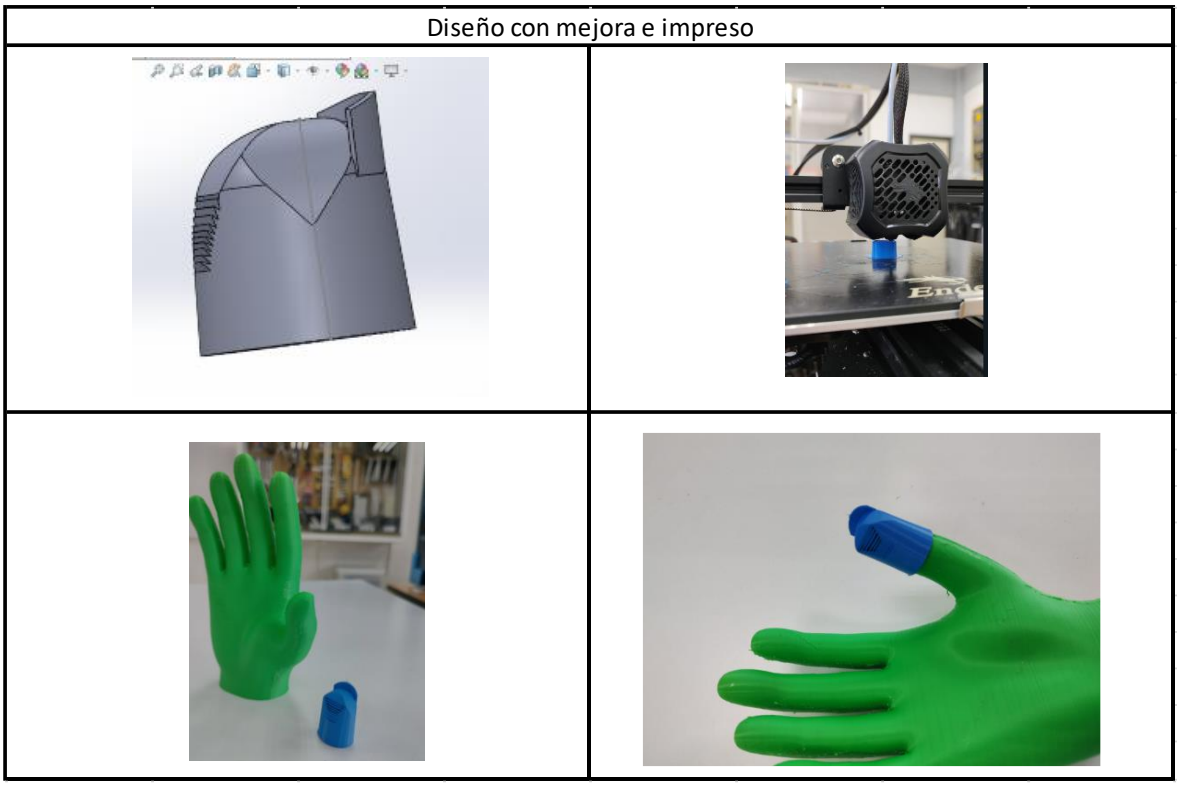


Figura 5. Diseño con mejora e impreso en 3D

Terceros resultados

Se presentó en las personas estudios sobre la tendencia del desarrollo del síndrome de túnel carpiano, dado que las personas en un 44% presentan pérdida de la fuerza en la mano, dado que para la actividad se requiere detalle, y aunque no se tenga un peso significativo de manera individual de una vaina, pero se cargan aproximadamente entre 20 y 23 kilos por persona.

Así mismo, se encontró que el 26% de las personas tienen malestar o dolor cuando realizan movimiento en las muñecas o dedos, fuera de su actividad o jornada laboral, y al ser uno de los síntomas principales de tendinitis, se debe de estudiar más profundamente.

Por todo lo anterior se debe encontraron indicios de dos posibles enfermedades que se están generando derivado de las actividades de cosecha de chícharo.

Trabajo a futuro

En cuanto al trabajo futuro, uno de los objetivos principales será abordar la mejora solicitada, que implica la optimización de la ergonomía del diseño actual. Esta solicitud proviene de la necesidad de garantizar la comodidad y la eficiencia en la interacción con el producto. Además, es esencial destacar que la impresión del diseño en PLA fue utilizando una impresora 3D de filamento, resultó en una estructura mucho más robustas de lo previsto dado a las limitaciones de la impresora Ender 3 V2.

En vista de esta caracteriza, en el próximo estudio se empleará una impresora de resina. Esta elección se basa en la intención de refinar aún más el diseño, buscando lograr una apariencia más delgada y estilizada, sin comprometer la durabilidad y la calidad del producto. La tecnología de impresión en resina nos permitirá explorar nuevas posibilidades de diseño y material, lo que seguramente contribuirá a alcanzar nuestros objetivos de mejora de manera más efectiva.

Conclusiones

El desarrollo y la implementación de un guante cortador fabricado con tecnología de impresión 3D tienen el potencial de revolucionar la recolección de cultivos como el chícharo. Este guante innovador no sólo reduce la fatiga física y el desgaste experimentado por los campesinos durante la cosecha, sino que también aumenta significativamente la eficiencia y la productividad en el campo.

Al utilizar la impresión 3D para fabricar el guante cortador, se logran diseños ergonómicos personalizados que se adaptan perfectamente a la mano de cada usuario. Esto garantiza una mayor comodidad y facilidad de movimiento, permitiendo a los campesinos realizar sus tareas de manera más eficiente y sin el riesgo de lesiones o agotamiento. Además, la ligereza y flexibilidad del material utilizado en la impresión 3D permiten un mejor control y precisión al cortar los chícharos, asegurando que se realice de manera óptima y evitando daños innecesarios a los cultivos, como lo muestra los resultados anteriormente mencionados.

Además, la introducción de esta tecnología en la agricultura tiene un impacto significativo en la economía de los agricultores. Al mejorar la eficiencia en la recolección, se logran mayores volúmenes de chícharos cosechados en menos tiempo. Esto no sólo aumenta los ingresos de los campesinos, sino que también reduce la pérdida de cultivos debido a retrasos en la cosecha. Al tener la capacidad de cumplir con las metas de producción, los agricultores pueden satisfacer la demanda del mercado y garantizar la entrega oportuna de sus productos, lo que genera mayores oportunidades de negocio y una posición más sólida en la cadena alimentaria.

Por otro lado, el uso de tecnología de impresión 3D en la fabricación del guante cortador abarata los costos en comparación con las tecnologías existentes en el mercado. Esto abre la puerta a una mayor accesibilidad para los agricultores, evitando así la necesidad de recurrir a métodos tradicionales que resultan en una menor eficiencia y mayores dificultades físicas.

En resumen, la implementación de un guante cortador fabricado con tecnología de impresión 3D representa una solución innovadora y prometedora para los problemas actuales en el campo. Este enfoque mejora la eficiencia y la productividad en la recolección de cultivos como el chícharo, al tiempo que protege la integridad física de los campesinos. Además, proporciona beneficios económicos tanto a nivel individual para los agricultores, como a nivel macroeconómico para el desarrollo y crecimiento del sector agrícola.

Agradecimientos

Al departamento de investigación del Tecnológico Nacional de México, campus Ciudad Serdán por su invaluable apoyo e impulso.
A los campesinos que brindaron su tiempo y disposición para este trabajo.

ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] M. Araya y C. L. Quesada, erspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe, México: IICA, 2009.

[2] R. E. López, M. C. Valle y J. L. Solleiro, El cambio tecnológico en la agricultura y las agroindustrias en México: propuesta para una nueva dinámica en la actividad productiva, México: Siglo XXI, 1996.

[3] F. A. Simaca, J. A. Páez, E. C. Díaz y J. V. Palacio, La agricultura de precisión y herramientas TIC de apoyo, Colombia: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia, 2023.

[4] OXBO, «OXBO,» 23 Abril 2023. [En línea]. Available: https://oxbo.com/es/products/oxbo-epd540e/. [Último acceso: 2023 Abril 2023].

[5] «Sembralia,» 2021 01 2021. [En línea]. Available: https://sembralia.com/blogs/blog/tijeras-de-podar. [Último acceso: 26 04 2023].

[6] C. S. C. Texmalaquilla, Interviewee, *Chicaro y recolección.* [Entrevista]. 22 11 2022.

[7] M. R. Spiegel y L. J. Stephens, Estadística., México: Mc Graw-Hill, 2009.

[8] M. K, Ergonomía. Hombre en su ambiente de trabajo, Reino Unido: Chapman and Hall , 1965.

ISSN: 2007 8102

Mejora del OEE en empresa de la región mediante herramientas de Lean Manufacturing

Norma Elizabeth Rodríguez Bustos[1], Adrián Agustín Ríos Barreto[2], María del Carmen Chacón Olivares[3]*
[1]TecNM-Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, norma.rb@irapuato.tecnm.mx, [2]TecNM-Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, adrian.rb@irapuato.tecnm.mx, [3]TecNM-Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, mariadelcarmen.co@irapuato.tecnm.mx
***Área de participación**: Ingeniería Industrial*

Resumen

En esta investigación se implementa el VSM (*Value Stream Mapping*) y el trabajo estandarizado, para el incremento de la efectividad global de los equipos (OEE, *Overall Equipment Effectiveness*) en el proceso de maquinado de chavetas en una empresa de la región. El trabajo se divide en dos fases, la primera es el diagnóstico del proceso, en el cual se realiza el diagrama de flujo, la toma de tiempos, el diagrama Ishikawa y el cálculo del OEE actual del proceso, de los cuales todos se encuentran por debajo de un 65%, y finalmente se realizó el mapeo del proceso actual "VSM". En la segunda fase se realizó la estandarización del proceso con la implementación de la "HTE" (hoja de trabajo estandarizada), logrando que las actividades se desarrollen de una manera consistente. Estas herramientas de *Lean Manufacturing* permitieron optimizar el proceso aumentando el OEE a más del 70%.

***Palabras clave**: VSM, OEE, estandarización, reducción de tiempos.*

Abstract

In this research, the VSM and the standardized work are implemented, for the increase of the overall effectiveness of the equipment (OEE, Overall Equipment Effectiveness) in the process of machining of keyholes in a company in the region. The work is divided into two phases, the first is the diagnosis of the process, in which the flow diagram is made, the time taking, the Ishikawa diagram and the calculation of the current OEE of the process, of which all are below 65%, below a level 3 and finally the mapping of the current "VSM" process was carried out. In the second phase, the process was standardized with the implementation of the "HTE" (standardized worksheet), ensuring that the activities are developed in a consistent manner. These lean manufacturing tools allowed optimizing the process increasing the OEE to more than 70%.

***Key words**: VSM, OEE, standardization, time reduction.*

Introducción

El presente trabajo muestra el análisis de las principales variables que afectan la efectividad de los equipos en el proceso de maquinados para la fabricación de chavetas y la solución de problemas aplicando las herramientas *Lean Manufacturing.*
Este trabajo se centra en los efectos al aplicar las herramientas como el trabajo estandarizado, diagrama de Ishikawa y el VSM, en las distintas variables que afectan al proceso de maquinados como lo es el cambio constante en los métodos de trabajo, tiempos, transportes y cambios de herramental, con el fin de aumentar el OEE en [1].
Se identificaron los beneficios al aplicar las herramientas de *Lean Manufacturing* como es el aumento de la efectividad, actividades estandarizadas, reducción de tiempos, y una mejor organización en las herramientas a utilizar en las máquinas de torno y fresadora.
Se realizó el cálculo de OEE actual ya con los datos obtenidos con la implementación de las herramientas antes mencionadas, así como el VSM del proceso actual donde se puede observar el mapeo de valor del proceso.

Metodología DMAIC

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 1, las etapas que se siguieron en el proyecto fueron: Definir, medir, analizar, mejorar y controlar; mismas que integran la metodología DMAIC en [2].

 ISSN: 2007 8102

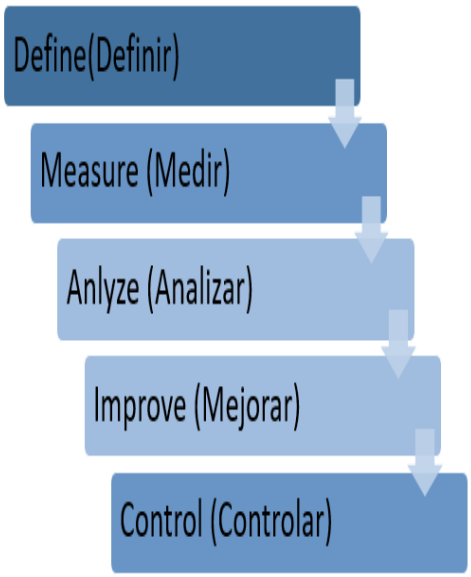


Figura 1. Metodología DMAIC.

Definir
En esta etapa se define de manera clara el problema identificado desde el principio del proyecto, el cual es el aumento de la productividad en el área de maquinados de la empresa que se ve afectado por diversos factores como lo es el re-trabajo, los movimientos innecesarios, transporte del personal de una estación de trabajo a otra y el retraso de la cotización de la materia prima, teniendo un enfoque principalmente en una pieza fabricada que es la chaveta. En esta parte del trabajo se utilizó la observación directa. También se definió el alcance y delimitación del proyecto.

Medir
La siguiente etapa se lleva a cabo de manera práctica dentro del área de producción de la empresa de Maquinados, observando directamente el comportamiento del proceso de la pieza seleccionada en la etapa anterior, midiendo también el tiempo de producción desde que se hace el pedido hasta que se entrega el producto, esto se lleva a cabo mediante el uso de un cronometro y formatos especiales.

Analizar
Teniendo los datos recabados mediante el uso de los diferentes instrumentos y técnicas, se procede a analizar dichos datos mediante diagramas, tablas y gráficos que nos permitan observar el comportamiento de los datos y muestras recabadas en la etapa anterior y de esta manera poder conocer el estado actual del proceso, también es de vital importancia el uso de un diagrama Ishikawa para observar los factores que afectan a la productividad del proceso con la finalidad de conocer el problema raíz con el apoyo de la metodología de los 5 ¿Por qué?.

Implementar
En esta etapa se planea implementar dos herramientas de *Lean Manufacturing* las cuales son; el VSM que nos permitirá observar a detalle las operaciones que intervienen en el proceso de elaboración de las piezas seleccionadas y de esta manera poder detectar aquellas actividades u operaciones que no generan valor al producto con el objetivo de eliminarlas o reducirlas, la segunda es la hoja de trabajo estandariza que ayudará a que las operaciones se realicen de manera optima y consistente.

Controlar
Para tener un control y continuidad en las implementaciones se pretende orientar de manera básica a los operadores para explicarles cómo es que se llevan a cabo las metodologías *Lean Manufacturing* y cuál es el objetivo de las mismas, de tal manera que ellos puedan aplicarlas y pueda existir una mejora continua en el proceso productivo.

Desarrollo: Realizar un diagnóstico de la situación actual del proceso de maquinado mediante las herramientas: diagrama de flujo, toma de tiempos, OEE, diagrama Ishikawa y VSM.
En esta etapa se siguieron las fases de definir, medir y analizar de la metología DMAIC, divididas en 5 pasos como se muestra en la Figura 2.

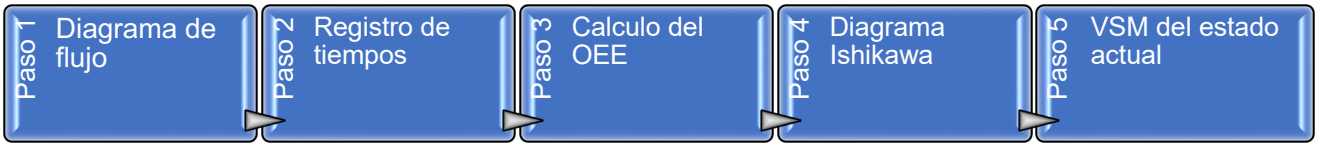


Figura 2. Pasos para la etapa de diagnóstico.

 ISSN: 2007 8102

Definir:
Paso 1. Diagrama de Flujo

Primeramente, se analizó mediante una observación directa el proceso de maquinado para conocer de mejor manera el flujo de trabajo y poder analizar las operaciones que se llevan a cabo para la fabricación de diversas piezas, del cual se obtuvo el diagrama de flujo que se observa en la Figura 3, mediante el cual se identificaron las operaciones cuello de botella.

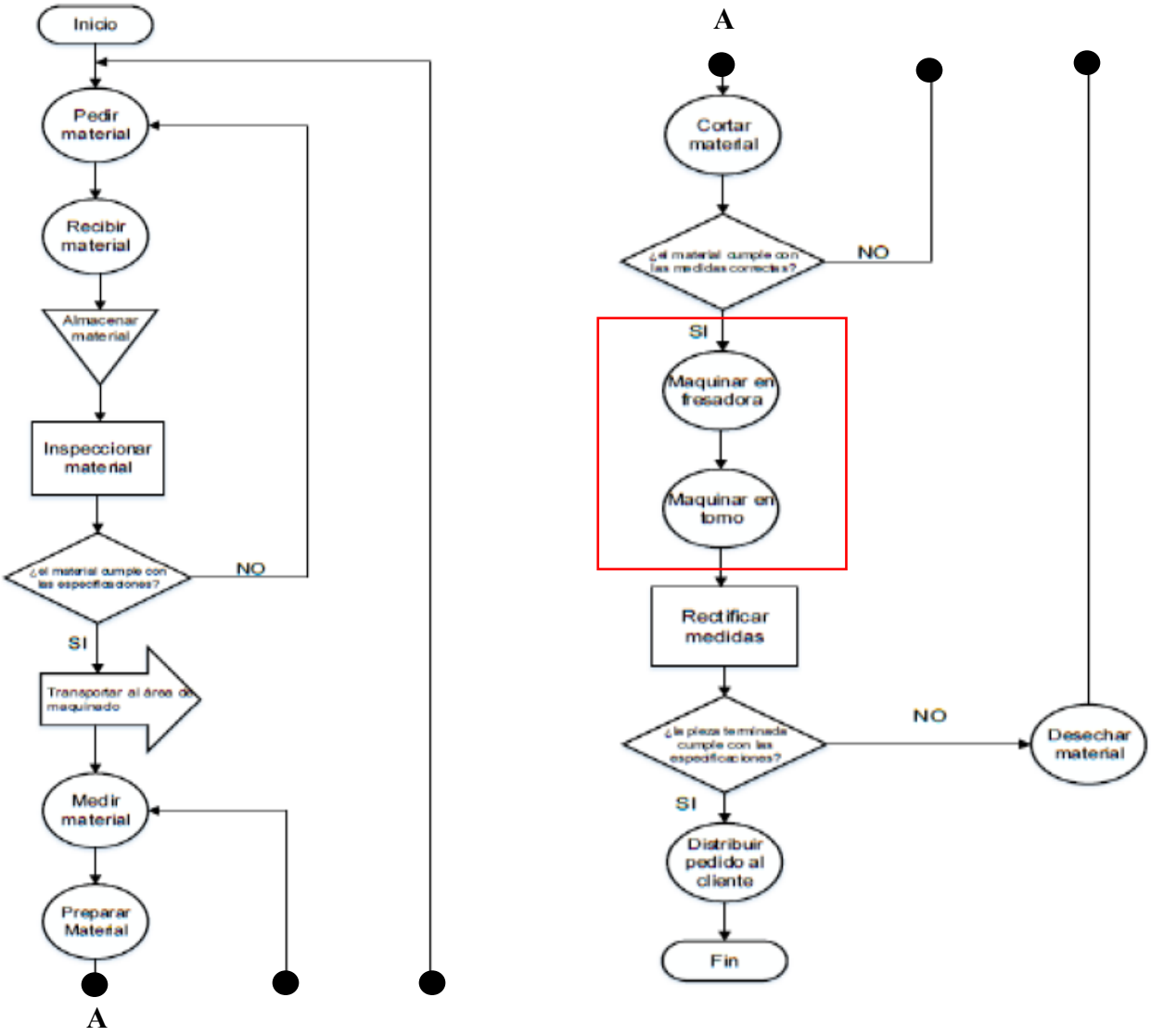


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso.

MEDIR
Paso 2. Registro de Tiempos

La estandarización es la herramienta que permite definir un criterio óptimo y único en la ejecución de una determinada tarea u operación en [3].

Para el registro de datos se realizó un estudio de tiempos al proceso de maquinado de las chavetas, para ello se realizaron 15 estudios diferentes para determinar el tiempo ciclo de fabricación, ya que actualmente no existe una estandarización en los tiempos, y posteriormente los datos obtenidos se plasmaron en los formatos de estudio de tiempos. Con los datos obtenidos, el tiempo ciclo del proceso es de 46.83 min/pza., cual se encuentra por encima del tiempo teórico del proceso el cual es de 35.1 min/pza.

 ISSN: 2007 8102

El siguiente paso fue realizar la toma de tiempos preliminar de las 3 operaciones que conforman el proceso (Corte, Torneado y Fresado), esto con ayuda de un cronometro y un formato de toma de tiempos, donde se registraban los tiempos cronometrados, en esta fase no se requiere el cálculo del tiempo estándar solo es medir los tiempos que los operadores utilizan en cada parte del proceso como se muestra en la Figura 4.

FORMATO PARA ESTUDIO DE TIEMPOS

Elabora:	Luis Campos, Uriel Mendoza, Alan Mexquitic	Maquina:	Cortadora, Fresadora, Torno
Fecha:	30 de Abril del 2018	Hora de Inicio:	4:00p m
Operador:	Juan angel frausto, José Mario Mendoza, Cesar	Hora de término:	07:00 p. m.
Autoriza:	Ramiro Salazar	Número de estudio:	1

Num. De operación	Descripción del proceso	Pieza/Máquina	Muestras														Promedio
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Preparación de cortadora y material	Cortadora y barra de acero	0.41	0.42	0.53	0.44	0.45	0.54	0.47	0.42	0.56	0.48	0.45	0.39	0.52	0.36	0.34	
2	Corte de material	Barra de acero	3.11	2.33	3.24	3.11	2.36	3.30	2.44	2.29	2.10	2.22	2.14	2.09	2.27	3.31	2.23	
3	Preparación de Torno	Torno	3.30	3.51	3.25	4.11	3.28	3.38	3.52	3.35	3.50	4.06	3.34	3.47	4.01	3.47	3.35	
4	Torneado	Pieza para maquinar	22.19	24.27	21.12	25.00	21.25	24.22	21.52	24.15	23.38							
5	Preparación de Fresadora	Fresadora	3.49	4.48	3.59	4.26	4.39	4.16	4.08	4.29	3.16	4.34	4.23	4.18	4.22	3.43	4.29	
6	Fresado	Pieza para maquinar	21.22	22.03	20.27	21.28	21.27	22.11	20.31	20.16								
7																		
8																		
9																		
10																		

Cantidad de piezas por hora:	2	Producción semanal:	102
Cantidad de piezas por jornada:	17		

Observaciones Generales: Durante el estudio se observo que se producen alrededor de 2 piezas por hora, aunque en ocasiones era solamente una debido a retrasos del personal por falta de herramental, o bien por desgaste físico que ocasionaba en ocasiones errores durante el proceso, concluyendo que esto puede generar desperdicios de piezas mal maquinadas.

Figura 4. Toma de tiempos del proceso de fabricación de chavetas.

	Chavetas		
	Corte	Torneado	Fresado
Piezas defectuosas	2	6	3
Tiempo Ciclo (min)	2.57	23.01	21.08
Unidades demandadas		200	pzas/15 dias
Unidades producidas		185	pzas/15 dias
Tiempo al mes		7920	min
Tiempo paro programado a 12 dias		900	min
Tiempo disponible quincenal		7020	min
Takt Time		35.1	min/pza

Figura 5. Cálculo del Takt Time de la fabricación chavetas.

Cálculos de datos. Con la recolección de los datos y muestras necesarias en los puntos anteriores se procedió a tabularlos en tablas en Excel para obtener el tiempo teórico requerido por el cliente como se observa en la Figura 5.

Paso 2. Calculo del OEE actual

Para el cálculo del OEE se utilizaron las fórmulas de las siguientes ecuaciones en [4].

 ISSN: 2007 8102

$$OEE = Disponibilidad\ X\ Desempeño\ X\ \text{Calidad} \quad \text{..... Ec. 1}$$

$$Disponibilidad = \left\lfloor \frac{Tiempo\ de\ operación}{Tiempo\ disponible\ neto} \right\rfloor \quad \text{..... Ec. 2}$$

$$Rendimiento = \left\lfloor \frac{Total\ de\ piezas\ reales\ producidas}{Total\ teorico\ a\ producir} \right\rfloor \quad \text{.....Ec. 3}$$

$$Calidad = 1 - \left\lfloor \frac{Total\ de\ defectos}{Total\ de\ piezas\ reales\ producidas} \right\rfloor \text{.....Ec. 4}$$

$$OEE = \left\lfloor \frac{E}{C} \right\rfloor X \left\lfloor \frac{G}{C/H} \right\rfloor X \left\lfloor 1 - \frac{K}{G} \right\rfloor \text{.....Ec. 5}$$

Paso 3. Cálculo del OEE actual.
A continuación, se muestra el cálculo del OEE para la cortadora, el torno y la fresadora de la empresa de maquinados. Obteniendo para la cortadora un OEE del 7.2487%, para el torno un 63.589% y para la fresadora un 59.1561% como se observa en la Figura 6.

OEE Cortadora				
A	Total de Tiempo Programado	7920	min.	
B	Tiempo Muerto Requerido	900	min.	
C	Tiempo Disponible Neto	7020	min.	
D	Resto de Tiempo Muerto	70	min.	
E	Tiempo de Operación	6950	min.	
F	**Disponibilidad**	99.0028		0.9900
G	Total de Partes Corridas	200	Pzas.	
H	Tiempo real de Ciclo	2.57	min.	
J	**Eficiencia en el Desempeño**	7.40		0.0740
K	Total de Defectos	2	Pzas.	
L	**Índice de Calidad**	99		0.99
		OEE		**0.0725**
		OEE (%)		**7.2487**

(a)

OEE Torno				
A	Total de Tiempo Programado	7920	min.	
B	Tiempo Muerto Requerido	900	min.	
C	Tiempo Disponible Neto	7020	min.	
D	Resto de Tiempo Muerto	110	min.	
E	Tiempo de Operación	6910	min.	
F	**Disponibilidad**	98.4330		0.9843
G	Total de Partes Corridas	200	Pzas.	
H	Tiempo real de Ciclo	23.0100	min.	
J	**Eficiencia en el Desempeño**	66.5991		0.6660
K	Total de Defectos	6	Pzas.	
L	**Índice de Calidad**	97		0.97
		OEE		**0.6359**
		OEE (%)		**63.589**

(b)

OEE Fresadora				
A	Total de Tiempo Programado	7920	min.	
B	Tiempo Muerto Requerido	900	min.	
C	Tiempo Disponible Neto	7020	min.	
D	Resto de Tiempo Muerto	97	min.	
E	Tiempo de Operación	6923	min.	
F	**Disponibilidad**	98.6182		0.9862
G	Total de Partes Corridas	200	Pzas.	
H	Tiempo real de Ciclo	21.08	min.	
J	**Eficiencia en el Desempeño**	60.8985		0.6090
K	Total de Defectos	3	Pzas.	
L	**Índice de Calidad**	98.5		0.985
		OEE		**0.5916**
		OEE (%)		**59.1561**

(c)

Figura 6. Calculo del OEE de la fabricación chavetas (a), (b), (c).

ANALIZAR

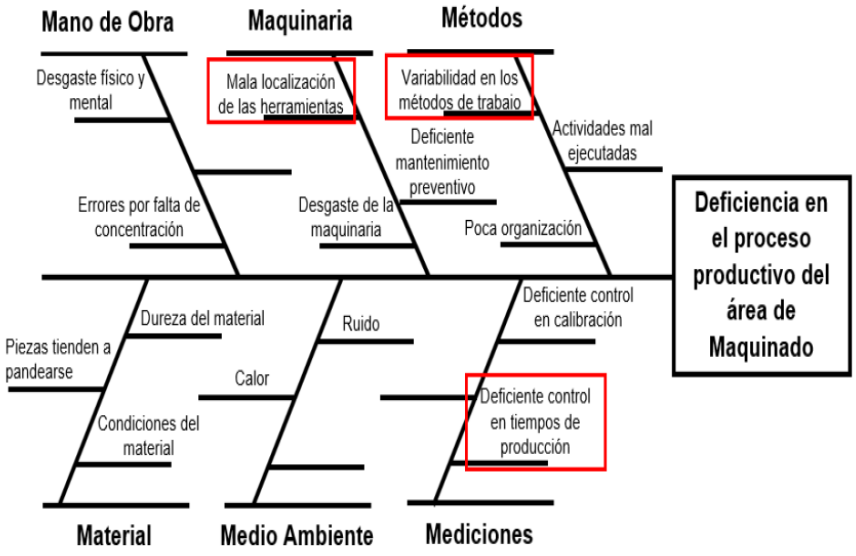
Paso 4. Diagrama Ishikawa
El Diagrama Ishikawa o Diagrama de Causa Efecto es una representación gráfica que permite visualizarlas causas que explican un determinado problema. Es una herramienta muy utilizada en la industria ya que orienta la toma de decisiones en la solución de un determinado problema en [5].Para poder elaborar un diagrama Ishikawa que nos permita visualizar las causas que provocan los problemas, se optó por realizar primeramente un análisis con un diagrama de Pareto, el cual nos permitió ver las problemáticas con mayor incidencia en el

 ISSN: 2007 8102

proceso de maquinado de chavetas, para ello utilizo una hoja de verificación, en dicha hoja se registraron las 6 grandes pérdidas del TPM, esto para verificar cuales eran las pérdidas o en este caso problemáticas que generaban un mayor impacto en el la productividad del proceso de maquinado de chavetas.
Ya que se hizo el análisis con la hoja de verificación se observó la frecuencia con la que cada una de las pérdidas se hizo presente en alguna parte del proceso, ya sea en las operaciones del trabajador o con la misma maquinaria.
Además, para visualizar de mejor manera los resultados se realizó un diagrama de Pareto en donde fue necesario realizar una tabla de frecuencias. Posteriormente ya con los datos arrojados en la tabla se identificó que, las primeras tres averías corresponden a:

- Cambios y ajustes no programados
- Ocio y paradas menores
- Reducción de velocidad

Éstas son las 3 grandes pérdidas que se encuentran dentro del 80%, es decir que debemos atacar esas problemáticas antes que nada y de esta manera poder incrementar la productividad en el proceso de maquinado de chavetas, ya que éstas son las que más impacto tienen en dicho proceso.Cabe señalar que esto debería realizarse con el apoyo de un grupo multidisciplinario de la empresa, sin embargo, la empresa no cuenta con profesionistas con los cuales nos podríamos apoyar, es por ello que se determinó llevar a cabo esta actividad con las personas que tienen más contacto con el proceso y conocimiento del mismo. Basándonos en las 6 vertientes del diagrama Ishikawa (Mano de Obra, Maquinaria, Método, Material, Medio Ambiente y Medición) como se puede visualizar en la Figura 7.



Con ayuda del diagrama Ishikawa nos permitió conocer más a fondo las causa por las cuales el proceso de producción del área de maquinados es deficiente. Se seleccionar las tres causas principales las cuales fueron: mala localización de las herramientas, variabilidad en los métodos de trabajo y deficiente control de tiempos de producción, posterior a este análisis se continuo con los 5 porqués.

Figura 7. Diagrama Ishikawa del proceso.

Ya que se elaboró el diagrama Ishikawa, se seleccionaron los 3 factores principales que más influían en el proceso, de acuerdo a las causas detectadas en las entrevistas realizadas a los trabajadores.
Los factores seleccionados fueron los siguientes: Mala localización de las herramientas, variabilidad en los métodos de trabajo y deficiente control en los tiempos de producción. A cada uno de estos factores se aplicó la metodología de los 5 Porqués, desglosando paso a paso cada una de las razones por las cuales estos factores son originados, se colocaron en una tabla los factores con su causa.

Paso 5. VSM Estado Actual

Finalmente, en esta etapa de diagnóstico se utilizó un mapa de la cadena de valor (VSM de las siglas Value Stream Mapping) del proceso de maquinado de chavetas para visualizar el desarrollo de toda la manufactura de las mismas y terminar la primera etapa de diagnóstico del proceso. El VSM muestra indicadores como: el tiempo de ciclo, el tiempo de cambio de modelo, el OEE, los turnos y finalmente el tiempo que agrega valor y el que no [6]. Para realizar el mapeo del proceso del estado actual se requiere realizar los 6 pasos anteriores y obtener la información necesaria en cada parte del VSM en [6].

 ISSN: 2007 8102

A continuación en la Figura 8 se encuentra el VSM del proceso actual.

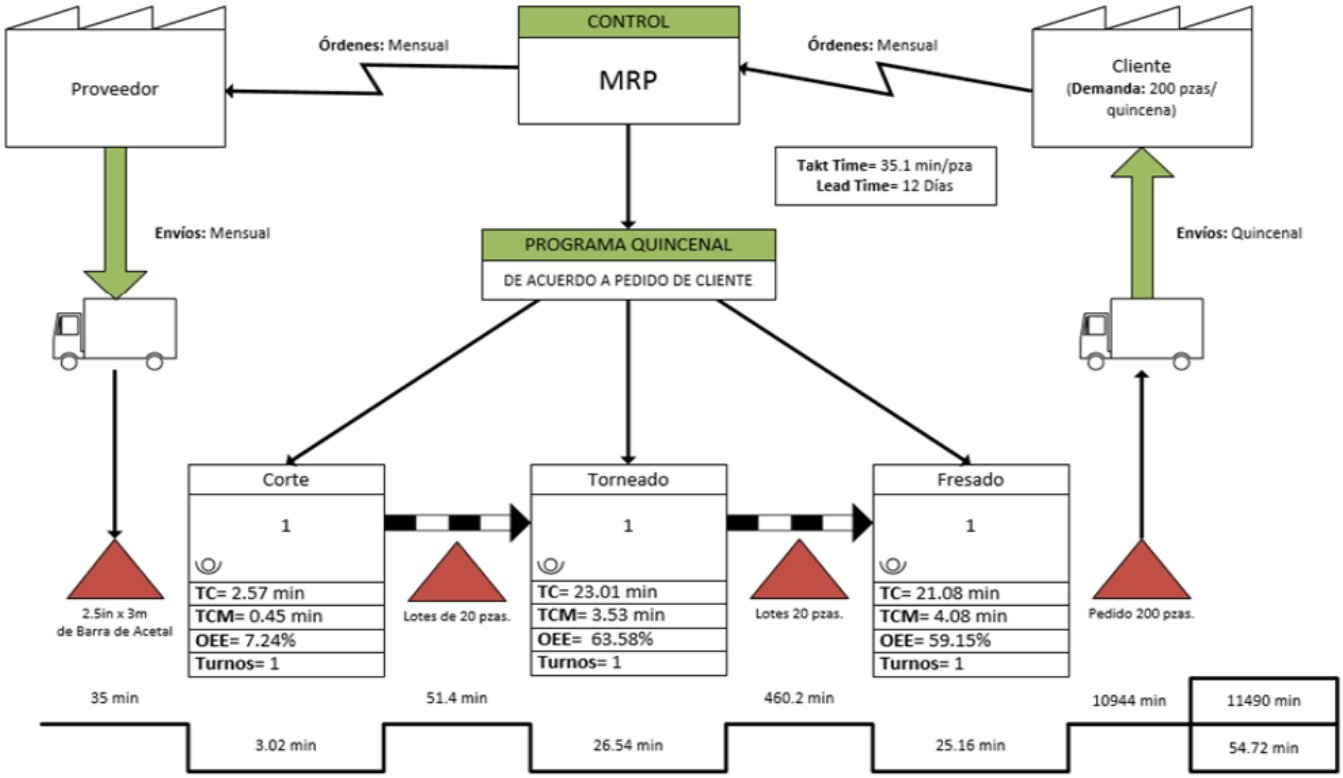


Figura 8. VSM actual del proceso de maquinado de chavetas.

Mejorar: Diseñar y desarrollar la HTE así como mapear el VSM mejorado.

Resultados y discusión: Implementación del trabajo estandarizado mediante HTE (Hoja de Trabajo Estándar) para aumentar el OEE.

Paso 1. Diseño y desarrollo de la HTE

Con la elaboración del Diagrama Ishikawa se obtuvo las causas que hacen deficientes al proceso de maquinados de acuerdo a las 6 vertientes del diagrama (Mano de Obra, Maquinaria, Método, Material, Medio Ambiente y Medición) y se determinó las 3 principales casusas que causan la deficiencia en el proceso de maquinados, las cuales son:

- Mala localización de las herramientas
- Variabilidad en los métodos de trabajo
- Deficiente control en los tiempos de producción

Y en conjunto con un análisis de las causas, con ayuda de los 5 Porqués se determinaron soluciones para hacer más eficiente el proceso de maquinados, como se muestra en la Figura 9:

Problema	Variabilidad en los métodos de trabajo	Mala localización de las herramientas	Deficiente Control en Tiempos de Producción
Solución	Establecer métodos fácil de realizar y en menor tiempo, capacitando a los operadores.	Establecer cajas de Herramientas en cada estación de trabajo, para evitar que lo operadores tarden mas tiempo en el maquinado de piezas.	Implementar hojas de trabajo estándar, para estandarizar el método de trabajo en el proceso de maquinado.

Figura 9. Resultado de análisis de 5 Porqués.

 ISSN: 2007 8102

Mediante la implementación del VSM, Diagrama Ishikawa y los 5 Porqués, se realizó un diagnóstico de la situación actual del proceso de maquinados de la empresa, el cual nos permitió identificar las áreas de oportunidad de mejora, para eficientar el proceso. Primeramente, al realizar un nuevo estudio de tiempos ya con operaciones desglosadas y esta vez tomando en cuenta los traslados o recorridos que hace el operador para preparar su material y herramienta de trabajo se obtuvieron los tiempos que se muestran en la Figura 10.

Operación	Tiempos en minutos		
	Tiempo de Recorrido	Tiempo de Operación y preparación de máquina	Tiempo Total
Corte	9.59	2.59	**12.58**
Torneado	12.03	30.07	**42.10**
Fresado	9.57	34.15	**44.12**

Figura 10. Resultado de tiempos del proceso más tiempo de recorrido.

Lo siguiente fue implementar las hojas de trabajo estándar, las operaciones o actividades que ejecuta el operador se llevaron a cabo con el apoyo del encargado de producción y los mismos operadores, los cuales mediante sus aportaciones se logró establecer un método estándar, el cual todo pudieran realizarlo y de esta manera se vaciaron los datos a las hojas de trabajo estándar y para corroborar que hubo una mejora se volvieron a tomar tiempos ahora con las operaciones estandarizadas.
Los resultados obtenidos con la estandarización de operaciones y el método de trabajo en el proceso de maquinado de chavetas fueron los siguientes:

- La eliminación del proceso de corte, el cual se hará en el proceso de torneado.
- Mayor facilidad del método de trabajo, todo esto de acuerdo a opiniones de los operadores.
- Los tiempos finales son los que se muestran en la Figura 11:

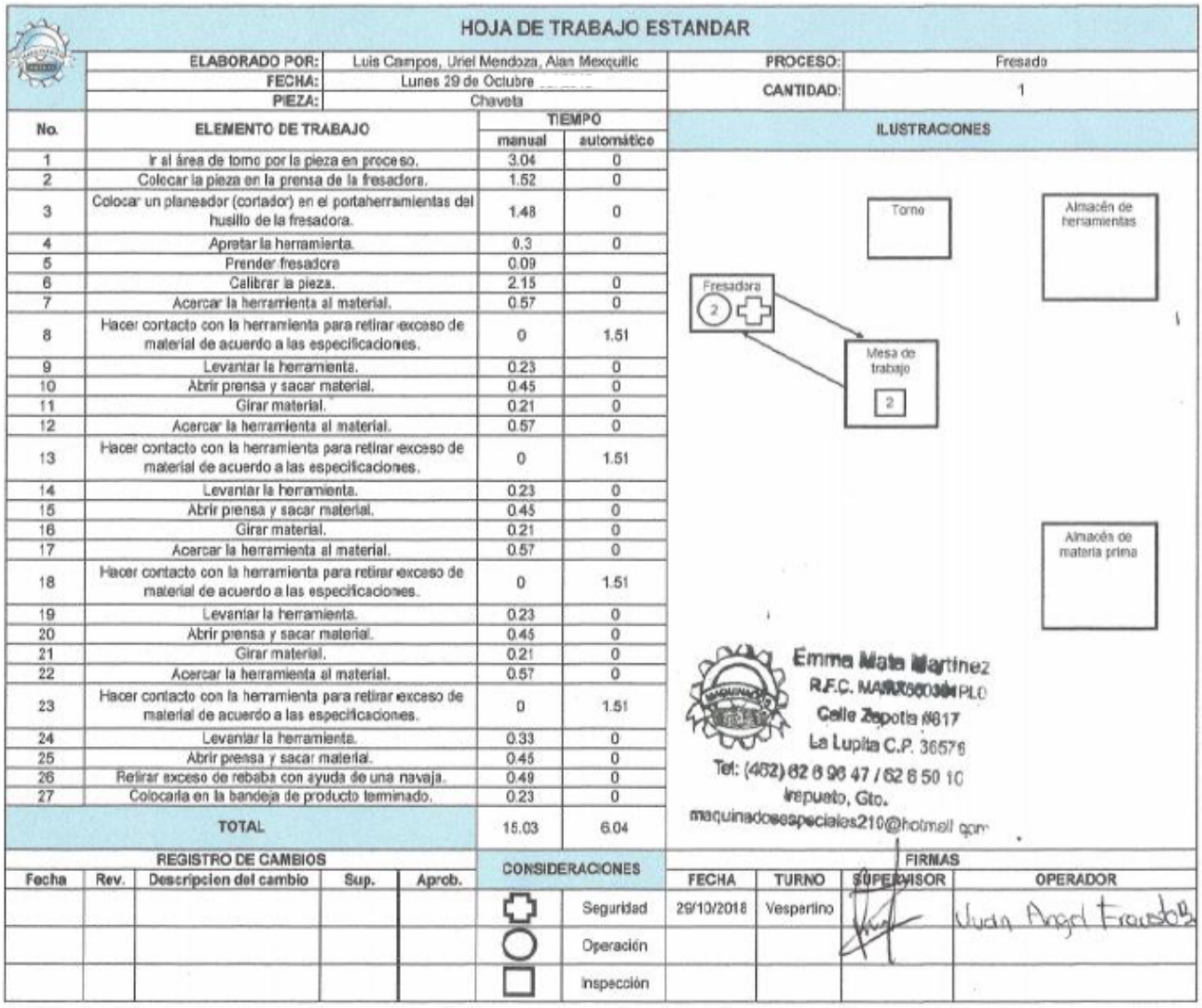
Operación	Tiempos en minutos		
	Tiempo de Recorrido	Tiempo de Operación y preparación de máquina	Tiempo Total
Corte	12.23	18.36	**30.59**
Torneado			
Fresado	3.04	18.03	**21.07**

Figura 11. Resultado de tiempos del proceso con la implementación de la estandarización.

Con la implementación de las hojas de trabajo estándar se logró disminuir los tiempos totales en la fabricación de chavetas en los siguientes porcentajes: Torneado y Corte se logró disminuir un 44%, mientras que Fresado se logró disminuir un 52%. Todo esto gracias a la disminución de recorridos por parte del operador y a las actividades que ahora se realizan de mejor manera.

Además, gracias a las pruebas realizadas se pudo observar que el método propuesto genera una mayor fluidez en el proceso, así como una mayor facilidad a la hora de realizar las operaciones. También se les hizo énfasis a los operadores en que los tiempos de traslado a los almacenes debían ser lo más rápido posible, ya que con anterioridad se había observado que era un lapso de tiempo muy largo y esto afectaba demasiado a la hora de arrancar y durante el proceso ya que en ocasiones se quedaban platicando con los encargados de los almacenes o bien tenían mucho tiempo muerto que se podía aprovechar de mejor manera como se observa en la hoja de trabajo estandarizada del proceso de fresado en la cual se registra el tiempo adecuado para cada actividad considerando una escala de valoración del 98% para el operador y un porcentaje de suplementos del 5%. El tiempo estándar para el proceso de fresado es de 21.07min como se muestra en la Figura 12.

 ISSN: 2007 8102



HOJA DE TRABAJO ESTANDAR

ELABORADO POR:	Luis Campos, Uriel Mendoza, Alan Mexquitic	PROCESO:	Fresado
FECHA:	Lunes 29 de Octubre	CANTIDAD:	1
PIEZA:	Chaveta		

No.	ELEMENTO DE TRABAJO	TIEMPO manual	TIEMPO automático
1	Ir al área de torno por la pieza en proceso.	3.04	0
2	Colocar la pieza en la prensa de la fresadora.	1.52	0
3	Colocar un planeador (cortador) en el portaherramientas del husillo de la fresadora.	1.48	0
4	Apretar la herramienta.	0.3	0
5	Prender fresadora	0.09	
6	Calibrar la pieza.	2.15	0
7	Acercar la herramienta al material.	0.57	0
8	Hacer contacto con la herramienta para retirar exceso de material de acuerdo a las especificaciones.	0	1.51
9	Levantar la herramienta.	0.23	0
10	Abrir prensa y sacar material.	0.45	0
11	Girar material.	0.21	0
12	Acercar la herramienta al material.	0.57	0
13	Hacer contacto con la herramienta para retirar exceso de material de acuerdo a las especificaciones.	0	1.51
14	Levantar la herramienta.	0.23	0
15	Abrir prensa y sacar material.	0.45	0
16	Girar material.	0.21	0
17	Acercar la herramienta al material.	0.57	0
18	Hacer contacto con la herramienta para retirar exceso de material de acuerdo a las especificaciones.	0	1.51
19	Levantar la herramienta.	0.23	0
20	Abrir prensa y sacar material.	0.45	0
21	Girar material.	0.21	0
22	Acercar la herramienta al material.	0.57	0
23	Hacer contacto con la herramienta para retirar exceso de material de acuerdo a las especificaciones.	0	1.51
24	Levantar la herramienta.	0.33	0
25	Abrir prensa y sacar material.	0.45	0
26	Retirar exceso de rebaba con ayuda de una navaja.	0.49	0
27	Colocarla en la bandeja de producto terminado.	0.23	0
TOTAL		15.03	6.04

ILUSTRACIONES

Emma Mata Martinez
R.F.C. MAM[illegible]PLC
Calle Zapotla #617
La Lupita C.P. 36576
Tel: (462) 62 6 96 47 / 62 6 50 10
Irapuato, Gto.
maquinadosespeciales210@hotmail.com

REGISTRO DE CAMBIOS					CONSIDERACIONES		FIRMAS			
Fecha	Rev.	Descripcion del cambio	Sup.	Aprob.			FECHA	TURNO	SUPERVISOR	OPERADOR
						Seguridad	29/10/2018	Vespertino		Uriel Angel Fraustro
						Operación				
						Inspección				

Figura 12. Hoja de trabajo estandarizada del proceso de fabricación de chavetas.

Paso 2. Mapear el proceso mejorado VSM

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 13, se identifica el mapeo de la cadena de valor actual del proceso de maquinado de chavetas, ya con la implementación de las diferentes herramientas y metodologías de *Lean Manufacturing* (diagrama Ishikawa, estandarización y 5´s) en la cual podemos observar el flujo del proceso, los tiempos ciclo de las operaciones y el incremento del nivel de OEE en las dos operaciones que quedaron en el nuevo proceso establecido. Además, se observa la eliminación de los buffer o inventario en proceso a una sola pieza, lo cual nos permite reducir los tiempos totales de proceso, generando un lead time de 9 días.

Controlar

En esta etapa se capacitó a los operadores para el uso de las hojas de trabajo estandarizada, se les explicó como funcionan las herramientas de mejora continua y se realizaron pruebas para asegurar el correcto uso de las mismas mediante hojas de verificación.

Trabajo a futuro

En el presente trabajo se logró detectar las áreas de oportunidad para aumentar el OEE de la empresa de maquinados. El trabajo a futuro que se sugiere es que la empresa debería implementar auditorias para llevar un control de sus documentos y trabajar en indicadores de proceso mediante el BSC (*Balanced Scorecard*).

 ISSN: 2007 8102

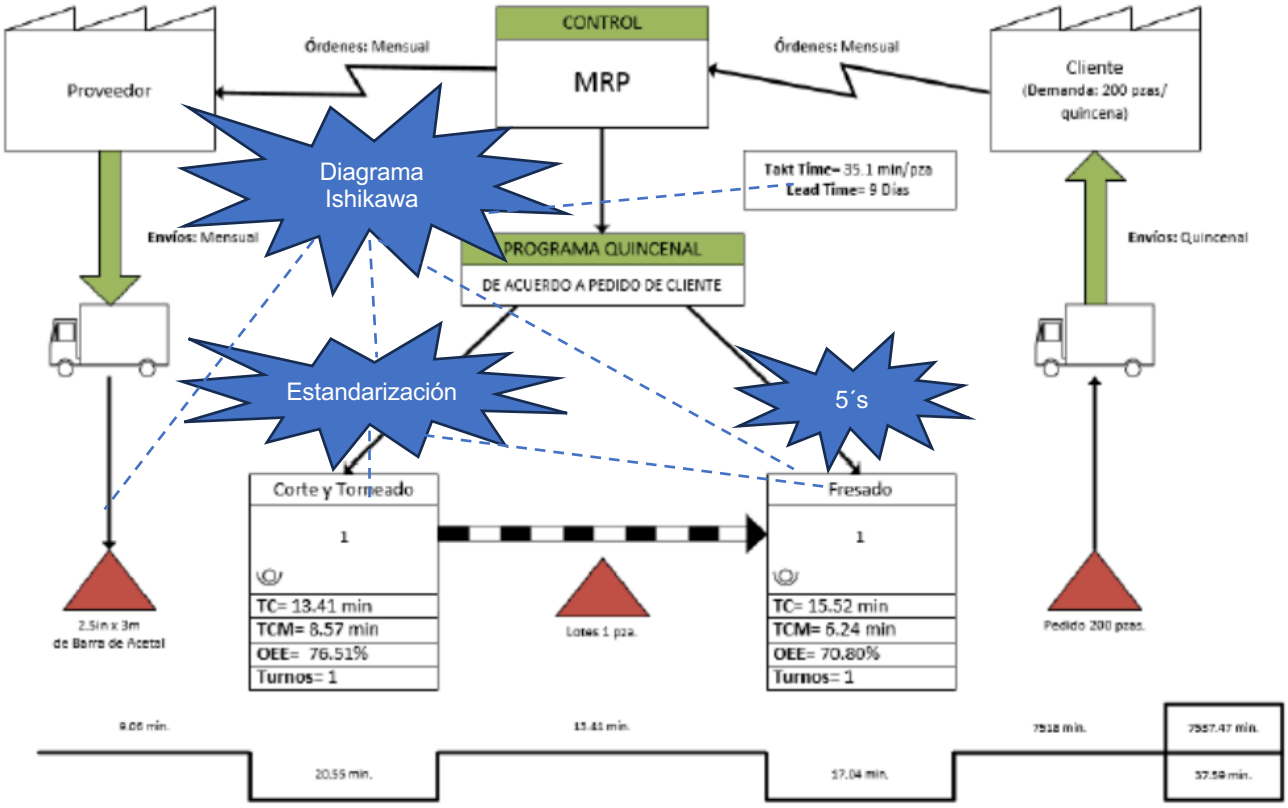


Figura 13. VSM mejorado del proceso de maquinado de chavetas.

Conclusiones

Los beneficios de aplicar las hojas estándar es que los operadores realizan su trabajo de forma consistente, reduciendo tiempos, movimientos innecesarios y evitar actos inseguros por parte de los operadores al operar las máquinas de torno y fresado. Además, se detectaron las principales causantes de la problemática que afectan a la efectividad de los equipos y se hizo una propuesta de soluciones. Con estas implementaciones se determinó una reducción en el Lead Time de 3 días es decir ahora el Lead Time es de 9 días, esto quiere decir que de acuerdo al tiempo de ciclo las 200 piezas demandadas se pueden producir en 9 días lo que promueve a que la empresa tenga 3 días de holgura para producir más piezas de chavetas que generan un beneficio económico de $9900 mensuales, o bien la creación de nuevos proyectos. Y la parte fundamental del objetivo que es el aumento de la efectividad de los equipos en el proceso de maquinado de chavetas se logró cumplir ya que de acuerdo al nuevo cálculo de OEE se obtuvo un OEE de 76.51% en Torno y 70.80% en fresadora.

Referencias

[1] W. Fazinga, F. Saffaro, E. Isatto, and E. Lantelme," Implementación del trabajo estandarizado en la industria de la construcción," *Revista Ingeniería de la construcción*, vol. 34, no. 3, 2019.

[2] J.D. Sirlupu,"Aplicación de herramientas Lean y DMAIC para mejoras en el segmento Drilling and Measurements," Tesis de Licenciatura, Universidad de Piura, Piura, Peru, 2020.

[3] M. P. Sarria, G. A. Fonseca, and C.C. Bocanegra, "Modelo metodológico de implementación de lean manufacturing," *Revista EAN*, vol. 83, pp 51 – 71, 2017.

[4] C.A. Diaz, D. A. Catari, C. J. Murga, G. A. Diaz, and V. F. Quezada, "Efectividad general para equipos (OEE) ajustado por costos," *Revista Interciencia*, vol.45, no. 3, pp 158-163, marzo, 2020.

[5] G. A. Basilio, and G. Campos, "El uso del diagrama de Ishikawa para identificar las causas de contaminación en la línea de producción de matanza de ganado," *Revista Dialnet*, no. 26, pp 13-21, 2021.

[6] R. A. Manjarrez , F. Ortiz, J. L. Hernandez, M. L. Arrioja, and S. D. Mayoral, ‘‘Análisis y diagnóstico de una línea de producción de limas implementando VSM,"*Coloquio de Investigación multidisciplinaria 2020",* vol. 8*,* no*. 22,* 2020.

ISSN: 2007 8102

Estudio de localización de un centro de distribución de hielo en el Estado de México

Carlos Manuel Pérez Ramírez
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Pachuca

Área de participación: *Ingeniería Industrial*

Resumen
Mr. Hielo es una pequeña empresa hidalguense que fabrica y comercializa hielo en varias presentaciones, el cual distribuye principalmente en empresas comerciales de Hidalgo y algunas en los estados de Puebla y México. Con la finalidad de hacer más eficiente la entrega de su producto, en el Estado de México, se desea instalar un centro de distribución en la zona de concentración de clientes de dicho estado. Como se sabe que el lugar para ubicar una instalación es muy importante cuando la finalidad es estratégica, también se ha pensado en apoyar tal decisión en técnicas de la Ingeniería Industrial. En este documento se describen la optimización por el método de coordenadas del punto geográfico en el cual sería más conveniente instalar el centro de distribución de bolsas de hielo y enseguida la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico en la selección del local específico para el mismo.

***Palabras clave**: localización, optimización, multicriterio, AHP.*

Abstract
Mr. Hielo is a small company from the state of Hidalgo that manufactures and sells ice in various forms, which it mainly distributes to commercial businesses in Hidalgo and some in the states of Puebla and Mexico. In order to make the delivery of product more efficient, in the State of Mexico, it is planned to install a distribution center in the customer concentration area of that state. Because the place to locate a facility is very important when the purpose is strategic, it has also been thought of supporting such a decision on Industrial Engineering techniques. This document describes the optimization by the method of coordinates of the geographical point in which it would be more convenient to install the ice pack distribution center and then the application of the Analytic Hierarchy Process for the selection of the specific place for its location.

***Key words**: location, optimization, multicriteria, AHP.*

Introducción
La fábrica de hielo Mr. Hielo fue fundada en 1990 bajo la razón social Distribuidora de Hielo Texcoco; dos años después cambió su razón social a Hielo San Antonio S.A. de C.V., aunque coloquialmente es referida simplemente como Mr. Hielo. Actualmente el hielo se distribuye en diversas presentaciones a empresas de distintos giros comerciales en zonas de los estados de Hidalgo, México y Puebla, así como al público en general. Entre las varias presentaciones del producto se cuentan las barras purificada de 50 kg, de enfriamiento de 50 kg y de ósmosis de 50 kg; bolsa de rolito y cubo de 15 kg y bolsa de rolito de 5 kg.

Para la distribución de hielo dispone de un solo vehículo sin frigorífico con capacidad de carga de 6 ton, y solamente los días jueves de cada semana la empresa efectúa el reparto a sus clientes de la zona del Estado de México, entregando 40 bolsas de 5 kg de hielo en rolito a cada uno. Aunque en la zona colindante de este estado con Hidalgo posee una cartera de cuarenta clientes, en cada viaje abastece a poco menos de veinte por varias razones: no todos requieren resurtido del producto, capacidad de carga del camión, conservación del producto y el tiempo de viaje disponible.

La zona de reparto más importante se encuentra en el Estado de México porque tiene la mayor concentración de clientes, población y tráfico vehicular. Como se tiene previsto el aumentar la cartera de clientes y, por ello, el objetivo de también incrementar la cantidad de clientes a abastecer los días jueves (la alta administración establece que así continuará siendo, al menos mientras financieramente no sea redituable comprar otro vehículo de carga), se pretende instalar un centro de distribución en citado estado mexicano, en un local ya existente que pueda ser arrendado.

 ISSN: 2007 8102

Dentro de la zona geográfica de concentración de los clientes del Estado de México, el presente estudio tiene por objetivos: 1) Determinar el mejor lugar geográfico para instalar el centro de distribución; y 2) Seleccionar el local específico para instalarlo.

Para los estudiantes de ingeniería, es importante la apreciación que puedan tener de la aplicación práctica de las técnicas de optimización y emplazamiento de instalaciones que se abordan en los cursos de contenido logístico de sus respectivos programas de estudios.

El Proceso Analítico Jerárquico

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por *Analytic Hierarchy Process*) es un método de análisis para apoyar la toma de decisiones cuando hay varios criterios o atributos que la condicionan; su creador y principal teórico fue el profesor Thomas L. Saaty, quien lo publicó por primera vez en 1980 [1].

El AHP se ha estado utilizando en distintas áreas de aplicación. Por ejemplo, se emplea para establecer la importancia de los criterios de selección de proveedores de servicios de salud [2]; la elección del mejor método de mercadotecnia de cerveza de una compañía albanesa [3]; se recurre al AHP para comparar proyectos de fabricación de vehículos eléctricos basándose en el riesgo de fracaso [4]; en Turquía se diseña una aplicación que integra un AHP difuso y EDAS (*Evaluation Based on Distance from Average Solution*) para elegir cuál de ocho compañías de mercado electrónico es mejor para vender productos [5]; y para priorizar y seleccionar proyectos en el sector salud en Argelia [6]. Para un panorama más amplio Madzik y Falat [7] ofrecen una revisión asistida por computadora de más de 40 años (1980-2021) de 35430 artículos relacionados con el AHP consignados en la base de datos Scopus.

Optimización

Cuando se trata de encontrar la mejor ubicación de nuevas instalaciones dentro de una región geográfica a fin de atender a los clientes que se encuentran en ella, puede recurrirse a métodos exactos que garantizan llegar a la solución óptima o a procedimientos aproximados que encuentran una buena solución aunque no aseguran que sea óptima. A medida que aumenta el número de clientes los métodos exactos resultan ineficientes desde el punto de vista computacional y, siendo así, es mejor recurrir a los segundos.

El Solver de Excel tiene un optimizador lineal que usa el método Simplex, otro no lineal llamado GRG (*Generalized Reduced Gradient*) basado en derivadas y un método aproximado denominado *Evolutionary* el cual ejecuta un algoritmo genético. Němec y Stodola [8] comparan las soluciones obtenidas con la opción *Evolutionary* y con un algoritmo metaheurístico de recocido simulado (*simulated annealing*) programado por los propios autores y, al ser similares los resultados, concluyen que el Solver de Excel, ampliamente disponible, es eficiente para resolver problemas de multilocalización.

En otros casos de problemas de multilocalización, Salami, Afshar-Nadjafi y Amiri [9] utilizan un híbrido de algoritmo genético y programación quadrática secuencial para ubicar centros de salud y asignarles capacidad de servicio por periodo en Irán; y Vargas-Santiago *et al* [10] recurren al *Crowdsourcing* (colaboración colectiva) a través de jugadores de videojuegos para obtener soluciones mejoradas y también técnicas de *machine learning* en la solución de tres problemas de optimización multiobjetivo que buscan reducir costos de transporte, mejorar la robustez de la localización de instalaciones y realizar una asignación efectiva de recursos.

El tamaño relativamente pequeño del problema expuesto en este artículo permite plantearlo en Excel y resolverlo con el algoritmo exacto GRG del Solver y también por el método aproximado del Centro de Gravedad [11].

Metodología

El estudio comprendió dos fases, correspondientes a diferentes situaciones: el problema que se abordó en la primera fue, naturalmente, la determinación del punto geográfico idealmente más cercano a los clientes actuales del Estado de México y que, en opinión de la alta administración de Mr. Hielo, prácticamente mantendrá esta condición al expandirse la cartera de clientes. Después, en la segunta fase, se ataca el problema consecuente: identificar locales en arrendamiento en las cercanías del punto ya encontrado y escoger el mejor de ellos, según algunas características deseables. La Figura 1 delinea la metodología de la fase 1.

 ISSN: 2007 8102

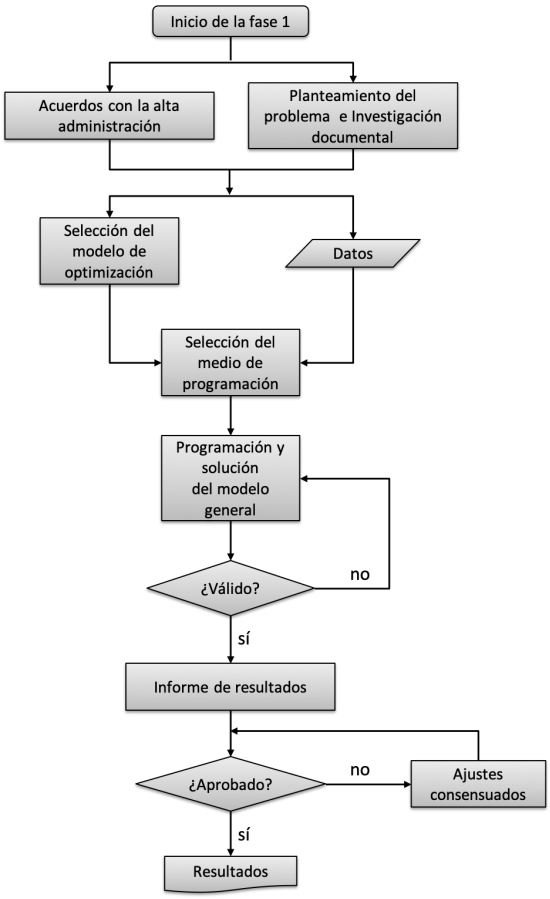


Figura 1. Fase 1 del estudio.

La metodología general de la segunda fase del análisis se ilustra en la Figura 2.



Figura 2. Fase 2 del estudio.

Fase 1

En reunión con la empresa, encabezada por la gerencia de ventas, se mencionó la intención de instalar un centro de distribución (CDis) en el Estado de México a fin de poder atender en un solo día (los jueves) un número de clientes mayor que el actual, en previsión del futuro incremento de éstos.

En la Figura 3 se ilustra la distribución geográfica del conjunto actual de clientes ("globitos" azules). El problema reside en encontrar las coordenadas de un punto específico central del área de concentración de los mismos.

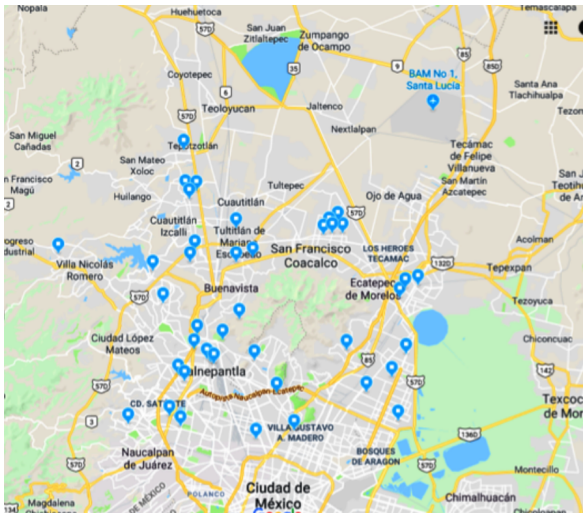


Figura 3. Distribución geográfica de los clientes actuales. Fuente: propia con tecnología de Google Maps.

Tomando en cuenta que la cantidad de clientes es pequeña y que solo se trata de ubicar un sitio para instalar el centro de distribución, la alta administración de Mr. Hielo aceptó, previa explicación teniendo a la vista el mapa de la Figura 3, como un objetivo aceptable la minimización de la suma de distancias en línea recta entre la desconocida ubicación de dicho sitio y cada cliente. Para ello se eligió hacerlo mediante un modelo de programación matemática no lineal (NLP) y la heurística conocida como Centro de Gravedad (C. de G.).

Para n = 40 clientes, estando ubicado el k-ésimo cliente en el local de coordenadas (x_k, y_k) con demanda constante d_k = d = 40 bolsas de hielo, y siendo (X, Y) las coordenadas desconocidas (variables a determinar) del sitio de emplazamiento del centro de distribución, el modelo exacto no lineal de minimización de la suma de distancias euclideanas, D, entre los clientes y el CDis está dado en la expresión (1).

$$\text{Min } D = \sum_{k=1}^{n} \sqrt{(x_k - X)^2 + (y_k - Y)^2} \qquad (1)$$

que es equivalente a minimizar la suma de distancias ponderadas por la demanda de cada cliente, ya que ésta es constante.

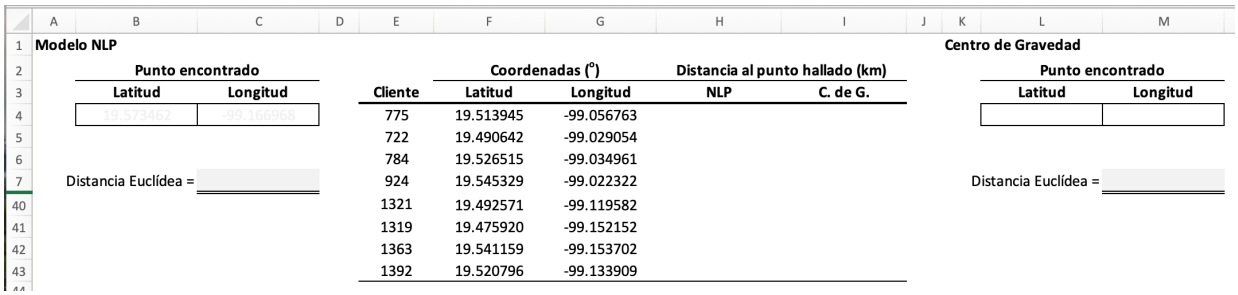
Por otra parte, el método del Centro de Gravedad determina las coordenadas (X, Y) como los promedios aritméticos de las x_k y y_k, respectivamente, por la simplificación debida a la demanda constante, como se demuestra en las ecuaciones (2) y (3).

$$X = \frac{\sum_{k=1}^{n} x_k\, d_k}{\sum_{k=1}^{n} d_k} = \frac{d \sum_{k=1}^{n} x_k}{n\,d} = \frac{\sum_{k=1}^{n} x_k)}{n} \qquad (2)$$

$$Y = \frac{\sum_{k=1}^{n} y_k\, d_k}{\sum_{k=1}^{n} d_k} = \frac{d \sum_{k=1}^{n} y_k}{n\,d} = \frac{\sum_{k=1}^{n} y_k}{n} \qquad (3)$$

 ISSN: 2007 8102

La preparación del modelo de hoja de cálculo es la mostrada en la Figura 4 (hay 32 filas ocultas), en la que el identificador de cada cliente es el número que el corporativo les tiene asignado. Las coordenadas decimales de cada cliente se obtuvieron con Google Maps.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	**Modelo NLP**										**Centro de Gravedad**		
2		**Punto encontrado**				**Coordenadas (°)**		**Distancia al punto hallado (km)**				**Punto encontrado**	
3		**Latitud**	**Longitud**		**Cliente**	**Latitud**	**Longitud**	**NLP**	**C. de G.**			**Latitud**	**Longitud**
4		19.573462	-99.166968		775	19.513945	-99.056763						
5					722	19.490642	-99.029054						
6					784	19.526515	-99.034961						
7		Distancia Euclídea =			924	19.545329	-99.022322					Distancia Euclídea =	
40					1321	19.492571	-99.119582						
41					1319	19.475920	-99.152152						
42					1363	19.541159	-99.153702						
43					1392	19.520796	-99.133909						

Figura 4. Modelo de hoja de cálculo con los dos métodos utilizados

Con el algoritmo GRG del Solver de Excel se resolvió el modelo de optimización no lineal (NLP) basado en la Figura 4, siendo las variables (libres) las coordenadas del CDis (rango B4:C4), y la respuesta a minimizar en la celda C7, en la que se introdujo la fórmula matricial SUMA(RAIZ((F4:F43-B4)^2 + (G4:G43-C4)^2)). Por tratarse de un modelo de tipo cuadrático el mínimo local que se halle con este modelo necesariamente constituye un mínimo global [12]. Al resolverlo se encuentra que el mejor sitio para localizar el nuevo CDis está en las coordenadas de latitud 19.573462° N y longitud 99.166968° W (Figura 5) con una suma de distancias euclídeas de 3.7085 unidades.

El cálculo de las distancias en kilómetros de cada cliente al punto hallado, en el rango H4:H43 de la Figura 5, se realiza introduciendo en la celda H4 la fórmula: 6371*ACOS(COS(B$4*PI()/180)*COS(F4*PI()/180)*COS((C$4-G4)*PI()/180) + SENO(B$4*PI()/180)*SENO(F4*PI()/180)) y copiándola en H5:H43. De este modo se determina que la mínima suma de distancias euclídeas de 3.7085 unidades corresponde aproximadamente a 399.21 km en distancia geodésica[1] (Tiraboschi [13]).

Debido a que la demanda de hielo es la misma en cada cliente, también pudo recurrirse al método del Centro de Gravedad simplificado para la elección del punto geográfico más conveniente. Con este procedimiento la latitud y longitud medias son, respectivamente, 19.58101° N y longitud 99.15239° W, obtenidas con PROMEDIO(F4:F43) en L4 y copiada en M4 para una distancia total de 3.7402 unidades en M7 con fórmula matricial SUMA(RAIZ((F4:F43-L4)^2 + (G4:G43-M4)^2)), equivalente a 402.37 km.

La Figura 5 muestra los resultados tanto del modelo NLP como el del Centro de Gravedad (C. de G.).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	**Modelo NLP**										**Centro de Gravedad**		
2		**Punto encontrado**				**Coordenadas (°)**		**Distancia al punto hallado (km)**				**Punto encontrado**	
3		**Latitud**	**Longitud**		**Cliente**	**Latitud**	**Longitud**	**NLP**	**C. de G.**			**Latitud**	**Longitud**
4		19.573462	-99.166968		775	19.513945	-99.056763	13.31	12.49			19.58101	-99.15239
5					722	19.490642	-99.029054	17.14	16.37				
6					784	19.526515	-99.034961	14.78	13.72				
7		Distancia Euclídea =	3.7085		924	19.545329	-99.022322	15.48	14.19			Distancia Euclídea =	3.7402
40		equivalente a 399.21 km			1321	19.492571	-99.119582	10.27	10.42			equivalente a 402.37 km	
41					1319	19.475920	-99.152152	10.96	11.68				
42					1363	19.541159	-99.153702	3.85	4.43				
43					1392	19.520796	-99.133909	6.80	6.97				
44								399.21	402.37				

Figura 5. Resultados de la ejecución de los dos métodos

Los dos puntos encontrados son muy cercanos entre sí (Figura 6), señalando la misma zona en la cual buscar locales factibles para el CDis. El lugar está situado en un cerro inhabitado y sin infraestructura de transporte; es decir, no hay un local en el que pueda acondicionarse el dicho centro. Por lo tanto, se procedió a averiguar la existencia de locales factibles en lugares cercanos.

[1] Longitud del arco geodésico entre los puntos v_1 y v_2 de coordenadas en radianes (ϕ_1, λ_1) y (ϕ_2, λ_2), respectivamente:
$d(v1, v2) = r*\cos^{-1}(\cos\phi_1*\cos\phi_2*\cos(\lambda_1-\lambda_2)+\text{sen}\,\phi_1*\text{sen}\,\phi_2$, con r = 6371 km (radio de la tierra en el Ecuador).

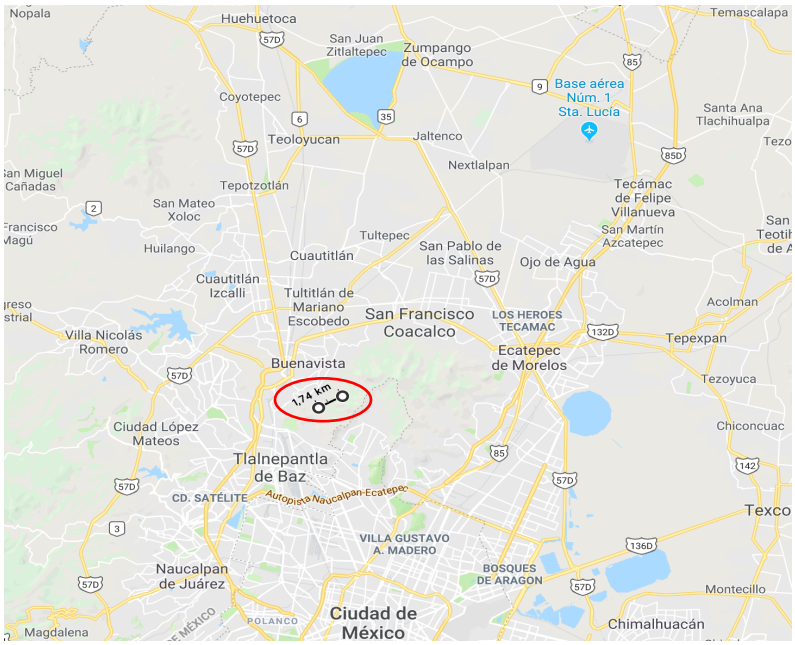


Figura 6. Los dos puntos encontrados para la localización del centro de distribución

Fase 2

En las inmediaciones del lugar determinado en la primera fase, que está deshabitado, se visitó la zona en busca de locales que reunieran las condiciones apropiadas para ser habilitados como centros de distribución y se encontraron cuatro cercanos al área geográfica de los dos sitios determinados en la primera fase y factibles de contratarlos en arrendamiento. Después, y de acuerdo con la metodología del *Proceso Analítico Jerárquico* (AHP) propuesta por Saaty [14] se procedió al desarrollo de la misma.

Para comparar los cuatro locales, entre la alta administración de Mr. Hielo y su dueño se acordaron tres criterios principales (numerados 1, 2 y 3), con varios subcriterios cada uno, a saber:

1. Factores de la comunidad, FC
   - 1.1. Tráfico vehicular, TV
   - 1.2. Actitud de los vecinos, AV
   - 1.3. Seguridad, SE
2. Desastres naturales, DN
   - 2.1. Inundaciones. IN
   - 2.2. Zonas de sismicidad, ZS
3. Características del local, CL
   - 3.1. Costo (arrendamiento, adecuación del local), CA
   - 3.2. Cercanía a los clientes, CC
   - 3.3. Tamaño (dimensiones del local), TL
   - 3.4. Impuestos locales, IL

Para el análisis cuya finalidad fue la selección del mejor local se decidió recurrir al Proceso Analítico Jerárquico (AHP) según lo propuso Saaty [14], en vez de otros métodos de decisión multicriterio (ponderación simple por puntos, tabulación cruzada, preferencias por rangos), ya que provee un procedimiento matemático basado en vectores y matrices para verificar la consistencia de las opiniones o asignaciones comparativas por pares de criterios [15].

La jerarquía del AHP se aprecia en la Figura 7: en la parte superior está el objetivo del análisis (nivel 0: Selección del local); los tres criterios principales de localización (Factores de la comunidad; Desastres naturales; y Características del local) en el nivel 1; los subcriterios conforman el segundo nivel y, al final, se indica que hay cuatro locales de los que debe elegirse uno.

 ISSN: 2007 8102

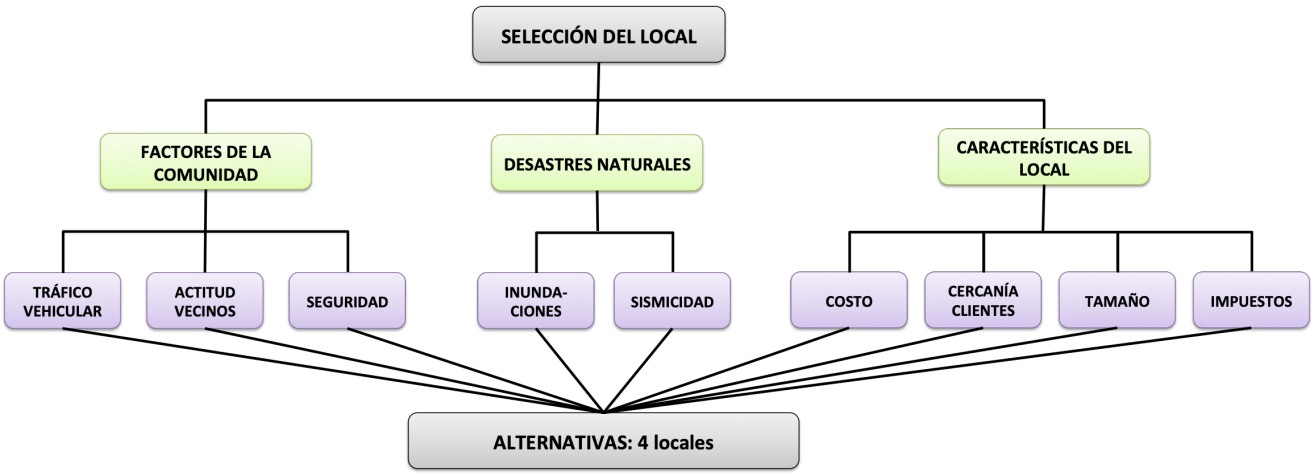


Figura 7. Diagrama de la jerarquía de criterios y subcriterios

Las comparaciones entre pares de criterios se obtuvieron de las fuentes apropiadas: por ejemplo, los tres criterios principales los calificaron el dueño de Mr. Hielo junto con el gerente de ventas y el de administración y finanzas; mientras que para los dos subcriterios del criterio "desastres naturales" se recurrió a información geográfica especializada.

Consistencia

Sea A la matriz recíproca de comparaciones apareadas de tamaño n, de cualquier nivel de la jerarquía y λ_{max} el mayor de sus valores propios (*eigenvalues*). De acuerdo con Saaty [14], la consistencia de la matriz A es aceptable si su *razón de consistencia* CR = CI/RI no excede al 10% (de lo contrario hay que revisar el proceso por el que se obtuvo A), en donde CI es el *índice de consistencia* de A, definido CI = $(\lambda_{max} - n)/(n-1)$ y RI el *índice aleatorio de consistencia* que el mismo Saaty estimó para diferentes tamaños y que se reproduce en la Tabla 1.

Tabla 1. Índice de consistencia aleatorio

Orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Fuente: reproducida de Saaty [14]

Si A satisface la propiedad transitiva $a_{ij} = a_{ik}*a_{jk}$ para todo i, j, k, entonces $\lambda_{max} = n$ y, por lo tanto, CR = 0. Esto siempre sucede cuando A es de orden 2, pero si $n \geq 3$ origina $\lambda_{max} \geq n$ implicando que CR ≥ 0, porque debido a la subjetividad de las opiniones en las que se basan los elementos de A no es de esperar que se cumpla la transitividad en todos ellos. Por ejemplo, en la comparación de los criterios principales se obtuvo la matriz de la Tabla 2.

Tabla 2. Criterios principales

	FC	DN	CL
FC	1	1/3	1
DN	3	1	3
CL	1	1/3	1

En la Tabla 2 se leen (siempre de encabezado de fila a encabezado de columna) DN = 3FC = 3CL y FC = CL, implicando CR = 0 y se aceptan como válidas las comparaciones. Las prioridades de los criterios resultan de un cálculo simple: la media aritmética normalizada de cada fila de la matriz. Se obtienen las prioridades FC = 20%, DN = 60% y CL = 20%. En el ánimo del tomador de decisiones, el riesgo de algún desastre natural (DN) pesa el triple que los factores de la comunidad (FC) y también tres veces las características del local (CL).

Por otra parte, la matriz de comparaciones entre los cuatro subcriterios del criterio "Características del local" es la de la Tabla 3.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 3. Subcriterios de las características del local

	CA	CC	TL	IL
CA	1	1/3	1	3
CC	3	1	2	7
TL	1	1/2	1	3
IL	1/3	1/7	1/3	1

En ella se observa que CC = 7IL y TL = 3IL, igualdades que rinden CC = 7/3 TL pero que no coincide con la comparación directa CC = 2TL. Es mejor calcular la razón de consistencia de la matriz de la Tabla 3, que resulta ser CR = 0.0059 = 0.59%, porque λ_{max} = 4.0157 y RI = 0.89. La matriz es válida porque la razón de consistencia es menor del 10%. Aunque el mayor valor propio se puede obtener fácilmente con cualquier programa matemático o en línea (como en [16]), aquí se prefirió hacerlo con el modelo de Excel de la Figura 8, ya resuelto con el algoritmo GRG de Solver: se maximiza la casilla D9 con la condición de que el rango D11:D14 iguale al F11:F14 y que D9 sea igual o mayor que 4, que es el orden de la matriz C4:F7. El modelo de la Figura 8 contiene también al vector propio correspondiente a λ_{max} en la columna H, cuyos valores normalizados rinden, en la columna J, las prioridades de los subcriterios analizados.

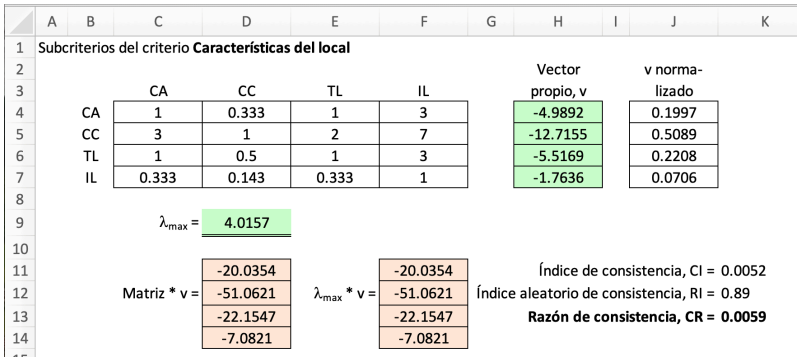


Figura 8. Características del local, razón de consistencia y prioridades

Dentro de las características del local, el subcriterio CC (cercanía a los clientes) tiene un peso del 50.89%, es decir una importancia similar a la de los otros tres subcriterios juntos. Puesto de otra manera: en las características del local, la cercanía a los clientes vale, más o menos, 2.5 veces el costo (CA), 2.3 veces el tamaño del local (TL) y 7.2 veces los impuestos (IL).

La matriz de comparaciones de los subcriterios del criterio DN (Desastres Naturales) tiene una razón de consistencia CR = 0 al ser de orden dos y la de los subcriterios del criterio FC (Factores de la Comunidad), cuya matriz de comparaciones no se incluye, rindió un CR = 3.70% por un análisis similar al de las características del local. El mismo procedimiento se aplicó para obtener la prioridad de cada uno de los cuatro locales respecto de cada subcriterio (nueve matrices, que tampoco se muestran en este documento).

El resumen del análisis de la Fase 2 se da en la Tabla 4, en la que el peso de cada subcriterio es el producto de su prioridad por la del criterio que lo contiene. El valor de cada local es la puntuación que se obtiene mediante el promedio ponderado de sus prioridades por los pesos.

Tabla 4. Prioridades y puntuación ponderada final

								Prioridad de las alternativas				
Criterios principales	**Prioridad**	**CR**	**Subcriterios**	**CR**	**Prioridad**	**Peso**	**Local_A**	**Local_B**	**Local_C**	**Local_D**	**CR**
FC: Factores de la Comunidad	0.20		TV: Tráfico Vehicular		0.7695	0.1539	0.4181	0.2497	0.2226	0.1096	0.0172
			AV: Actitud de los Vecinos	0.0370	0.1040	0.0208	0.0610	0.0976	0.2875	0.5539	0.0157
			SE: SEguridad		0.1265	0.0253	0.0931	0.0755	0.5278	0.3036	0.0126
DN: Desastres Naturales	0.60		IN: INundaciones	0.0000	0.7500	0.4500	0.0836	0.3376	0.1998	0.3789	0.0183
		0.0000	ZS: Zona de Sismicidad		0.2500	0.1500	0.5652	0.2296	0.0979	0.1073	0.0128
CL: Características del Local	0.20		CA: Costo de la Adecuación		0.1997	0.0399	0.5700	0.2801	0.0946	0.0552	0.0062
			CC: Cercanía a los Clientes	0.0059	0.5089	0.1018	0.6256	0.2217	0.0788	0.0739	0.0030
			TL: Tamaño del Local		0.2208	0.0442	0.4532	0.3633	0.1253	0.0581	0.0307
			IL: Impuestos Locales		0.0706	0.0141	0.5350	0.1589	0.1881	0.1181	0.0183
						Puntuación	**0.3044**	**0.2808**	**0.1782**	**0.2367**	

Resultados

Para alcanzar el objetivo de habilitar un local como centro de distribución del producto que Mr. Hielo realiza los días jueves a sus clientes del Estado de México de modo que se surta a un mayor número que el actual, se procedió secuencialmente a: 1º) Identificar un lugar geográfico central de la zona de dispersión de los actuales clientes; 2º) Buscar en las inmediaciones de este lugar algunos locales en arrendamiento potencialmente buenos para adaptar el centro de distribución.

Los dos modelos (optimización no lineal y centro de gravedad) utilizados en la primera fase apuntaron a una estrecha zona central, que sirvió de referencia para buscar locales adecuados en sus cercanías pobladas.

Enseguida se procedió a evaluar los cuatro locales que se consideraron alternativas viables para instalar el centro de distribución. En concordancia con la puntuación que está al final de la Tabla 4, lo mejor es acondicionar el Local 1 como el deseado nuevo centro de distribución del hielo, pues es que calificó con el mayor puntaje (0.3044), que en promedio es (0.3044-0.2808)/0.2808 = 8.40% mejor que el Local 2, 70.84% que el Local 3 y 28.62% que el Local 4.

Hubo algunas matrices que originalmente presentaban un CR > 10% y se tuvo que repetir el proceso de consulta, haciendo notar a los participantes la inconsistencia de algunas de sus comparaciones.

Trabajo a futuro

En caso de que realmente se adapte el nuevo centro de distribución en el local seleccionado, sería de gran utilidad diseñar un programa computarizado de optimización de la ruta de reparto de las bolsas de hielo a los clientes que les corresponda.

Conclusiones

Se prefirió utilizar la frase *centro de distribución* en vez de *almacén* para designar al local desde el cual distribuir el producto debido al pequeño lapso de permanencia del producto en él y, aunque no se prevén operaciones mayores relacionadas con el flujo de materiales, sí se tiene que establecer la ruta de reparto dado el subconjunto de clientes a surtir y el estado del tráfico vehicular. El nuevo esquema de entrega de los jueves, según la alta administración, es enviar las bolsas de hielo al caer la tarde de los miércoles al nuevo local, descargar y al día siguiente cargar los paquetes a entregar y distribuirlos. Se gana en cobertura de clientes a cambio de una mayor paga al chofer. La logística final tendrían que discutirla los ejecutivos con el dueño de la empresa.

El uso del sencillo modelo de optimización no lineal generó mayor confianza en los directivos que el del centro de gravedad, aún cuando éste es más intuitivo y que casi coincidieron en el resultado.

Fue complicado lograr la participación de los directivos en las reuniones para explicar el AHP, entender su importancia y dar las valoraciones en las comparaciones de pares de criterios. Más todavía cuando se tuvieron que rectificar algunas, después que el proceso de verificación de la consistencia ésta fue inaceptable en algunas matrices.

Y que tanto la introducción de datos como su procesamiento se haya hecho en Excel también resultó muy conveniente al no tenerse que adquirir ningún otro programa.

Este trabajo está basado en una parte del informe técnico de residencia profesional de dos estudiantes de Ingeniería Industrial del TecNM/Instituto Tecnológico de Pachuca (Pedro César Ruiz Escamilla y Nayeli Chavarría Godínez) dirigidos por el autor y resultó, sin duda, satisfactorio tanto para ellos y los asesores externo e interno como para la empresa.

Bibliografía

[1] T. L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, New York: McGraw-Hill, 1980.

[2] M. Dehghanimohammadabadi y N. Kabadayi, «A two stage AHP multiobjective simulation optimization approach in healthcare,» *International Journal of the Analytic Hierarchy Process,* vol. 12, nº 1, pp. 117-135, 2020.

[3] I. Canco, D. Kruja y T. Iancu, «A reliable method for quality decision making_a case study in business,» *Sustainability 2021, 13, 13932. https://doi.org/ 10.3390/su132413932,* 2021.

[4] I. Abdou y M. Tkiouat, «An AHP application for failure risk-based ranking of electric vehicle projects,» *International*

 ISSN: 2007 8102

Journal of the Analytic Hierarchy Process, vol. 13, nº 3, pp. 510-525, 2021.

[5] G. Akman, A. İ. Boyaci y S. Kurnaz, «Selecting the suitable e_commerce marketplace with AHP in the context of COVID19,» *International Journal of the Analytic Hierarchy Process,* vol. 14, nº 3, pp. 1-36, 2022.

[6] M. Akhrouf y M. Derghoum, «Use of AHP model for selection of health infrastructure projects,» *International Journal of the Analytic Hierarchy Process,* vol. 15, nº 1, pp. 52-77, 2023.

[7] P. Madzik y L. Falat, «State-of-the-art on analytic hierarchy process in the last 40 years: Literature review based on Latent Dirichlet Allocation topic modelling,» *PLoS ONE 17(5): e0268777. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268777,* 2022.

[8] P. Němec y P. Stodola, «Optimization of the multifacility location problem using widely available office software,» *Algorithms 2021, 14, 106. https://doi.org/10.3390/a14040106,* 2021.

[9] A. Salami, B. Afshar-Nadjafi y M. Amiri, «A two stage optimization approach for healthcare facility location-allocation problems with service delivering based on genetic algorithm,» *Int J Public Health 68:1605015. doi: 10.3389/ijph.2023.1605015,* 2023.

[10] M. Vargas-Santiago, D. A. León-Velasco, R. Marcelín Jiménez y L. A. Morales-Rosales, «Complementing solutions for facility location optimization via video game crowdsourcing and machine learning approach,» *Appl. Sci. 2023, 13, 4884. https://doi.org/10.3390/app13084884,* 2023.

[11] S. Chopra y P. Meindl, Administración de la Cadena de Suministro, 3ª edición ed., México: Pearson Educación, 2007.

[12] F. S. Hillier y G. J. Lieberman, Introducción a la Investigación de Operaciones, 9ª ed. ed., México: McGraw-Hill, 2010, p. 543.

[13] A. L. Tiraboschi, «El centro geográfico de una región,» *Revista de Educación Matemática,* pp. 23-40, 2018.

[14] T. L. Saaty, «How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process,» *Interfaces,* pp. 19-43, 1994.

[15] R. W. Saaty, «The Analytic Hierarchy Process–What it is and how it is used,» *Mathl Modelling,* pp. 161-176, 1987.

[16] Matrixcalc.org, «Matrix calculator: cálculo de valores propios y vectores propios,» [En línea]. Available: https://matrixcalc.org/es/. [Último acceso: 28 Junio 2023].

ISSN: 2007 8102

La sustentabilidad en la cadena de suministros – Una revisión bibliométrica

J.L. García Alcaraz[1], J. Meza Jiménez[2], M. Escamilla López[3], H.E. Eduardo Cárdenas Velasco[4]*, A. Realyvásquez Vargas[5]
[1]*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, jorge.garcia@uacj.mx*
[2]*Tecnologico Nacional de México / IT Colima, jorge.meza@colima.tecnm.mx*
[3]*Tecnologico Nacional de México / IT Colima, miguel.escamilla@itcolima.edu.mx*
[4]*Tecnologico Nacional de México / IT Colima, eduardo.cardenas@colima.tecnm.mx*
[5]*Tecnologico Nacional de México / IT Tijuana, arturo.realyvazquez@tectijuana.edu.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Industrial*

Resumen Este artículo reporta un análisis bibliométrico de 1726 documentos extraídos de Scopus y que tienen el título la palabra “cadena de suministros sustentable” (CSS). Se usa el software VOSviewer para el análisis de la información y los resultados indican que la investigación en CSS está en constante crecimiento, que las principales instituciones que generan documentos son la Universidad de Kassel (Alemania) y la Universidad de Teherán (Irán), mientras que los autores más productivos son que Joseph Sarkis (Estados Unidos), Seuring, Stefan (Alemania) y Tseng, M.L. y Lim, M.K. de Taiwán. Sin embargo, los países que más documentos generan son India, China, Estados Unidos, Reino Unido e Irán, mientras que las palabras clave más usadas son la sustentabilidad y administración de la cadena de suministro sustentable. Finalmente, los autores más citados son Seuring and Müller y Carter and Rogers.

***Palabras clave**: Revisión bibliométrica, Cadena de suministro sustentable, VOSviewer*

Abstract This article reports a bibliometric analysis of 1726 documents extracted from Scopus and having the word "sustainable supply chain" (SSC) in the title. VOSviewer software is used for data analysis, and the results indicate that SSC research is constantly growing and that the leading institutions generating papers are the University of Kassel (Germany) and the University of Tehran (Iran). At the same time, the most productive authors are Joseph Sarkis (USA), Seuring, Stefan (Germany) and Tseng, M.L. and Lim, M.K. from Taiwan. However, the countries generating the most papers are India, China, the United States, the United Kingdom and Iran, while the most used keywords are sustainability and sustainable supply chain management. Finally, Seuring, Müller, and Carter and Rogers are the most cited authors.

***Key words**: Bibliometric review, Sustainable Supply Chain, VOSviewer*

Introducción

El concepto de cadena de suministro sustentable (CSS) se originó al reconocer que las organizaciones deben extender sus esfuerzos de sostenibilidad más allá de sus procesos internos y considerar los impactos ambientales, sociales y económicos de toda su cadena de suministro (CS) [1]. La gestión sostenible de la cadena de suministro (GCSS) implica integrar los principios de sostenibilidad en la adquisición y gestión de bienes y servicios a lo largo de toda la CS [2] y su objetivo es lograr ventajas económicas a largo plazo, abordando también objetivos de desempeño social y medioambiental [3].

Se pueden adoptar estrategias para implantar la GCSS en la industria. Primero, el intercambio de conocimientos dentro de la CS es crucial para comprender las prácticas sostenibles y la economía circular [4], y puede lograrse mediante la colaboración y la comunicación de las partes interesadas. Sin embargo, se requiere priorizar y clasificar los factores clave de las prácticas de fabricación sostenible, tales como atender las regulaciones gubernamentales y apoyar a las iniciativas de la CSS, disminuir reprocesos, y aplicar logística inversa, lo que permite reducir costos, mejorar la calidad y aumentar la inversión extranjera.

ISSN: 2007 8102

Además, las plataformas y tecnologías digitales pueden mejorar la GCSS [5]; por ejemplo, la tecnología Blockchain aporta transparencia, trazabilidad e intercambio de información en tiempo real [6] y en general, la adopción de prácticas y tecnologías ecológicas en la CS ha demostrado mejorar el rendimiento y la resiliencia, tal como se demostró durante la pandemia COVID-19 [7].

Medir el éxito de un programa de CSS en una industria manufacturera requiere identificar y evaluar los factores críticos. Un enfoque consiste en utilizar un marco de criterios de innovación sostenible que incluya las dimensiones de la sustentabilidad, la ambiental, económica y social [8]. Lo anterior se debe a que el rendimiento de la CSS es un problema multidimensional y, para medir el éxito, las ponderaciones de los criterios de evaluación deben agregarse y promediarse. Son pocos los estudios empíricos sólidos sobre los criterios de innovación de la CSS en entornos de manufactura, por lo que se necesita más investigación para desarrollar escalas y herramientas de medición para evaluar los programas completos.

La importancia económica del estudio de la CSS radica en el potencial de mejora del rendimiento y la competitividad. Las investigaciones han demostrado que las prácticas lean y ecológicas integradas repercuten significativamente en el rendimiento sostenible de las CS, incluida la dimensión económica [2]. Es decir, las empresas incrementan su rendimiento económico y reducen costos mediante la implementación de prácticas sostenibles, como Kaizen, calidad y mantenimiento productivo [9, 10]. Además, la GCSS aumenta la satisfacción del cliente, la reputación de la marca y la cuota de mercado, contribuyendo al éxito económico [2]. En conclusión, el estudio de la CSS permite a las empresas identificar oportunidades de mejora en su rendimiento financiero, obtener una ventaja competitiva en el mercado [11], aumentar la cuota de mercado, la fidelidad de los clientes y la reputación de la marca [12], se contribuye a la preservación del medio ambiente y al bienestar social [13].

Así, la CSS debe estudiarse por varias razones. En primer lugar, investigaciones han demostrado que la CSS repercute positivamente en los resultados de la empresa, incluidos los financieros [12, 13], permite identificar prácticas y estrategias que favorecen los resultados económicos, como el aumento del rendimiento de los activos y del patrimonio neto [13]. En segundo lugar, la CSS genera una ventaja competitiva [12], atraer a clientes concienciados con el medio ambiente [12]. En tercer lugar, estudiar la sostenibilidad de una CSS permite abordar cuestiones medioambientales y su impacto social [13].

Sin embargo, la implantación de la CSS enfrenta barreras que dificultan su adopción. Por ejemplo, la falta de trazabilidad y transparencia y los problemas de conformidad [7], la falta de conocimientos técnicos y formación, la elevada inversión inicial y el temor a la carga de trabajo adicional [14] y falta de consenso y concienciación [15]. Superar estas barreras requiere enfoques estratégicos y asignación de recursos, y se han propuesto la integración de blockchain, IoT y análisis de big data para mejorar la trazabilidad y la transparencia, respaldar el marco Evidence, Verifiability, and Enforceability (EVE)) y proporcionar conocimientos técnicos y formación [7].

Existen varios informes industriales relativos a la CSS en la industria; por ejemplo, Bui, et al. [16] proporcionan un análisis basado en datos de la CSSM, identificando indicadores clave y discutiendo perspectivas para futuros estudios e implementación en la industria; Acioli, et al. [17] exploran la aplicación de las tecnologías de la Industria 4.0 en la CSS, particularmente en el contexto de la pandemia COVID-19, e identifica las lagunas y limitaciones de la investigación en la literatura.

Dada la importancia de la GCSS, se han publicado varias reseñas bibliográficas. Por ejemplo, Marshall, et al. [18] examinan la adopción de prácticas de CSS desde el punto de vista social e identifican los impulsores detrás de su implementación, explorando el papel de la cultura de sostenibilidad y la orientación empresarial en la configuración y el refuerzo de la adopción de estas prácticas; Kusi-Sarpong, et al. [8] proponen un marco de innovación de sostenibilidad de la cadena de suministro y una metodología de evaluación, e identifican criterios para la innovación de GCSS y proporciona un marco para investigar y priorizar estos criterios en las empresas manufactureras. También, Bui, et al. [16] presentan una revisión bibliográfica basada en datos de las tendencias de la GCSS hacia la disrupción y la ambidexteridad organizativa y analizan las tendencias temporales y la distribución geográfica de la literatura en este campo.

En una revisión de literatura en la base de datos Scopus realizada el día 23 de Julio de 2023, se han encontrado un total de 1726 documentos que tienen en su título la palabra "sustainable supply chain", lo que indica la gran importancia que tiene este tópico. El primer documento que integra ese concepto apareció en un informe de Stevenson, et al. [19] y pasaron tres años para que Kumar and Srivastava [20] y Van Nunen, et al. [21] volvieran

ISSN: 2007 8102

a usar el termino nuevamente en un documento. La evolución del tópico ha sido tan creciente, que solo en el año 2022 se han publicado 265 documentos y para lo que va del 2023 (23 de Julio), ya existen 205, por lo que seguramente se rebasará la cifra del año pasado.

De esos 1726 documentos existentes, 4 se refieren a revisiones bibliométricas, en las que se dan numeralias de los documentos publicados en diferentes contextos, los cuales son relativamente recientes. Por ejemplo, Nimsai, et al. [22] hace un mapeo de las tendencias del conocimiento generado en relación a CSS, Theeraworawit, et al. [23] analiza la CSS en el entorno de la economía circular y analizan sus relaciones, y Yu, et al. [24] se enfoca en analizar la relación de CSS y la tecnologías limpias que le dan soporte. Por lo anterior se observa que las revisiones bibliométricas existentes han sido enfocadas a analizar solamente tres aspectos, la generación de conocimiento, la economía circular y las tecnologías verdes. Esos estudios son fragmentos de la cantidad de documentos existentes y enfocados a la CSS, por lo que no dan una visión general de las aplicaciones y documentos publicados. El objetivo de este estudio es realizar una revisión bibliométrica de todos los documentos que integran en el título la palabra "sustainable supply chain" y que se encuentran en la base de datos Scopus.

Metodología

Para realizar la revisión bibliométrica de los 1726 documentos, se hace uso de dos etapas, una enfocada a la identificación documentos y su depuración, y otra enfocada al análisis de esta. Esas etapas se discuten a continuación.

Identificación de documentos y depuración

Para la identificación de los datos, se hace uso de la base de datos SCOPUS, dado que ésta integra resúmenes, títulos, autores, entre otros, de documentos de aproximadamente 11,678 editoriales que cumplen con ciertos criterios de calidad, lo que permite hacer inferencias acertadas (Lasda Bergman, 2012). La ecuación de búsqueda era que se tuviera en el título la palabra “sustainable supply chain”, lo que garantizaba que era el tópico central. En este caso, se incluyeron artículos en revistas, artículos en conferencias, capítulos de libro, revisiones, notas editoriales, libros, entre otros. El periodo de estudio fue desde el año 1960 al 23 de julio de 2023. Así mismo, no se usó ninguna restricción en relación con la etapa de publicación de los documentos, incluyendo aquellos que ya eran finales o que se encontraban en prensa. También, no se restringió nada en relación el idioma en que se encontraba el documento o si era de acceso abierto o no.

Desde Scopus se descargó la base de datos en formato CSV (valores separados por comas) dado que es el formato exigido por el software de análisis. La depuración consistió en identificar los diferentes nombres que puede tener un mismo autor, ya que muchas veces un simple acento hace la diferencia. Así, el método PRISMA sirvió de guía en las pocas actividades llevadas a cabo en esta etapa (Page et al., 2021).

análisis de los documentos

Con la base de datos depurada, se usa el software VOSviever V. 1.6.18 para el análisis de la información. Los análisis estuvieron enfocados a identificar lo siguiente:

1. Autores, instituciones y países en el tópico de SSC.
2. Palabras clave usadas por los autores y de indexación.
3. Documentos, revistas, autores, instituciones y países más citados.

Para la representación de los resultados se hace uso de gráficas y tablas, obtenidas desde el explorador de Scopus, VOSviever y apoyado por Excel.

Resultados y discusión

Numeralia

Se identificaron 1736 documentos, de los cuales 1118 eran artículos, 270 artículos de conferencias, 186 capítulos de libro, 98 revisiones, 28 notas editoriales, 14 libros, 6 erratas, 4 notas técnicas y 2 pequeñas encuestas. Además, es interesante observar que la CSS es de interés en varias áreas del conocimiento; por ejemplo, se han identificado 913 relacionados con Empresa, Gestión y Contabilidad, 667 con Ingeniería, 465 con Ciencias

 ISSN: 2007 8102

medioambientales, 436 con Ciencias de la Decisión, 426 con Informática, 325 con Ciencias Sociales, 309 con Energía, 250 con Economía, Econometría y Finanzas, 133 con Matemáticas, por mencionar solo algunos.

Se identificaron un total de 605 revistas en las que se publica el tópico de CSS, entre las que se encuentra Sustainability Switzerland con 114 documentos, Journal of Cleaner Production con 109, International Journal of Production Economics con 38, International Journal of Production Research con 34, International Journal of Supply Chain Management 31, Supply Chain Management 25, Annals of Operations Research y Business Strategy and the Environment 24, por mencionar solamente algunos.

Muchas han sido las entidades gubernamentales que han demostrado interés en CSS, por lo que ha financiado muchos de los documentos identificados, entre las más importantes se encuentran National Natural Science Foundation of China con 103, Fundamental Research Funds for the Central Universities con 19, Ministry of Science and Technology (Taiwan) con 19, National Office for Philosophy and Social Sciences con 17, Ministry of Education of the People's Republic of China con 13, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico con 11, Fundação para a Ciência e a Tecnología con 11, National Research Foundation of Korea y Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada con 10

Tendencias

La Figura 1 ilustra la tendencia que ha tenido la publicación de documentos en el tópico de CSS, donde se ha agregado una línea de tendencia, la cual tiene un ajuste del 98.52%. Se observa que el primer documento fue publicado en el año 2002 por Stevenson, et al. [19], lo permite concluir que este término es relativamente nuevo. Sin embargo, después de dos años, Van Nunen, et al. [21] y Kumar and Srivastava [20] volvieron a usar el término y después de esos documentos, la producción ha sido creciente hasta el año 2022.

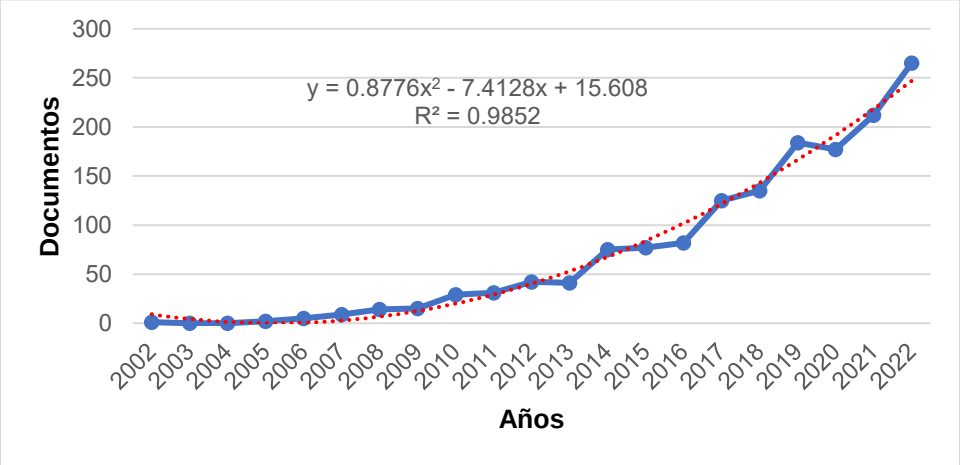


Figura 1. Tendencias de documentos publicados sobre CSS

Principales instituciones

Se identificaron un total de 160 instituciones que tiene al menos cinco documentos que integran en el título la frase de CSS. La Figura 2 ilustra las 10 principales instituciones, donde se observa que la Universidad de Kassel en Alemania es la que lidera las investigaciones en este tópico, seguida por la Universidad de Teherán en Irán y el Worcester Polytechnic Institute en Estados Unidos de América. De esa lista de 10 instituciones en la Figura 2 se observa que tres de ellas se encuentran en Irán, por lo que es un país en el que se ha priorizado este tipo de investigaciones. La lista completa de instituciones y la cantidad de documentos que han producido puede ser consultada como material suplementario.

Principales autores

Se identificaron un total de 159 autores con al menos 3 documentos. En este caso, se observa que Joseph Sarkis de Worcester Polytechnic Institute (Estados Unidos) lidera la lista con 28 documentos, seguido por Seuring, Stefan de la University of Kassel (Alemania). Sin embargo, investigadores de países orientales como Tseng, M.L. y Lim, M.K. de Taiwán, también han sobre salido; asimismo, autores en esa lista aparecen 3 de India. En el material

 ISSN: 2007 8102

suplementario se listan los autores que tienen al menos tres documentos y es importante observar cómo han surgido muchos grupos de investigación alrededor del mundo.

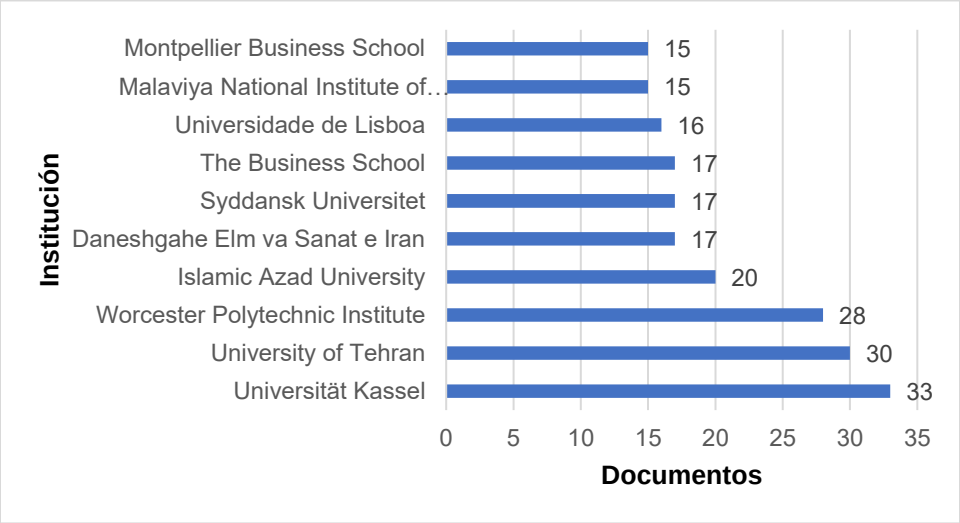


Figura 2. Principales instituciones que publican sobre CSS

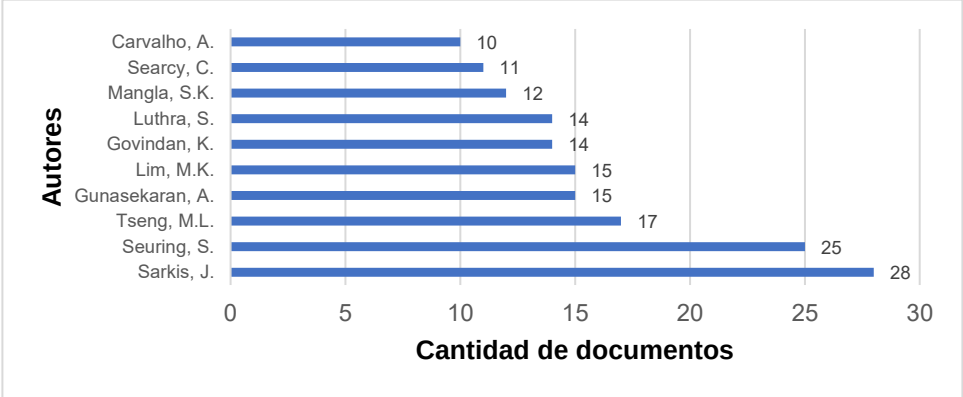


Figura 3. Principales autores

Principales países

La Figura 4a ilustra los países en los cuales se encuentra adscrito el autor de correspondencia, y tal como se había mencionado anteriormente en relación con los autores, India es el país que lidera las investigaciones en este tópico, seguido por Estados Unidos de América e irán. En la Figura 4b se ilustran las relaciones de colaboración entre los países, donde claramente se observa que India, China, EUA, Reino Unido, Irán y Francia son los que más se relacionan. Sin embargo, obsérvese que Canadá, USA y Alemania son los países con mayor antigüedad investigando este tópico.

Principales palabras clave

Se identificaron un total de 3412 palabras clave usadas por los autores en sus documentos analizados y las principales quince son las siguientes: sustainability -404, sustainable supply chain management -303, sustainable supply chain -293, supply chain management -221, supply chain -167, sustainable development -82, sustainable supply chains -50, sustainable supply chain management (sscm) -47, literature review -46, circular economy -44, industry 4.0 -43, blockchain -37, corporate social responsibility -37, triple bottom line -36 y sustainable -32. Se observa que muchas integran una combinacion de las dos palabras “supply chain” y “sustainability o “sustainable”, integrando además algunos aspectos sociales y de tecnologías que facilitan su aplicación.

 ISSN: 2007 8102

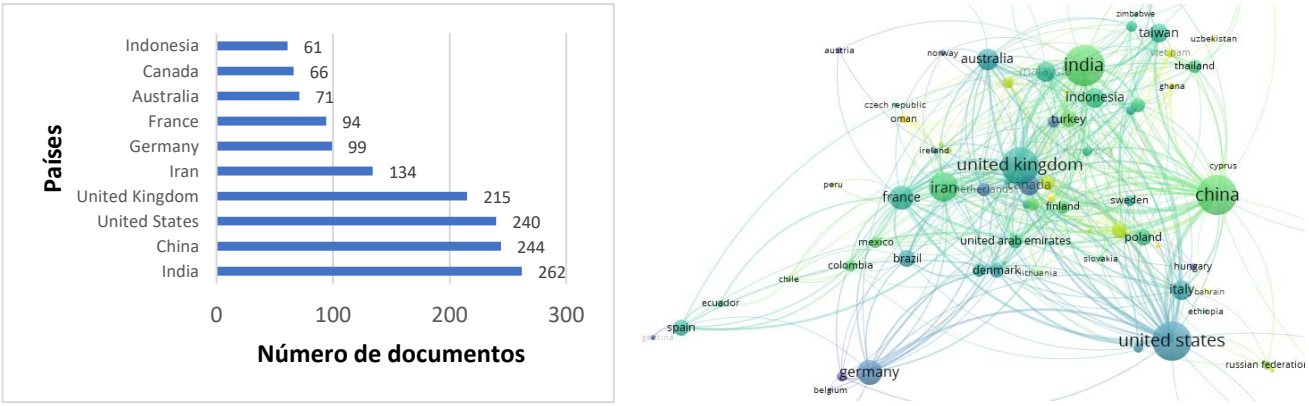


Figura 4. a. Principales países b. Relaciones entre países

La Figura 5 ilustra la relación entre esas palabras, donde el color purpura indica que son las más antiguas, tales como “social responsability” y “firm performance”; los verdes son un poco más recientes, tales como sustainability y “sustainable supply chain”; y las amarillas son las que se están utilizando actualmente, tales como “environmental issues” y “industry 4.0”.

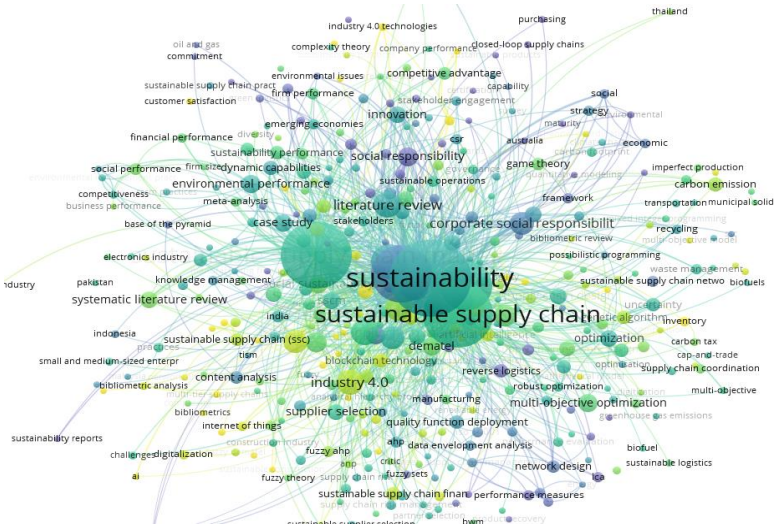


Figura 4. Principales palabras clave usadas

Documentos, Journals, países e instituciones más citadas

En relación con los documentos han sido citados, por lo que unos sobresalen sobre otros. En la Tabla 1 se listan los principales documentos más citados y la lista completa aparece como material suplementario. Se observa que estos se enfocan a conceptos básicos y nuevas tecnologías que facilitan la sustentabilidad.

Tabla 1. Documentos más citados

Autor	Documento	
Seuring and Müller [25]	From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management	3831
Carter and Rogers [26]	A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory	2347
Saberi, et al. [27]	Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management	1425

 ISSN: 2007 8102

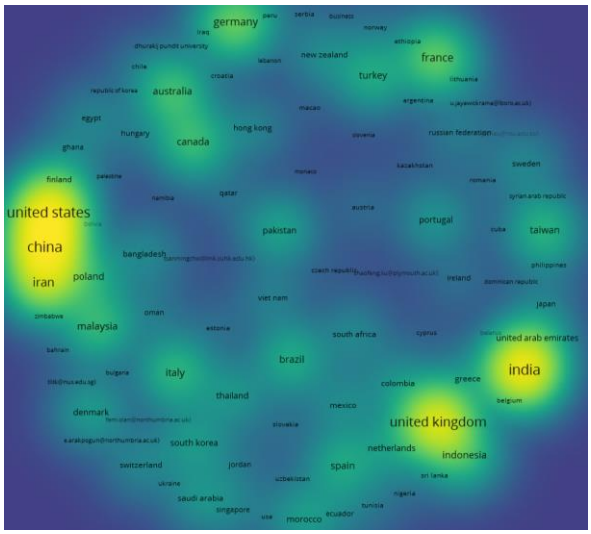
Linton, et al. [28]	Sustainable supply chains: An introduction	1192
Pagell and Wu [29]	Building a more complete theory of sustainable supply chain management using case studies of 10 exemplars	1138
Carter and Liane Easton [30]	Sustainable supply chain management: evolution and future directions	1030
Ahi and Searcy [31]	A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management	913

Con relación a las revistas más citadas, se identificaron un total de 605 y algunas son las siguientes: Journal of Cleaner Production -13930, International Journal of Production Economics -5924, International Journal of Physical Distribution and Logistics Management -4891, Journal of Supply Chain Management -3045, International Journal of Production Research -2840, Sustainability (Switzerland) -2153, Resources, Conservation and Recycling -1966, Supply Chain Management -1877, Journal of Operations Management -1791, Omega (United Kingdom) -1652, entre otras. En términos generales, las revistas son especializadas en tópicos de producción limpia y se relacionan con la sustentabilidad, la administración de operaciones y la conservación de los recursos.

Entre los países más citados se encuentra Estados Unidos -17234, Alemania -11448, Reino Unido -10378, Canadá 8991, India 7890, China 6132, Irán -4164, Francia -2884, Dinamarca 2805, Taiwán 2303, Malasia -1952, Australia -1863, Italia -1658, España – 1537 y Turquía -1225. De esa lista se observa que por America aparecen 2 países, mientras que por Europa y Asia aparecen 6, y lamentablemente, ninguno de Latinoamérica. Es importante señalar que al analizar las relaciones que existen entre los países, son pocas las colaboraciones que se tienen entre ellos, lo cual se puede deber a la novedad de la línea de investigación.

La Figura 5a indica un gráfico de densidad con los países que más han sido citados. Las secciones amarillas son países que han sido citados recientemente y lo que indica que EUA, China, Irán, Reino Unido, India, Francia, Alemania, Canada y Australia son los que más impacto están teniendo en CSS. La Figura 5b indica las revistas que están siendo citadas hace poco, donde claramente se observa que Sustainability (Zwitzerland) y el Journal of Cleaner Production son los que lideran; sin embargo, revistas como el International Journal of Production Economics, International Journal of Logistics, International Journal of Supply Chain empiezan a ser citados.

Finalmente, las instituciones más citadas son las siguientes: University Of Nevada -2347 (EUA), Worcester Polytechnic Institute -1425 (EUA), University Of Ottawa -1192 (Canadá), University Of Kassel – 2284 (Alemania), École De Technologie Supérieure -647 (Canadá), Oregon State University -599 (EUA), York University -599 (Canadá), University College – 565 (Irlanda), University Of Tehran – 565 (Irán), Vit University -485 (India), University Of Oldenburg -428 (Alemania).De esa lista de instituciones, se ve un claro dominio de instituciones establecidas en EUA, Canadá y países europeos, sobresaliendo una universidad de Irán e India.



a b

Figura 5. a. Países mas citados b. Revists mas citadas

 ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

Esta revisión de literatura se enfocó en identificar los documentos que tienen en su título la palabra “sustainable supply chain”; sin embargo, futuros trabajos se enfocarán en analizar solamente aquellas aplicaciones al interior de los procesos productivos.

Conclusiones

Después de realizar un análisis bibliométrico a 1726 documentos con la palabra “cadena de suministro” en el título, se concluye lo siguiente:

1. Es un tópico relativamente nuevo, ya que tiene solamente dos décadas de haber aparecido, por lo que se encuentra en constante crecimiento, casi de manera exponencial.
2. Los países que más publican sobre este tópico son India, China y los Estados Unidos, aunque los dos primeros no son tan frecuentemente citados. La producción de documentos sobre CSS se encuentra en Europa, América del norte y Asia, donde además se encuentran las instituciones con grupos de investigación más consolidados.
3. El estudio de la CSS es de interés para varios organismos que las financian, tales como la Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China, los Fondos de Investigación Fundamental para las Universidades Centrales y el Ministerio de Ciencia y Tecnología de Taiwán.
4. Los grupos de investigación más consolidados se encuentran en Estados Unidos y Alemania, aunque países como Irán, China e India están emergiendo rápidamente en producción y citas generadas.
5. Los principales revistas que publican este tópico son el Sustainability Switzerland, Journal Of Cleaner Production, International Journal Of Production Economics, International Journal Of Production Research, International Journal Of Supply Chain Management, Supply Chain Management y Annals Of Operations Research.
6. Entre los autores más citados se encuentran Seuring S., Müller M., Saberi S., Kouhizadeh M., Sarkis J., Shen L., Linton J.D., Klassen R., Jayaraman V., Pagell M. y Wu Z.

Material complementario

El material complementario se encuentra en un repositorio y puede ser descargado de: Burgos Espinoza, Ingrid Iovana; García-Alcaraz, Jorge Luis (2023), “Environmental attitudes in Engineering”, Mendeley Data, V1, https://doi.org/10.17632/n2s6jntmdp.1

Referencias

[1] B. Tundys and T. Wiśniewski, "The Selected Method and Tools for Performance Measurement in the Green Supply Chain—Survey Analysis in Poland," *Sustainability,* vol. 10, no. 2, p. 549, 2018. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2071-1050/10/2/549.

[2] M. Hussain, R. Al-Aomar, and H. Melhem, "Assessment of lean-green practices on the sustainable performance of hotel supply chains," *International Journal of Contemporary Hospitality Management,* vol. 31, no. 6, pp. 2448-2467, 2019, doi: 10.1108/IJCHM-05-2018-0380.

[3] M. Lati, H. A. Aghajani, M. R. Lotfi, and P. Ghasemi, "Multiobjective Three-Level Supply Chain Management Problem Under Uncertainty Using Gravitational Search Algorithm," *Discrete Dynamics in Nature and Society,* vol. 2022, pp. 1-11, 2022. [Online]. Available: https://EconPapers.repec.org/RePEc:hin:jnddns:2442396.

[4] M. A. Moktadir, T. Rahman, M. H. Rahman, S. M. Ali, and S. K. Paul, "Drivers to sustainable manufacturing practices and circular economy: A perspective of leather industries in Bangladesh," *Journal of Cleaner Production,* vol. 174, pp. 1366-1380, 2018/02/10/ 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.063.

[5] M.-L. Tseng, T.-D. Bui, M. K. Lim, and S. Lewi, "A Cause and Effect Model for Digital Sustainable Supply Chain Competitiveness under Uncertainties: Enhancing Digital Platform," *Sustainability,* vol. 13, no. 18, p. 10150, 2021. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2071-1050/13/18/10150.

 ISSN: 2007 8102

[6] A. A. A. Khanfar, M. Iranmanesh, M. Ghobakhloo, M. G. Senali, and M. Fathi, "Applications of Blockchain Technology in Sustainable Manufacturing and Supply Chain Management: A Systematic Review," *Sustainability,* vol. 13, no. 14, p. 7870, 2021. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2071-1050/13/14/7870.

[7] V. G. Venkatesh, K. Kang, B. Wang, R. Y. Zhong, and A. Zhang, "System architecture for blockchain based transparency of supply chain social sustainability," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing,* vol. 63, p. 101896, 2020/06/01/ 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101896.

[8] S. Kusi-Sarpong, H. Gupta, and J. Sarkis, "A supply chain sustainability innovation framework and evaluation methodology," *International Journal of Production Research,* vol. 57, no. 7, pp. 1990-2008, 2019/04/03 2019, doi: 10.1080/00207543.2018.1518607.

[9] M. Ghobadi, "Developing supply chain strategy for the success in the implementation of maintenance and preventive repair at the Kavir Steel Complex," (in English), *International Journal of Supply Chain Management,* Article vol. 8, no. 3, pp. 222-233, 2019. [Online]. Available: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85068332886&partnerID=40&md5=8bc957d52e83e12999a455104d22e0d1.

[10] J. Puche, J. Costas, B. Ponte, R. Pino, and D. de la Fuente, "The effect of supply chain noise on the financial performance of Kanban and Drum-Buffer-Rope: An agent-based perspective," *Expert Systems with Applications,* vol. 120, pp. 87-102, 2019/04/15/ 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.009.

[11] B. Fahimnia, J. Sarkis, A. Gunasekaran, and R. Farahani, "Decision models for sustainable supply chain design and management," *Annals of Operations Research,* vol. 250, no. 2, pp. 277-278, 2017/03/01 2017, doi: 10.1007/s10479-017-2428-0.

[12] M. Mukhsin and T. Suryanto, "The Effect of Sustainable Supply Chain Management on Company Performance Mediated by Competitive Advantage," *Sustainability,* vol. 14, no. 2, p. 818, 2022. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2071-1050/14/2/818.

[13] N. Sachin and R. Rajesh, "An empirical study of supply chain sustainability with financial performances of Indian firms," *Environment, Development and Sustainability,* vol. 24, no. 5, pp. 6577-6601, 2022/05/01 2022, doi: 10.1007/s10668-021-01717-1.

[14] H. Gupta, S. Kusi-Sarpong, and J. Rezaei, "Barriers and overcoming strategies to supply chain sustainability innovation," *Resources, Conservation and Recycling,* vol. 161, p. 104819, 2020/10/01/ 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104819.

[15] A. Ghadge, M. Er Kara, D. G. Mogale, S. Choudhary, and S. Dani, "Sustainability implementation challenges in food supply chains: a case of UK artisan cheese producers," *Production Planning & Control,* vol. 32, no. 14, pp. 1191-1206, 2021/10/26 2021, doi: 10.1080/09537287.2020.1796140.

[16] T.-D. Bui, F. M. Tsai, M.-L. Tseng, R. R. Tan, K. D. S. Yu, and M. K. Lim, "Sustainable supply chain management towards disruption and organizational ambidexterity: A data driven analysis," *Sustainable Production and Consumption,* vol. 26, pp. 373-410, 2021/04/01/ 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.017.

[17] C. Acioli, A. Scavarda, and A. Reis, "Applying Industry 4.0 technologies in the COVID–19 sustainable chains," *International Journal of Productivity and Performance Management,* vol. 70, no. 5, pp. 988-1016, 2021, doi: 10.1108/IJPPM-03-2020-0137.

[18] D. Marshall, L. McCarthy, P. McGrath, and M. Claudy, "Going above and beyond: how sustainability culture and entrepreneurial orientation drive social sustainability supply chain practice adoption," *Supply Chain Management: An International Journal,* vol. 20, no. 4, pp. 434-454, 2015, doi: 10.1108/SCM-08-2014-0267.

[19] F. Stevenson, M. Jones, and J. Macrae, "Mapping building materials and products in remote areas: Sustainable supply chains and the specifier," (in English), *Built Environ.,* Article vol. 28, no. 1, pp. 33-45, 2002.

[20] S. Kumar and S. Srivastava, "Establishment of artemisinin combination therapy as first line treatment for combating malaria: Artemisia annua cultivation in India needed for providing sustainable supply chain of artemisinin," (in English), *Curr. Sci.,* Article vol. 89, no. 7, pp. 1097-1102, 2005. [Online]. Available: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-31644446290&partnerID=40&md5=9951deddbc9479ce1fd2ca4a242db304.

[21] J. A. E. E. Van Nunen, R. A. Zuidwijk, and H. M. Moonen, "Smart and sustainable supply Chains," in *Smart Business Networks*: Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 159-167.

[22] S. Nimsai, C. Yoopetch, and P. Lai, "Mapping the knowledge base of sustainable supply chain management: A bibliometric literature review," (in English), *Sustainability (Switzerland),* Review vol. 12, no. 18, 2020, Art no. 7348, doi: 10.3390/SU12187348.

ISSN: 2007 8102

[23] M. Theeraworawit, S. Suriyankietkaew, and P. Hallinger, "Sustainable Supply Chain Management in a Circular Economy: A Bibliometric Review," (in English), *Sustainability (Switzerland),* Review vol. 14, no. 15, 2022, Art no. 9304, doi: 10.3390/su14159304.

[24] Z. Yu, M. Waqas, M. Tabish, M. Tanveer, I. U. Haq, and S. A. R. Khan, "Sustainable supply chain management and green technologies: a bibliometric review of literature," (in English), *Environmental Science and Pollution Research,* Review vol. 29, no. 39, pp. 58454-58470, 2022, doi: 10.1007/s11356-022-21544-9.

[25] S. Seuring and M. Müller, "From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management," *Journal of Cleaner Production,* vol. 16, no. 15, pp. 1699-1710, 2008/10/01/ 2008, doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020.

[26] C. R. Carter and D. S. Rogers, "A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,* vol. 38, no. 5, pp. 360-387, 2008, doi: 10.1108/09600030810882816.

[27] S. Saberi, M. Kouhizadeh, J. Sarkis, and L. Shen, "Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management," *International Journal of Production Research,* vol. 57, no. 7, pp. 2117-2135, 2019/04/03 2019, doi: 10.1080/00207543.2018.1533261.

[28] J. D. Linton, R. Klassen, and V. Jayaraman, "Sustainable supply chains: An introduction," *Journal of Operations Management,* vol. 25, no. 6, pp. 1075-1082, 2007, doi: https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.012.

[29] M. Pagell and Z. Wu, "BUILDING A MORE COMPLETE THEORY OF SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT USING CASE STUDIES OF 10 EXEMPLARS," *Journal of Supply Chain Management,* vol. 45, no. 2, pp. 37-56, 2009, doi: https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2009.03162.x.

[30] C. R. Carter and P. Liane Easton, "Sustainable supply chain management: evolution and future directions," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,* vol. 41, no. 1, pp. 46-62, 2011, doi: 10.1108/09600031111101420.

[31] P. Ahi and C. Searcy, "A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management," *Journal of Cleaner Production,* vol. 52, pp. 329-341, 2013/08/01/ 2013, doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.018.

Factores Críticos de Éxito para la Implementación Exitosa de Lean Six Sigma en Organizaciones Mexicanas

J. Limon-Romero[1], J.L. Garcia-Alcaraz[2], C.U. Gastelum-Acosta[3], Y. Baez-Lopez[4], J.R. Diaz-Reza[5]*
[1]Universidad Autónoma de Baja California-Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño – Jorge.limon@uabc.edu.mx
[2]Universidad Autónoma de Ciudad Juárez – Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura – Jorge.garcia@uacj.mx
[3]Universidad Estatal de Sonora-Unidad Académica San Luis Rio Colorado – carlos.gastelum@ues.mx
[4]Universidad Autónoma de Baja California-Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño-yolanda@uabc.edu.mx
[5]Universidad Autónoma de Ciudad Juárez – Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura-inv.pos07@uacj.mx.

***Área de participación**: Ingeniería Industrial (Six Sigma)*

Resumen

La estrategia Lean Six Sigma (LSS) ha sido exitosamente implementada en una gran variedad de organizaciones a nivel mundial. Sin embargo, también se han reportado casos fallidos de empresas al tratar de adoptarla. En el presente trabajo se pretende identificar los Factores Críticos de Éxito (FCE) para la implementación de LSS, así como proponer algunas relaciones existentes en el contexto de las organizaciones mexicanas. Para esto, se realizó una extensa revisión de literatura para proponer la definición conceptual y operacionalización de los FCE mayormente citados con los que posteriormente se puede diseñar un instrumento de medición capaz de evaluar relaciones causales entre estos factores y ciertos beneficios asociados a la correcta implementación de LSS. Finalmente, se espera que los resultados que se obtengan representen un marco de referencia principalmente para las organizaciones establecidas en México, que busquen continuamente mejorar sus procesos o productos utilizando la estrategia LSS.

***Palabras clave**: Lean Six Sigma, Factores Críticos de Éxito, Implementación, Mejora continua.*

Abstract

The Lean Six Sigma (LSS) strategy has been successfully implemented in a wide variety of organizations worldwide. However, failed cases of companies trying to adopt it have also been reported. This paper aims to identify the Critical Success Factors (CSF) for the implementation of LSS and propose some existing relationships in the context of Mexican organizations. For this, an extensive literature review was carried out to propose the conceptual definition and operationalization of the most frequently cited CSFs, with which a measurement instrument capable of evaluating causal relationships between these factors and certain benefits associated with the correct implementation of LSS can be designed. Finally, the results obtained are expected to represent a frame of reference mainly for organizations established in Mexico that continually seek to improve their processes or products using the LSS strategy.

***Key words**: Lean Six Sigma, Critical Success Factors, Implementation, Continuous Improvement.*

Introducción

De acuerdo con [1] la frontera norte de México es una las zonas más importantes para el sector manufacturero, esta zona abarca los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Actualmente existe iniciativas para fomentar el crecimiento en esta zona, una de la más importantes es el Programa de la Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación (IMMEX), esta es un

herramienta de fomento a las exportaciones que puede ser utilizado por las empresas que importen mercancías de manera temporal y que realicen un proceso industrial o de servicio destinado a la elaboración, transformación o reparación y/o a la prestación de servicios de exportación, difiriendo el pago del impuesto general de importación, del impuesto al valor agregado y, en su caso, de las cuotas compensatorias. Para noviembre de 2019 había un total de 5121 establecimientos manufactureros con programa IMMEX de los cuales 3038 pertenecen a los estados de la frontera norte de México, es decir casi el 60% del total. Estas 3038 empresas representan un total de 1,665,905 de personal ocupado ya sea por contratación directa o subcontratado.
De acuerdo con [2], una preocupación para la industria maquiladora en áreas fronterizas es la de asegurar que la calidad de las piezas y productos que manufacturan sea consistente con la que se produce en sus matrices. Esto es importante al menos por dos razones. Primero, los productos fabricados en las maquiladoras llevan los mismos nombres y logos que las matrices; así, una pobre calidad en los productos podría afectar negativamente la imagen y reputación de las compañías originales, así como su habilidad para colocar productos similares en el mercado. En segundo lugar, porque las maquiladoras son compañías de manufactura de bajo costo, es común que muchos clientes las asocien con productos de baja calidad. Por otra parte, como lo describe el estudio de [3], experimentan muchos de los mismos problemas que tienen otro tipo de empresas relacionados a su cadena de suministro transfronteriza. Aspectos como la distancia, ventaja comparativa y la integración de su fuerza de trabajo crean problemas frecuentes para su administración.
Motorola desarrolló la metodología Seis Sigma (SS), la cual es una estrategia de mejora ampliamente utilizada por empresas que buscan mejorar continuamente sus procesos. De esta manera, SS es un programa enfocado en mejoras novedosas y continuas para reducir la variación en los productos o servicios que ofrecen las organizaciones con el principal objetivo de lograr la satisfacción del cliente. Por su parte, la manufactura esbelta o Lean Manufacturing (LM), es otra metodología de mejora continua que las empresas han implementado ampliamente. LM puede entenderse como un enfoque sistemático para encontrar y eliminar las actividades que no agregan valor a los procesos desde el punto de vista de los clientes. En este sentido, para [4] la fusión de LM y SS es crucial porque la aplicación de LM no permite poner un proceso bajo control estadístico, mientras que la aplicación de SS aislada no puede aumentar significativamente la velocidad de un proceso o reducir la inversión de capital. Así, para este autor la fusión Lean Six Sigma (LSS) representa una metodología que maximiza el valor de los inversionistas al lograr una mejora más rápida de la calidad y por lo tanto en la satisfacción de los clientes al mismo tiempo que reduce los costos, la velocidad del proceso y la inversión de capital.
Durante años, las empresas alrededor del mundo han implementado LM, SS y LSS y han reportado tanto resultados favorables como no tan favorables [5], razón por la cual se vuelve importante analizar las razones por el que este fenómeno se presenta. En este sentido, en la literatura se reportan una serie de elementos importantes que, al ser tomados en cuenta, incrementan la posibilidad de obtener ciertos beneficios esperados. Estos elementos son denominados con frecuencia Factores Críticos de Éxito (FCE), los cuales son variables latentes; es decir, no pueden medirse directamente sino a través de una serie de indicadores que se consideran relacionados con ese factor. En la literatura es posible encontrar varias propuestas para medir estos FCE de LM, SS y LSS mediante el uso de cuestionarios [6]–[10]. Sin embargo, en estas propuestas los autores no realizaron una validación estadística de los constructos o factores, lo que es sumamente relevante para asegurar que estos elementos son medidos de forma adecuada y por lo tanto, que los resultados obtenidos son confiables.
El estudio de los FCE se ha llevado a cabo en diferentes sectores, por ejemplo [11] mencionan en su investigación cuatro FCE para las PyMEs en la industria de procesamiento de alimentos entre los que se encuentran: Liderazgo y administración, Cultura organizacional, Habilidad de la fuerza laboral y Capacidad financiera. Por otra parte, [12] mencionan que LSS también puede ser aplicado en Instituciones de Educación Superior (IES) y hace referencia a los siguientes FCE: Soporte y compromiso de la alta dirección, Comunicación efectiva, Liderazgo estratégico y visionario, Preparación del desarrollo organizacional, Recursos y habilidades para facilitar la implementación, Priorización y selección de proyectos y por último Cultura organizacional. Además, [13] realizaron también una investigación abordando los FCE de LSS para la calidad 4.0 y destacaron la inclusión de 7 factores relacionados con las tecnologías de la calidad 4.0 además de los ya previamente conocidos.

Revisión de la literatura

Factores Críticos de Éxito

Las organizaciones de todo el mundo utilizan la metodología SS para aumentar la participación en el mercado, reducir los costos, mejorar el rendimiento de los procesos y de esta manera aumentar los beneficios al mejorar la calidad de los productos y servicios. El éxito de la implementación de dicha metodología depende de una gran cantidad de factores que se consideran esenciales; estos factores se conocen como "factores críticos de éxito". Estos FCE son cruciales para el éxito de cualquier organización porque si no se logran los objetivos, la

organización tiene una alta probabilidad de fracasar [14] en su intento por implementar esta u otra estrategia similar. Así, al implementar la metodología SS, habrá factores comunes que determinarán el éxito de la implementación para cada organización, ya sea de manufactura o de servicios [15].
Las siguientes son algunas de las definiciones encontradas en la literatura sobre el concepto de FCE. Para [16], hay pocas cosas que deben ir bien en la organización para asegurar el éxito, y los FCE son uno de ellas. Según [17], los FCE no son objetivos, sino acciones y procesos que la gerencia puede controlar e influir para lograr los objetivos de la empresa. Por lo tanto, [18] describen a los FCE como los componentes necesarios para el éxito de los proyectos SS en una organización. Además, para [19] las acciones encaminadas a la atención de los FCE garantizan la instalación, operación y sostenibilidad exitosas de estrategias como SS. Asimismo, los FCE se definen como los elementos que deben cumplirse para que una empresa tenga posibilidades de éxito en su ámbito comercial [20]. Por otra parte, los FCE son los componentes esenciales para la implementación exitosa de cualquier iniciativa de mejora de la calidad [21]. En este sentido, de acuerdo con [12], los FCE son los componentes esenciales sin los cuales cualquier iniciativa de mejora continua tiene pocas posibilidades de éxito. De esta manera, para que estas áreas funcionen bien y la organización prospere, la gerencia debe prestar atención rigurosa a cada uno de los factores.

Lean Six Sigma

Muchas corporaciones están adoptando LSS como una iniciativa estratégica para lograr un gran avance en algún aspecto de su desempeño comercial [22]. Además, la metodología LSS ha sido ampliamente adoptada por las industrias para reducir los desperdicios y rechazos [23], [24]. Para [25], la integración de Lean y Six Sigma se da para diseñar una metodología como un enfoque coherente para la mejora continua. LSS se puede diferenciar de otros enfoques de gestión de la calidad debido a la organización y estructura de las funciones de implementación de la calidad. Antes de LSS, la gestión de la calidad se delegaba en la planta de producción. En las grandes organizaciones, existía un departamento de calidad específico. Este departamento se encargaba de la calidad de los productos fabricados. Con LSS, ese pensamiento cambió y la calidad pasó a ser responsabilidad de todos.
Según [26], la aplicación de LSS para implementar la mejora continua ha aumentado en gran medida en la última década y parece haberse convertido en el enfoque de facto para la industria. Mientras que para [27], la integración de las dos metodologías intenta proporcionar empoderamiento incluso en las etapas de análisis de procesos de nivel superior, de modo que los empleados tengan la propiedad real del proceso. En este sentido, para [28], los proyectos LSS se centran en mejorar las métricas específicas del proyecto, definidas como el objetivo del proyecto que describe las medidas de éxito. Así, las empresas que tienen una implementación de LSS bien estructurada, normalmente superan a sus competidores.
Por otra parte, de acuerdo con [29], es imperativo que la dirección de la organización dedique tiempo a comprender las aplicaciones de LSS e incorporar esta metodología en las prácticas de gestión y cuando esto se haga apropiadamente, el enfoque LSS puede maximizar el valor para la organización al mejorar la calidad y el desempeño organizacional. Además, de acuerdo con [27], para la integración de los dos enfoques de mejora continua, se debe lograr un estado de equilibrio entre ambos, alejándose de un enfoque intermitente en cualquier dirección, por lo que el equilibrio radica en crear suficiente valor desde el punto de vista del cliente, de modo que se mantenga la cuota de mercado, mientras que al mismo tiempo se reduce la variación a niveles aceptables para reducir los costos incurridos, sin sobre-diseñar los procesos.
De la misma manera, como [30] lo indica, refiriéndose a la integración de Lean y Six Sigma, si Lean se implementa sin Six Sigma, entonces faltan herramientas para aprovechar la mejora en todo su potencial. Por el contrario, si se adopta Six Sigma sin el pensamiento Lean, entonces habría un conjunto de herramientas para que las use el equipo de mejora, pero no una estrategia o estructura para impulsar su aplicación a un sistema. Para [31], LSS también tiene éxito porque utiliza un enfoque de mejora sistemático y disciplinado, DMAIC, que enfatiza la finalización rápida del proyecto en tres a seis meses. Otro aspecto importante, en el que se debe prestar especial atención, es el sistema de cinturones, y en su estudio [32], identifican y discuten los atributos técnicos e interpersonales de los Black Belts y Master Black Belts como facilitadores que lideran el despliegue de LSS.

Metodología

La metodología que se siguió para desarrollar esta investigación constó en los siguientes pasos: 1) Revisión de literatura para identificar los FCE más mencionados, 2) Definición conceptual de los FCE, 3) Elaboración de un instrumento para recolectar datos (Definición de indicadores o ítems para medir los FCE), 4) Recolección de datos con la población objetivo, 5) Realización de análisis factorial exploratorio y confirmatorio. En este tipo de proyectos

 ISSN: 2007 8102

se puede agregar el siguiente paso: 6) Modelación de ecuaciones estructurales, con el objetivo de evaluar relaciones causales entre los constructos que conforman el instrumento de medición. En la sección de resultados se describen brevemente los pasos que se siguieron para llevar a cabo el presente trabajo de investigación, así como los resultados obtenidos. A continuación, se muestra en la Figura 1 de manera visual los pasos recomendados por [33], para la validación de instrumentos de recolección de datos.



Figura 1. Pasos para validar instrumentos de recolección de datos.
Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Revisión de literatura para identificar los FCE

La revisión de la literatura se llevó a cabo en función de los siguientes elementos:
1. Establecimiento de los criterios de inclusión y exclusión.
2. Creación de una tabla de frecuencias con los FCE más mencionados en la literatura.
3. Establecimiento de los principales FCE utilizando el principio de Pareto.

Se consideraron como criterios de inclusión el año de publicación de los artículos, incluyendo artículos publicados entre 2000 y 2022. Además, solo se tomaron artículos publicados en Journals que discutieran explícitamente los FCE. Se encontraron alrededor de 1000 artículos de los cuales se revisó tanto el título como su resumen y de esta forma se redujo la lista a 103 artículos. El Journal of Business Process Management, el Journal of Lean Six Sigma, el Journal of Quality & Reliability Management y el Journal of Productivity and Performance Management fueron las revistas con más publicaciones. Como resultado, se creó una tabla de frecuencias con los FCE más citados por los investigadores en los artículos encontrados en bases de datos como EBSCO, Elsevier, Emerald, Springer, IEEE y Scopus. Para lograr esto, se tomaron en cuenta los criterios de inclusión y exclusión que se establecieron anteriormente.
Se llevó a cabo un análisis de los 103 artículos identificados como útiles para el estudio y publicados en las diversas bases de datos mencionadas. Se realizó un conteo utilizando las menciones de estos trabajos sobre los FCE y se determinó el porcentaje de menciones para cada factor. La **Tabla 1** muestra estos hallazgos.

Tabla 1. Factores Críticos de Éxito (FCE) de LSS y sus menciones en la literatura

FCE	Menciones	Porcentaje
Top Management commitment (TMC)*	86	14%
Education and training (ET)*	79	13%
Project selection and prioritization (PSP)*	60	10%
Cultural Change (CC)*	58	10%
Linking SS to Human resource (LHR)*	39	6%
Leadership Management (LM)*	38	6%
Organizational infrastructure (OI)*	32	5%
Effective communication at all levels vertically and horizontally (EC)*	30	5%

 ISSN: 2007 8102

Teamwork (TW)*	28	5%
Linking to suppliers (LS)*	21	3%
Project tracking and reviews (PT&R)*	20	3%
Attaching the success to financial benefits	14	2%
Company wide participation members	14	2%
Resources and skills to facilitate implementation	12	2%
Black Belt system	12	2%
Integration of six sigma with financial accountability	11	2%
Organizational structure	10	2%
A well-developed understanding of LSS tools	8	1%
Computational operational system	5	1%
Organizational readiness	4	1%
Experiences whit QAS in the past	4	1%
Organizational understanding of work processes	4	1%
Inclusion of external support	3	<1%
Developing organizational readiness	2	<1%
Strategic alignment	2	<1%
Rewards for projects results	2	<1%
Selecting and prioritizing organizational areas for quality improvement	2	<1%
Standarizations of six sigma improvements	2	<1%
Clear improvement goals	2	<1%
Enough preparation time	1	<1%
Total de menciones	605	

*FCE con más menciones

Para tener una mejor visualización de los FCE más importantes de acuerdo con la cantidad de menciones que tienen en la literatura, se construyó un gráfico de Pareto utilizando el software estadístico Minitab, el cual puede observarse en la Figura 2.

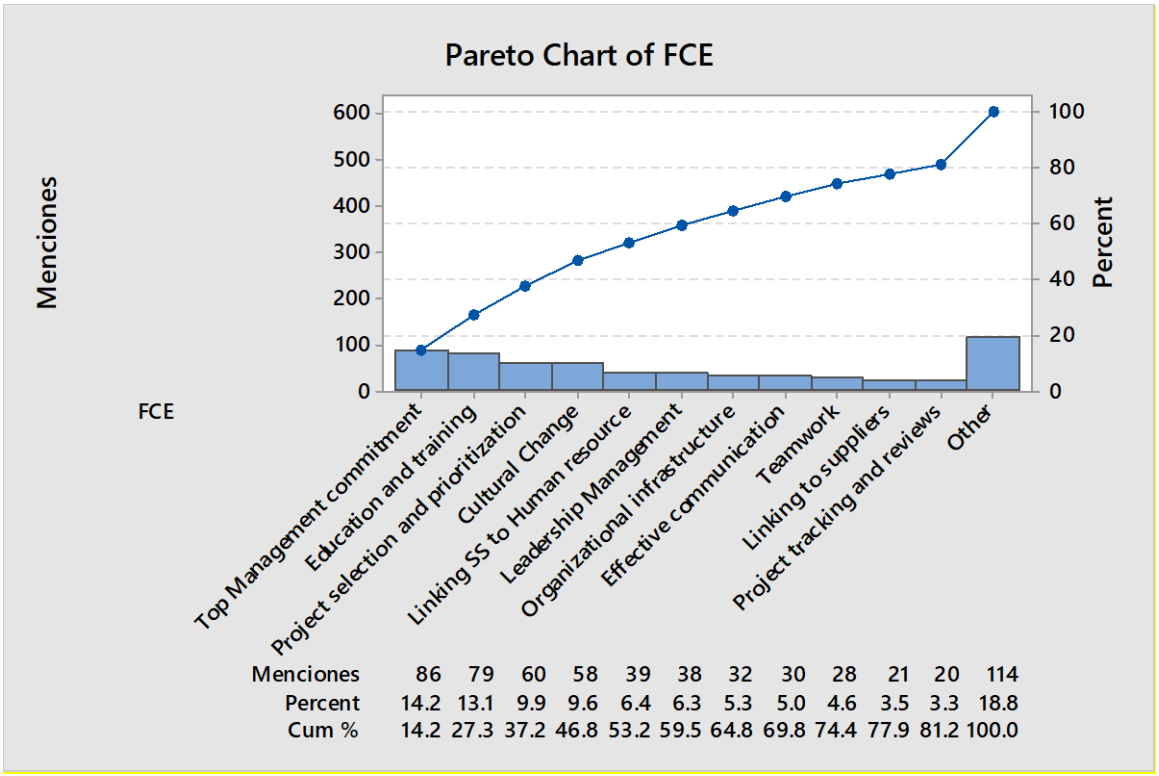


Figura 2. Gráfico de Pareto con los FCE más importantes.
Fuente: Elaboración propia.

Después de la revisión de literatura se determinaron los 11 FCE más mencionados por los investigadores y profesionales que estudian o utilizan LSS como un marco para las actividades de mejora continua de sus procesos, productos o servicios. De lo anterior podría inferirse que estos factores son los más importantes en la implementación de esta estrategia. Estos factores son: Participación y Compromiso de la Alta Dirección, Educación y Entrenamiento, Priorización y Selección de Proyectos, Cambio Cultural, Vinculación de LSS con Recursos Humanos, Gestión del Liderazgo, Infraestructura Organizacional, Comunicación Efectiva, Vinculación con los proveedores y por último Seguimiento y revisión del proyecto.

Definición conceptual de los FCE

Debido a la restricción de la cantidad de páginas del presente documento solo se muestra las definiciones de los 2 FCE con mayor cantidad de menciones. A continuación, se muestran estas definiciones conceptuales.

Participación y compromiso de la alta Dirección (PCD) Definición Conceptual: Para [27], la gerencia y sus comunicaciones brindan la columna vertebral de cualquier esfuerzo de mejora continua. En su estudio, [26] llevado a cabo en pymes identificaron que la falta de liderazgo actúa como un factor que impide los proyectos de LSS. En este sentido, [25], identificaron a la alta dirección que no apoya y no se compromete como un factor por el cual las organizaciones descontinúan las iniciativas de LSS. Además, la alta administración debe participar activamente y dedicar tiempo a la iniciativa LSS, actuando de esta manera como un agente clave para la mejora continua dentro de la compañía [18].
Educación y entrenamiento (ET) Definición Conceptual según: De acuerdo con [34], la capacitación y educación inadecuadas se identifican como una barrera para la implementación de LSS. En este sentido, [28] también destacan la importancia de este factor indicando que la implementación de LSS falla debido a la falta de participación de los empleados y al escaso conocimiento de las herramientas. Además, según [35], aunque han surgido muchas herramientas de mejora de procesos en los últimos años y estas técnicas ciertamente mejoran la calidad y la productividad de los procesos, algunas empresas pueden fallar en obtener resultados apropiados de estas herramientas y técnicas y en este sentido, para [36] la implementación de una estrategia de mejora podría fallar por falta de capacitación de los empleados.

Elaboración de un instrumento: Definición de indicadores para medir los FCE

Después de construir la definición conceptual de los FCE, se prosiguió con la operacionalización e identificación de los ítems con los cuales se mediría el factor. A continuación, se ejemplifica los ítems para los factores PCD y ET.

Participación y compromiso de la alta Dirección (PCD)

La alta dirección:

- Da el soporte requerido a las actividades asociadas con la mejora de la calidad a largo plazo.
- Promueve claramente la dirección, visión y valores fundamentales de la empresa.
- Participa activamente en las actividades vinculadas a los proyectos LSS.
- Considera la mejora de la calidad como una manera de aumentar los logros.
- Asume la responsabilidad del correcto funcionamiento de los proyectos LSS.
- Promueve la participación del personal en proyectos LSS.
- Comunica de forma clara y coherente la misión y objetivos de la empresa.
- Provee materiales y suministros al equipo de trabajo para llevar a cabo el proyecto LSS.
- Provee de presupuesto y recursos adecuados para la formación de los involucrados en los proyectos LSS.

Educación y entrenamiento (ET)

El personal involucrado en proyecto LSS:

- Dispone de recursos para su formación en estrategias de mejora LSS.

- Recibe capacitación respecto a aspectos relacionados con LSS bajo un programa formal de entrenamiento.
- Se forma en habilidades blandas como pueden ser habilidades de comunicación o habilidades para promover reuniones eficaces y capacidad de liderazgo).
- Recibe capacitación técnica adecuada por parte de la organización.
- Cuenta con un alto nivel de habilidad en comparación con otras empresas del mismo giro.
- Es recompensado por el aprendizaje de nuevas habilidades.
- Cuenta con información disponible en el momento que lo necesita

Los pasos del 4 al 6 antes mencionados se están desarrollando para un trabajo que se pretende publicar posteriormente.

Trabajo a futuro

Partiendo del trabajo hasta ahora realizado, se proponen las siguientes ideas para realizar trabajo de investigación a futuro. Se propone desarrollar y validar nuevos instrumentos de medición utilizando algunos de los factores antes mencionados y definiendo indicadores que permitan su medición. Además, también es posible realizar recolección de datos aplicando el instrumento de medición a usuarios expertos de LSS en organizaciones de los diferentes sectores y validar modelos estructurales. De igual manera, se propone también realizar recolección de datos, desarrollando primeramente y después aplicando el instrumento de medición en PyMEs considerando la importancia de estas industrias en la economía. Por último, podrían proponerse y validarse estadísticamente diferentes modelos teóricos que relacionen distintos FCE de LSS pero principalmente con los que se muestran en el gráfico de Pareto. Por supuesto que siempre deberá respetarse que las relaciones propuestas tengan un sentido lógico. Por ejemplo, un modelo como el que se muestra en la Figura 3 podría proponerse y aplicar modelación de ecuaciones estructurales para validarse partiendo de la información recolectada.

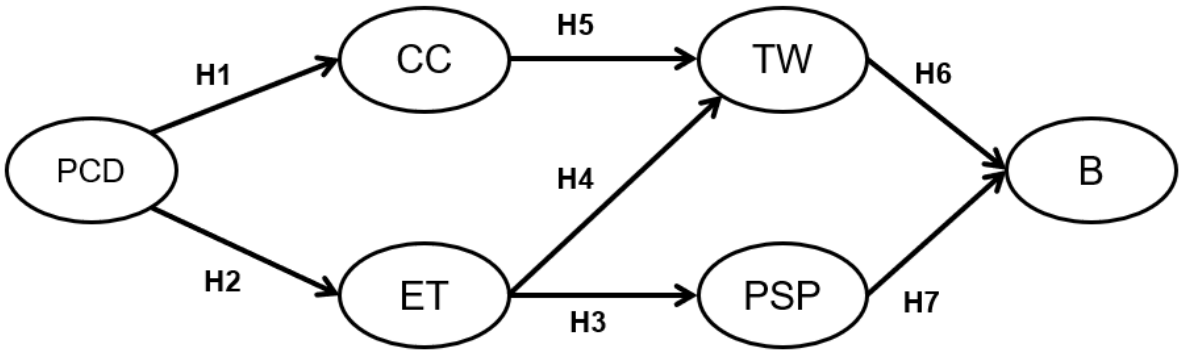


Figura 3. Modelo estructural propuesto.
Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

La estrategia LSS ha sido de gran ayuda para muchas organizaciones a nivel mundial en su búsqueda de mejorar continuamente sus procesos, productos o servicios para permanecer vigentes en un mundo cada vez más competitivo; sin embargo, algunas compañías aun reportan dificultades para su implementación o que no alcanzan los resultados esperados. La implementación de esta estrategia de mejora continua, en ocasiones puede representar para las organizaciones un gran esfuerzo no tan solo de índole económico. Por este motivo, al realizar una evaluación de su situación referente a los FCE ayudará a las empresas a canalizar de mejor manera sus recursos, los cuales son siempre limitados, en áreas de oportunidad que hayan sido identificadas a través de la aplicación del instrumento. Así pues, el uso de los instrumentos desarrollados siguiendo una estricta metodología para medir adecuadamente FCE para la implementación de LSS implicaría ahorros tanto en tiempo y dinero para las empresas que decidan implementar esta estrategia y además aumentaría la probabilidad de una

adopción exitosa. Por esta razón, en este trabajo se propone el desarrollo de instrumentos de medición que facilite a las empresas la evaluación de los factores críticos de éxito o facilitadores que sea de ayuda para definir estrategias destinando recursos a aquellos elementos que se consideren más débiles de acuerdo con la opinión de los expertos para evitar una implementación fallida o con resultados por debajo de lo esperado. Además como también se mencionó, la información recopilada mediante estos instrumentos de medición también puede ser útil para modelar relaciones causales entre estos factores, de tal forma que se pueda definir una secuencia lógica y además validada estadísticamente, sobre el orden en el que se deben de priorizar los factores, entendiendo por ejemplo, que si los recursos se canalizan a un factor, pero no se ha atendido de buena manera a un factor previo que lo afecta, posiblemente los recursos no tengan el impacto esperado, o peor aún, se desperdicien.
La construcción de un instrumento de recolección de datos está limitada a cuantificar los FCE de LSS principalmente en las empresas manufactureras IMMEX, por ser los principales usuarios de LSS, además de que sus poco más de 5 mil establecimientos a nivel nacional tienen un gran aporte a la generación de empleos así como al producto interno bruto del país. Se podría considerar la posibilidad de adaptar el cuestionario a otro tipo de organizaciones como es la industria de servicios. En cuestión de la zona de estudio en primera instancia se consideran las empresas localizadas en los estados que conforman la franja fronteriza México-Estados Unidos, pero principalmente localizadas en Baja California y Chihuahua; sin embargo este instrumento de igual manera podría replicarse para recolectar datos en todo el país. Por otra parte, a nivel internacional de igual manera podría servir como una herramienta de medición, pero se recomienda realizar el proceso de validación para asegurar una adaptación correcta.

Agradecimientos

Los autores deseamos agradecer al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo brindado para la realización de la Estancia Sabática durante la cual se desarrolló este proyecto.

Referencias

[1] INEGI, “Directorio Nacional de Unidades Económicas (DENUE)”, 2023. https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/ (consultado el 4 de junio de 2023).
[2] S. Dowlatshahi y S. Hooshangi, “Enabling quality management systems in the maquiladoras: An empirical analysis”, *Int J Qual & Reliability Mgmt*, vol. 27, núm. 9, pp. 981–1001, oct. 2010, doi: 10.1108/02656711011084792.
[3] D. L. Haytko, J. L. Kent, y A. Hausman, “Mexican maquiladoras: helping or hurting the US/Mexico cross-border supply chain?”, *Int Jrnl Logistics Management*, vol. 18, núm. 3, pp. 347–363, nov. 2007, doi: 10.1108/09574090710835101.
[4] M. L. George, *Lean Six Sigma.* Blacklick, USA: McGraw-Hill Professional Publishing, 2002. Consultado: el 23 de julio de 2020. [En línea]. Disponible en: http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=4655575
[5] J. Antony, F. L. Lizarelli, M. M. Fernandes, M. Dempsey, A. Brennan, y J. McFarlane, “A study into the reasons for process improvement project failures: results from a pilot survey”, *IJQRM*, vol. 36, núm. 10, pp. 1699–1720, nov. 2019, doi: 10.1108/IJQRM-03-2019-0093.
[6] N. F. Habidin y S. M. Yusof, “Critical success factors of Lean Six Sigma for the Malaysian automotive industry”, *Lean Six Sigma Journal*, vol. 4, núm. 1, pp. 60–82, mar. 2013, doi: 10.1108/20401461311310526.
[7] A. Laureani y J. Antony, “Critical success factors for the effective implementation of Lean Sigma: Results from an empirical study and agenda for future research”, *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 3, núm. 4, pp. 274–283, nov. 2012, doi: 10.1108/20401461211284743.
[8] B. B. Silva, R. C. Mergulhão, C. Favoretto, y G. H. S. Mendes, “Critical success factors of Six Sigma implementations in companies in Brazil”, *Lean Six Sigma Journal*, vol. 10, núm. 1, pp. 143–160, mar. 2019, doi: 10.1108/IJLSS-01-2018-0008.
[9] H. S. Sodhi, D. Singh, y B. J. Singh, “An empirical analysis of critical success factors of Lean Six Sigma in Indian SMEs”, *IJSSCA*, vol. 11, núm. 4, p. 227, 2019, doi: 10.1504/IJSSCA.2019.103556.
[10] G. Tortorella y D. Fettermann, “Help chain in companies undergoing a lean implementation: The impact of critical success factors on quality and efficiency performance”, *Lean Six Sigma Journal*, vol. 9, núm. 1, pp. 113–132, mar. 2018, doi: 10.1108/IJLSS-08-2016-0039.
[11] M. Dora, M. Kumar, D. Van Goubergen, A. Molnar, y X. Gellynck, “Operational performance and critical success factors of lean manufacturing in European food processing SMEs”, *Trends in Food Science & Technology*, vol. 31, núm. 2, pp. 156–164, jun. 2013, doi: 10.1016/j.tifs.2013.03.002.

[12] J. Antony, N. Krishan, D. Cullen, y M. Kumar, “Lean Six Sigma for higher education institutions (HEIs): Challenges, barriers, success factors, tools/techniques”, *Int J Productivity & Perf Mgmt*, vol. 61, núm. 8, pp. 940–948, oct. 2012, doi: 10.1108/17410401211277165.
[13] N. Yadav, R. Shankar, y S. P. Singh, “Critical success factors for lean six sigma in quality 4.0”, *IJQSS*, vol. 13, núm. 1, pp. 123–156, mar. 2021, doi: 10.1108/IJQSS-06-2020-0099.
[14] J. F. Rockart, “Chief executives define their own data needs.”, *Harv Bus Rev*, vol. 57, núm. 2, pp. 81–93, 1979.
[15] S. Sharma y A. R. Chetiya, “An analysis of critical success factors for Six Sigma implementation”, *Asian Journal on Quality*, vol. 13, núm. 3, pp. 294–308, nov. 2012, doi: 10.1108/15982681211287810.
[16] A. C. Boynton y R. W. Zmud, “An Assessment of Critical Success Factors”, *Sloan management review*, vol. 25, núm. 4, pp. 17–27, 1984.
[17] B. Brotherton y J. Shaw, “Towards an identification and classification of critical success factors in UK hotels Plc”, *International Journal of Hospitality Management*, vol. 15, núm. 2, pp. 113–135, jun. 1996, doi: 10.1016/0278-4319(96)00014-X.
[18] R. Banuelas Coronado y J. Antony, “Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations”, *The TQM Magazine*, vol. 14, núm. 2, pp. 92–99, abr. 2002, doi: 10.1108/09544780210416702.
[19] A. Soti, R. Shankar, y O. P. Kaushal, “Modeling the enablers of Six Sigma using interpreting structural modeling”, *Jnl of Modelling in Management*, vol. 5, núm. 2, pp. 124–141, jul. 2010, doi: 10.1108/17465661011060989.
[20] S. Suresh, J. Antony, M. Kumar, y A. Douglas, “Six Sigma and leadership: some observations and agenda for future research”, *The TQM Journal*, vol. 24, núm. 3, pp. 231–247, abr. 2012, doi: 10.1108/17542731211226754.
[21] D. A. Desai, J. Antony, y M. B. Patel, “An assessment of the critical success factors for Six Sigma implementation in Indian industries”, *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 61, núm. 4, pp. 426–444, abr. 2012, doi: 10.1108/17410401211212670.
[22] M. J. Harry, P. S. Mann, O. C. De Hodgins, R. L. Hulbert, y C. J. Lacke, *Practitioner’s guide for statistics and lean six sigma for process improvement*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2010.
[23] J. Antony, F. L. Lizarelli, y M. Machado Fernandes, “A Global Study Into the Reasons for Lean Six Sigma Project Failures: Key Findings and Directions for Further Research”, *IEEE Trans. Eng. Manage.*, vol. 69, núm. 5, pp. 2399–2414, oct. 2022, doi: 10.1109/TEM.2020.3009935.
[24] M. S. Kaswan, R. Rathi, J. A. Garza-Reyes, y J. Antony, “Green lean six sigma sustainability – oriented project selection and implementation framework for manufacturing industry”, *IJLSS*, may 2022, doi: https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2020-0212.
[25] M. Sony, S. Naik, y K. K. Therisa, “Why do organizations discontinue Lean Six Sigma initiatives?”, *IJQRM*, vol. 36, núm. 3, pp. 420–436, mar. 2019, doi: 10.1108/IJQRM-03-2018-0066.
[26] W. Timans, J. Antony, K. Ahaus, y R. van Solingen, “Implementation of Lean Six Sigma in small- and medium-sized manufacturing enterprises in the Netherlands”, *Journal of the Operational Research Society*, vol. 63, núm. 3, pp. 339–353, mar. 2012, doi: 10.1057/jors.2011.47.
[27] M. P. J. Pepper y T. A. Spedding, “The evolution of lean Six Sigma”, *Int J Qual & Reliability Mgmt*, vol. 27, núm. 2, pp. 138–155, ene. 2010, doi: 10.1108/02656711011014276.
[28] R. V. Sreedharan y V. M. Sunder, “A novel approach to lean six sigma project management: a conceptual framework and empirical application”, *Production Planning & Control*, vol. 29, núm. 11, pp. 895–907, ago. 2018, doi: 10.1080/09537287.2018.1492042.
[29] S. Ahmed, N. H. Abd Manaf, y R. Islam, “Measuring Lean Six Sigma and quality performance for healthcare organizations”, *IJQSS*, vol. 10, núm. 3, pp. 267–278, sep. 2018, doi: 10.1108/IJQSS-09-2017-0076.
[30] M. V. Sunder, “Lean Six Sigma in higher education institutions”, *Int J Qual & Service Sciences*, vol. 8, núm. 2, pp. 159–178, jun. 2016, doi: 10.1108/IJQSS-04-2015-0043.
[31] R. D. Snee, “Lean Six Sigma – getting better all the time”, *Lean Six Sigma Journal*, vol. 1, núm. 1, pp. 9–29, mar. 2010, doi: 10.1108/20401461011033130.
[32] R. J. Hilton y A. Sohal, “A conceptual model for the successful deployment of Lean Six Sigma”, *Int J Qual & Reliability Mgmt*, vol. 29, núm. 1, pp. 54–70, ene. 2012, doi: 10.1108/02656711211190873.
[33] J. F. Hair, W. C. Black, B. J. Babin, y R. E. Anderson, *Multivariate data analysis*, 7th ed. Harlow: Pearson, 2014.
[34] E. R. G. Pedersen y M. Huniche, “Determinants of lean success and failure in the Danish public sector: A negotiated order perspective”, *International Journal of Public Sector Management*, vol. 24, núm. 5, pp. 403–420, jul. 2011, doi: 10.1108/09513551111147141.

ISSN: 2007 8102

[35] M. J. Ershadi, O. Qhanadi Taghizadeh, y S. M. Hadji Molana, “Selection and performance estimation of Green Lean Six Sigma Projects: a hybrid approach of technology readiness level, data envelopment analysis, and ANFIS”, *Environ Sci Pollut Res*, vol. 28, núm. 23, pp. 29394–29411, jun. 2021, doi: 10.1007/s11356-021-12595-5.
[36] X. Zu y L. D. Fredendall, “Enhancing Six Sigma Implementation Through Human Resource Management”, *Quality Management Journal*, vol. 16, núm. 4, pp. 41–54, ene. 2009, doi: 10.1080/10686967.2009.11918249.

 ISSN: 2007 8102

Mantenimiento Autónomo: implementación para la reducción del deterioro en equipos para fabricación de PVB

N. Pérez España[1], L. A. Bahena Medina[1], M. A. Gómez Vicario[1], L. Galván Franco[1]*
[1]Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica del Estado de Morelos, Boulevard Cuauhnáhuac #566, Col. Lomas del Texcal, CP 62550, Jiutepec, Morelos, México
**nperez@upemor.edu.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Industrial*

Resumen

El presente trabajo se desarrolló en una empresa dedicada a la elaboración de película de PVB (Polivinil Butiral) utilizado para fabricar vidrio laminado de uso automotriz y arquitectónico; automatizada casi en su totalidad, es en esta línea donde se fabrica el mayor porcentaje de PVB; sin embargo, presentaba un deterioro acelerado en los equipos de producción; esto generaba daño en los equipos y un incremento de tiempo muerto por su reparación. Además, se encontró un desconocimiento importante por parte de los operarios sobre el manejo de herramientas y dispositivos de apoyo. Una vez realizada la fase diagnóstica del proyecto se determinó implementar el pilar de mantenimiento autónomo de la metodología Mantenimiento Productivo Total (TPM) en los alimentadores, molinos y rodillos de la línea, con el objetivo de reducir el deterioro acelerado y los tiempos muertos. Una vez realizada la implementación se observó una reducción en 50% en el deterioro.

***Palabras clave**: Mantenimiento autónomo, producción, TPM, deterioro acelerado.*

Abstract

This work was developed in a company dedicated to the production of PVB (Polyvinyl Butyral) film used to manufacture laminated glass for automotive and architectural use; almost entirely automated, it is on this line where the highest percentage of PVB is manufactured. However, it presented an accelerated deterioration in the production equipment; this generated damage to the equipment and an increase in downtime for its repair. In addition, a significant lack of knowledge was found on the part of the operators about the handling of tools and support devices. Once the diagnostic phase of the project was carried out, it was determined to implement the autonomous maintenance pillar of the Total Productive Maintenance (TPM) methodology in the feeders, mills and rollers of the line, with the aim of reducing accelerated deterioration and downtime. Once the implementation was carried out, a 50% reduction in deterioration was observed.

***Key words**: Autonomous maintenance,production, TPM, accelerated deterioration.*

Introducción

En la actualidad el Mantenimiento Autónomo es un pilar único y la base central para que el TPM (Mantenimiento Productivo Total) se pueda implementar en cualquier compañía, ya que consiste en que sus operarios realicen actividades como inspección, lubricación, y limpieza, adicionalmente el operario debe hacerse responsable de su propio equipo [1]. Además, ha llegado a ser un programa indispensable para eliminar pérdidas y desperdicio en las plantas para maximizar la eficacia del equipo existente [2].

En 2011 en Querétaro, México, fue empleado en una empresa manufacturera para dar solución a las causas de paros de máquina relacionados con la falta de condiciones básicas de operación del equipo. Con esta metodología se pudo restaurar las condiciones iniciales de la máquina, asimismo se identificó las fuentes de contaminación, con lo que se llegó a la solución del 83% de las anomalías encontradas en la máquina [3].

Canahua, N. [4] implementó la metodología Mantenimiento Productivo Total (TPM)-Lean manufacturing en una empresa metalmecánica con el objetivo de reducir desperdicios para mejorar sus sistemas productivos a un bajo costo. Con ayuda de excel se hicieron pruebas de hipótesis de fallas, confiabilidad y demanda, se implementó el mantenimiento preventivo y mantenimiento autónomo, lo cual en conjunto permitió mejorar el factor calidad (de

 ISSN: 2007 8102

49.44% a 94.64%), el factor rendimiento (de 76.68% a 93.34%) y el factor disponibilidad (de 86.70 a 96.88), con lo que se logró incrementar el OEE de 32.86% a 85.58%. Mohamed, Ben y Muduli [5] documentan en el trabajo realizado en una empresa cervecera, que se implementó el mantenimiento autónomo en la línea de llenadoras con el objetivo de mejorar la accesibilidad de las mismas y que el proveedor de servicios de mantenimiento externo se enfocara en reparaciones tecnológicas mayores. El tiempo medio entre falla (MTBF) medido en ocho semanas pasó de 87.42 h, antes de la implementación a 113.27h después de la misma; mientras que el tiempo medio de reparación (MTTR) para el mismo periodo pasó de 1.15h a 0.87 h.

Giocondo, Camello y Tadeu [6] reportan una reducción en tiempos de paro de 140h a 47h (en un mes), un aumento en la eficiencia de la línea de producción de 71.4% a 90.4% y una disminución de las pérdidas para el mismo periodo de 210,000 a 70,500 reales; estas mejoras se produjeron después de implementar el pilar de mantenimiento autónomo en una empresa dedicada a la producción de alimentos cuyo objetivo fue reducir los tiempos relacionados con averías, fallas, montajes y ajustes de equipos en una de las líneas de producción. En un trabajo realizado en Singapur, los autores documentan que implementaron el mantenimiento autónomo en una empresa dedicada a la fabricación de filtros de aceite automotriz; estudiaron las máquinas de la planta y recolectaron los datos requeridos seleccionando la máquina más crítica para el proyecto. Los resultados mostraron una mejora del 14-15 % en el OEE después de implementar el mantenimiento autónomo [7].

En el 2022, Quesquén et al. [8], aplicaron el Mantenimiento Productivo Total (TPM) en una máquina de corte automática con el objetivo de mejorar la efectividad total del equipo, durante la implementación identificaron que las principales causas de baja eficiencia eran las paradas no programadas y el elevado costo de mantenimiento correctivo, una vez implementados los cuatro pilares del TPM se generó un aumento de la disponibilidad de 72 a 80%, el rendimiento de 57 a 69% y calidad de 99 a 100%, y finalmente se incrementó el OEE en un 15%.

Metodología

La implementación del mantenimiento autónomo dentro del área de producción puede mejorar las condiciones de los equipos, así como, reducir las averías no detectadas, lo que traería como consecuencia una disminución en el tiempo muerto en mantenimiento, los pasos que se aplicaron se presentan a continuación:

1. Elaborar el diagnóstico de la situación actual en la Línea 3 del Área de Producción.
2. Desarrollar el plan de acción para la implementación del mantenimiento autónomo.
3. Implementar los tres primeros pasos del mantenimiento autónomo en el Área de Producción.
4. Evaluar los resultados obtenidos después de la implementación del mantenimiento autónomo.

1. Elaboración del diagnóstico de la situación actual en el área de producción

Se elaboró un Diagrama Causa-Efecto para lograr identificar alguna causa que podría generar las averías genéricas o el deterioro acelerado de los equipos, así como, aquellas otras que también tienen impacto en los equipos de producción y, así tener una visión sobre las áreas de oportunidad a mejorar y de problemas que se podrían erradicar. A continuación, en la Figura 1 se muestra el Diagrama Causa-Efecto:

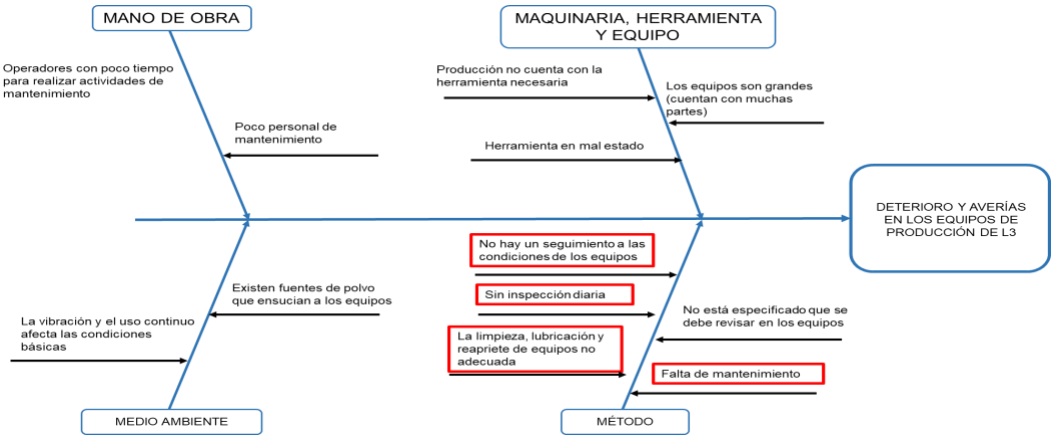


Figura 1. Diagrama de Ishikawa de causas de averías en alimentadores, molinos y rodillos.

ISSN: 2007 8102

Durante la realización de este diagrama se observó que en el Método es en donde se encuentran las principales causas de las averías y del deterioro, así como, algunos otros factores que afectan en menor escala a las condiciones de los equipos, considerando esto, se pueden trabajar los diferentes puntos a mejorar. Con lo presentado en el análisis de Ishikawa se elaboró el Diagrama de Pareto presentado en la Figura 2 que muestra las cuatro causas de averías que más han impactado a la empresa en el primer semestre del 2022. Dentro del mismo diagrama se observan las causas genéricas de averías con mayor incidencia, siendo estas las deficiencias en Limpieza, Lubricación y Reapriete (LLR), seguido de la falta de mantenimiento de los equipos, lo que provoca que los equipos se vayan deteriorando más rápido de lo esperado, es por esto que en el presente proyecto se estuvieron atendiendo estas causas.

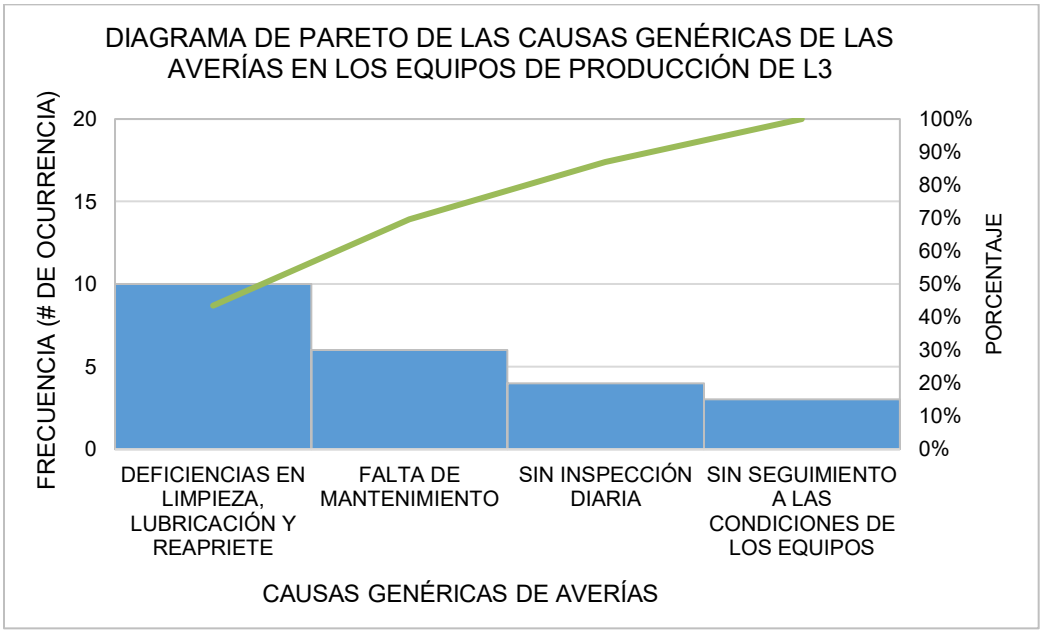


Figura 2. Causas de averías en alimentadores, molinos y rodillos de L3. Oct./2022

Para dar solución a las causas se decidió implementar el Mantenimiento Autónomo, ya que con este se prevé que las averías disminuyan impactando directamente en las deficiencias del LLR, así como las fallas, las cuales están relacionadas con la falta de mantenimiento, pues esta metodología se centra en mantener a los equipos en condiciones óptimas.

2. Desarrollar el plan de acción para la implementación del mantenimiento autónomo.

Con base en lo detectado en la etapa diagnóstico se procedió a la elaboración del plan de trabajo para dar solución o atención oportuna a las debilidades y establecer las actividades que se realizaron para la implementación del mantenimiento autónomo**.**

3. Implementación del mantenimiento autónomo en el área de producción

El desarrollo del Mantenimiento Autónomo se implementó en el área de producción para los molinos, rodillos y alimentadores como una mejora en las condiciones de los equipos. La finalidad de esto es reducir fallas, el deterioro acelerado y el tiempo desperdiciado en arreglar las averías inesperadas.

Desarrollo del Paso 0

Como primer paso se realizó un examen diagnóstico sobre conocimientos básicos en tuercas, tornillos, bandas y cadenas, para identificar a los operadores que necesitan mayor capacitación. Los temas en los que más se observaron fallas fueron cadenas y correas en V por lo cual se llevó a cabo una capacitación.

 ISSN: 2007 8102

Desarrollo del Paso 1

Con ayuda de los operadores se identificaron las condiciones del equipo mediante etiquetas blancas que se pueden resolver por producción (limpieza, lubricación, reapriete e inspección o LLR) y amarillas resueltas por mantenimiento.

Conforme se fueron colocando se realizó el llenado del Registro de hallazgos de recorrido de Mantenimiento Autónomo (Tabla 1). Dicho formato se llenó por área, uno por contenedores, otro por trituradores y otro por carretes de línea media, así como; de etiquetas blancas y amarillas por separado para lograr una mejor identificación.

Tabla 1 Registro de hallazgos de recorrido de LLR

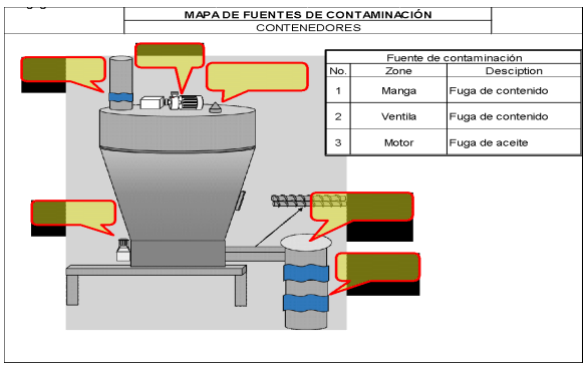
Registro de hallazgos de recorrido de LLR													
Nombre del equipo:	Equipo X	Supervisor líder:	Elpidio Aldana		Supervisor técnico:	Carlos Alvarez	Fecha emisión:	17/05/2019					
Tipo de etiquetas		Blancas ☐	Amarillas ☑	Línea	2 ☐	3 ☑							
NO.	Foto	Evidencia del equipo	Equipo	¿Posible equipo crítico? Si/No	¿Para qué? Motivo	Deterioro inicial	Cuales son las medidas posibles de mejora	Foto al finalizar	PIC	Fecha de entrega	Implementador	Fecha de finalización	Juicio Resultado
2			RZR M-3106	Si	Fricción de rodamientos y posible daño del equipo	Si	Identificar fuente de fricción o chillido y arreglar		Personal de mantenimiento	07-oct	Personal de mantenimiento	07-oct	Ok
4			TT M-3107	Si	Mantener en buen estado los equipos	Si	Cambiar piñones dañados		Personal de mantenimiento	07-oct	Personal de mantenimiento	07-oct	Ok

Como se puede observar, dicho formato se encuentra dividido en dos secciones, la de registro y la de seguimiento. En la primera se colocan imágenes de la etiqueta y el equipo, así como el nombre de la máquina, si es un problema crítico o no, el motivo y cuáles son las medidas de mejora para el problema. En la segunda sección se coloca la foto una vez realizada la actividad o resuelto el hallazgo, así como; la persona que estuvo a cargo, la fecha esperada de solución, la fecha real y un juicio final.

Durante algunas semanas se fueron resolviendo las etiquetas blancas mediante el trabajo de los operadores durante paros prolongados de línea (mayores de 6 horas). Para la resolución de las etiquetas amarillas mantenimiento fue el encargado, para lo cual se realizó una capacitación sobre la plataforma PLANTIA a todos los supervisores para que pudieran reportar anormalidades y, en este caso, las etiquetas del LLR, las cuales se resolvieron a lo largo del paso 2.

Desarrollo del Paso 2

Durante la primera inspección y limpieza de los equipos, se realizó la identificación de fuentes de contaminación mediante diagramas del equipo y puntos de contaminación (figura 3). Además, con ello se generaron actividades de contención o solución de la fuente de contaminación.



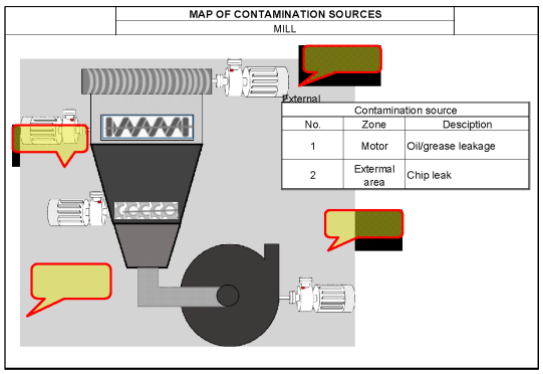


Figura 3 Mapa de fuentes de contaminación de contenedores y molinos

 ISSN: 2007 8102

Las fuentes de contaminación en contenedores se describen de la siguiente manera:

1. Al tomar muestras de resina en bolsa esta permanece abierta lo cual ocasiona que se disperse en el aire contaminando el ambiente.
2. En los contenedores se tienen respiraderos de los cuales sale polvo de PVB llamado “algodoncillo” que también se dispersa en el ambiente.
3. Los contenedores más grandes tienen fuga de algodoncillo en la tapa debido a un espacio generado en el medio, el cual contamina con polvo parte del equipo y el techo que lo rodea.

Para contrarrestar cada una de estas fuentes se optó por:

1. Colocar un cuñete para guardar la bolsa, así como, colocar una tapa con orificio para el espacio de toma de muestras.
2. Colocar un filtro que permita que salga el aire del respiradero pero que no salga el “algodoncillo”.
3. Alargar una tapa inferior del nauta para tapar el orificio por donde se presenta la salida de algodoncillo.

Para el caso de carretes se encontró que no cuentan con guardas y la generación de grasa en los rodamientos y juntas rotativas después de la lubricación puede generar contaminaciones en el PVB. Por lo anterior, se implementó una limpieza cada paro de línea, ya sea corto o largo (aunque se lubriquen o no), para evitar que la grasa se convierta en contaminación. Asimismo, se realizó un benchmarking de tiempos de realización de actividades (limpieza o lubricación), para identificar las posibles mejoras que pudieran reducir tiempo y realizar las mismas de manera más rápida.

En los carretes una de las actividades que tomaba tiempo y podía ser reducida es la colocación de candado LOTO en los tableros de energía de los carritos los cuales se encuentra en un tercer piso, lo que implica que se tenga que subir 4 veces para bloquear y desbloquear los carretes durante la lubricación. Se sugirió colocar interruptores en los paneles junto a los carritos para bloquear directamente sin la necesidad de desplazarse a otro lugar. También en los carretes de calor se consideró que en los espacios reducidos para lubricar se colocaran graseras en forma de L, pues esto facilita la entrada de la inyectora sin perder tiempo en quitar guardas o colocar cuidadosamente la manguera con lo que se tiene un ahorro en tiempo de aproximadamente 10 minutos. En la Figura 4 se muestra la situación pasada contra la actual.

Posteriormente a las mejoras presentadas, se comenzaron a realizar OPL (One point lesson o lecciones de un punto), de las cuales cada operador presentó por lo menos una, sobre acciones o puntos a considerar que pueden mejorar en las actividades de limpieza, lubricación o inspección dentro de los equipos. A continuación, se muestra una de las hojas realizadas (Figura 5). Como se puede observar, las hojas contienen datos como quién la realizó, la fecha y el título.

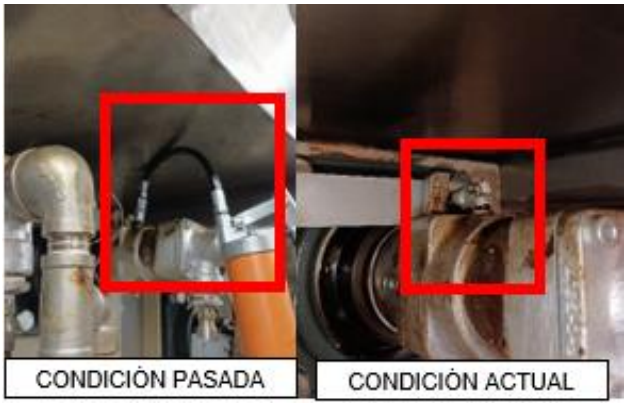


Figura 4 Graseras en carretes.

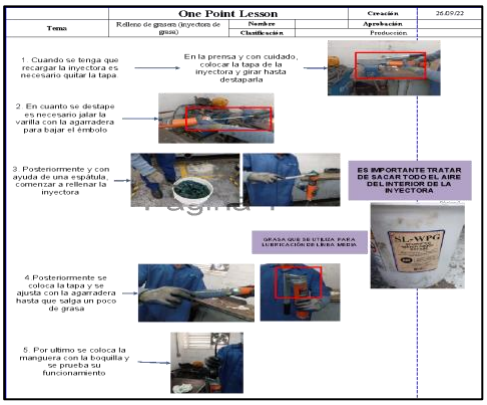


Figura 5 OPL realizada por operadores

Desarrollo del Paso 3

Como último paso a desarrollar, se realizaron estándares de limpieza e inspección, así como, la colocación de controles visuales a lo largo de los equipos. Los estándares se realizaron en forma de checklist, el cual se encuentra dividido en dos secciones, la de limpieza en donde se específica qué partes son las que se deben

limpiar durante paros de línea y la de inspección que se debe llenar todos los días al inicio de turno para llevar un seguimiento en caso de alguna anomalía presentada. A continuación, se presenta la base de los checklist (figura 6)

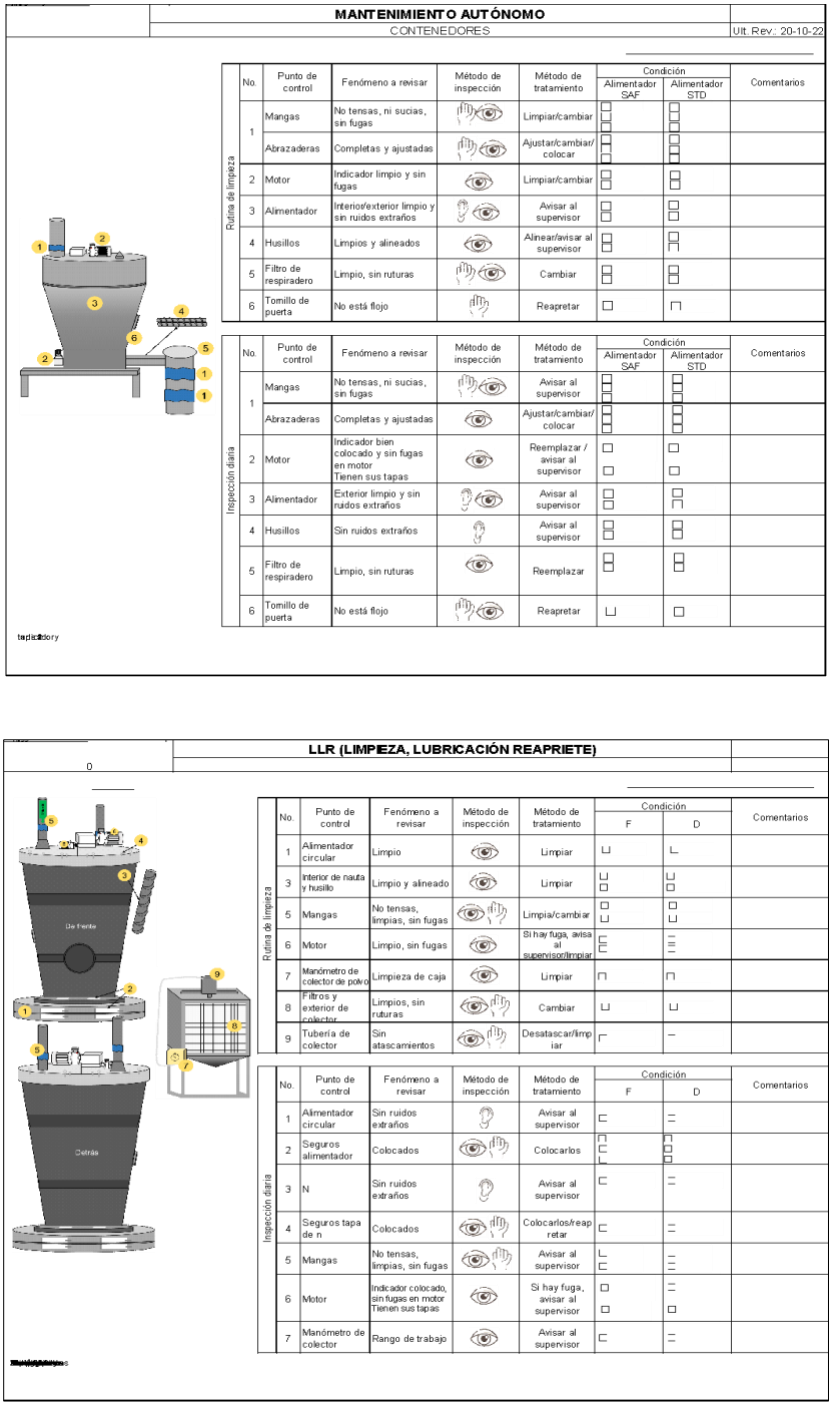


Figura 6 Checklist de contenedores y nautas

Una vez teniendo estos checklist y previamente realizados los pasos 1 y 2 se pueden comenzar a implementar de manera diaria (inspección) y cuando se realiza una limpieza dentro de los equipos (limpieza). Mediante estos formatos, las mejoras realizadas y las habilidades adquiridas de los operadores se completan los 3 primeros pasos del Mantenimiento Autónomo.

ISSN: 2007 8102

RESULTADOS

4. Evaluación de los resultados obtenidos después de la implementación del Mantenimiento Autónomo

A lo largo del desarrollo del proyecto, se observaron cambios progresivos, los cuales fueron el resultado de la implementación del Mantenimiento Autónomo junto con la ayuda de los operadores.

Durante el Paso 1 se logró identificar las anomalías de los equipos, se realizó la limpieza correspondiente para cada uno, llevándolo a sus mejores condiciones y tratando de disminuir visiblemente el deterioro acelerado.

Por otro lado, se identificó la falta de herramienta para que los operadores pudieran realizar sus actividades, por lo que junto con el personal de producción y los operadores se realizó una lista de herramientas necesarias para cada área, con base en eso se realizaron cotizaciones para su adquisición.

Posteriormente en el paso 2 se identificaron y realizaron contramedidas para las fuentes de contaminación. También se tomaron medidas para disminuir el tiempo que tomaban las limpiezas.

Durante el paso 3 se realizó la colocación de controles visuales, en donde se realizaron pequeños carteles con los nombres completos de los equipos junto con su ID para poderlos reconocer fácilmente.

Por otro lado, se etiquetaron todas las válvulas de los equipos para conocer cuáles son normalmente abiertas y/o cerradas, lo cual servirá como punto de inspección para los supervisores al momento de arrancar o parar la línea y para los operadores para conocer cuáles son las condiciones normales de trabajo de los equipos (Figura 7).



Figura 7 Etiquetas de identificación de válvulas.



Figura 8 Apriete de tornillos y colocación de flechas

Adicionalmente se marcaron los tornillos fijos con el apriete correspondiente que deben tener, ya que el movimiento y la vibración pueden provocar que estos se aflojen o aprieten, con la marca será fácilmente identificable cuanto esto suceda para poder solucionarlo. Del mismo modo, se colocaron flechas para identificar cual es el sentido del movimiento de correas, rodamientos y el flujo de aire o de agua, esto se presenta en la Figura 8. Otro control visual que se colocó para facilitar la inspección de trabajo de los equipos fue “banderines”, los cuales con la salida de aire se mueven y de esa manera se puede verificar rápidamente si el motor o el equipo está en funcionamiento o no, sin la necesidad de acercarse al equipo y detenerse a observar su condición.

Por último, a lo largo de la línea y las áreas donde se encuentran los equipos, se fueron colocando ayudas visuales y las OPL realizadas por los operadores para facilitar la realización de inspecciones y limpiezas, pues con estas hojas se pueden recordar puntos críticos considerados importantes para la realización de sus actividades

Estas ayudas visuales contienen información de fácil lectura, desde como inspeccionar un área específica, la realización de limpieza, hasta la manipulación de los equipos, con la finalidad de mejorar la manera en la que los operadores realizan sus actividades.

Todo esto llevó a tener los checklist de manera digital para que los operadores e incluso supervisores puedan acceder a él y se realicen las inspecciones correspondientes para cada equipo y con esto se prevenga la generación de averías.

 ISSN: 2007 8102

El objetivo principal del proyecto fue la reducción de los equipos con deterioro acelerado mediante la reducción de la cantidad de averías inesperadas, de los equipos con daño por falta de mantenimiento y del tiempo para la reparación de equipos. Los resultados obtenidos después de la implementación se muestran a continuación:

Se tomaron los datos sobre las averías presentadas durante el mes de octubre y noviembre, donde se estuvieron realizando actividades de implementación junto con los operadores. Estas actividades incluyeron limpiezas internas y externas, lubricación constante de rodillos de LM, así como, inspecciones durante las mismas actividades de limpieza. En las Figuras 9 a 11 se observa que se logró cumplir con el objetivo de reducir las averías inesperadas en los equipos.

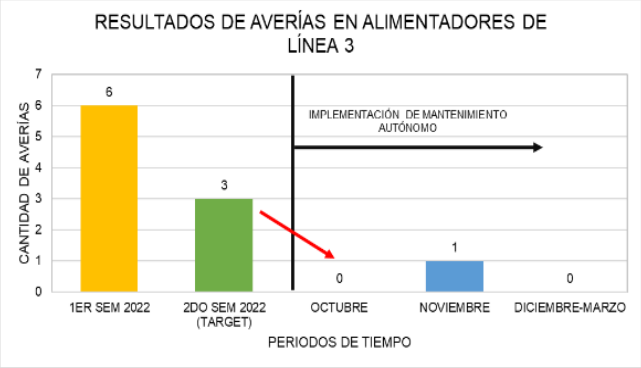


Figura 9 Disminución de averías en alimentadores L3.

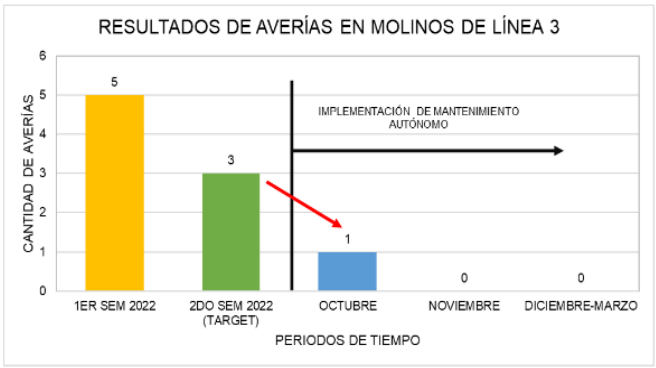


Figura 10 Disminución de averías en molinos de L3

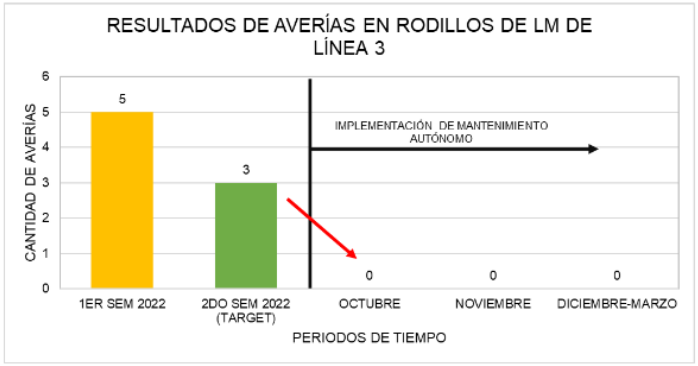


Figura 11 Disminución de averías en rodillos de L3

Las Figuras anteriores muestran como en el mes de octubre y noviembre disminuyeron las averías. Cabe resaltar que los datos fueron tomados durante un mes de implementación, donde ocurrieron 1 avería para alimentadores, 1 para molinos, y 0 para rodillos, se espera que en 6 meses hayan de 0 a 3 averías, lo que significa que hasta el momento se están cumpliendo las proyecciones, es decir, un 50% menos en las averías de los equipos.

El tiempo para la reparación de averías se encuentra directamente relacionado con la frecuencia de estas, por lo que en las Figuras 12 y 13 se presentan los resultados del tiempo muerto que se tuvo durante este mes de implementación para los 3 grupos de máquinas.

 ISSN: 2007 8102

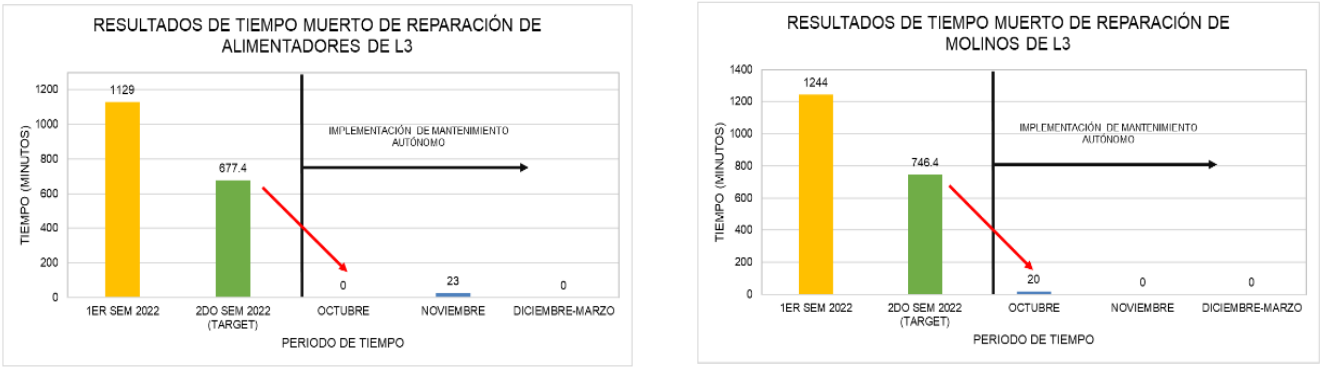


Figura 12 Reducción de tiempo muerto para reparación de averías en: a) alimentadores, b) molinos

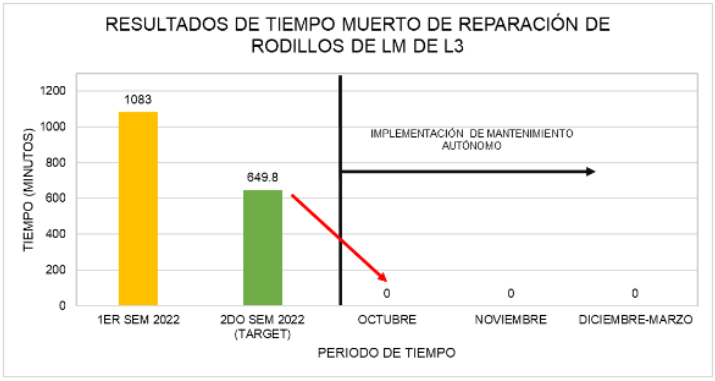
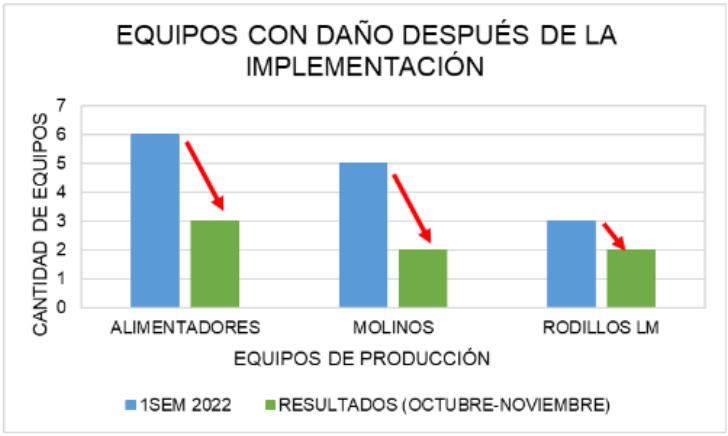


Figura 13 Reducción de tiempo muerto para reparación de averías en rodillos

Se puede observar que hubo una drástica disminución del tiempo muerto para la solución de averías después de la implementación, pues la proyección para alimentadores fue de 677.4 minutos y se redujo a 23 (99.97%), para molinos de 746.4 minutos a 20 (99.97%), y para rodillos de 649.8 a 0 minutos (100%), lo que en promedio hubo una reducción de 99.37%.

En la figura 14 se realiza una comparación de la proyección de los equipos con daños por falta de mantenimiento contra lo obtenido después de la implementación. Estos resultados fueron obtenidos con la ayuda de mantenimiento, debido a que fueron las averías reportadas en el software PLANTIA.



h

Figura 14 Resultados de equipos con daños después de la implementación

 ISSN: 2007 8102

Como se puede observar en ambas gráficas de resultados, las proyecciones realizadas al inicio del proyecto indicaban una disminución del 50% en daños, lo cual fue obtenido al finalizar el proyecto, es decir, la mitad de los equipos con daños al inicio del proyecto fueron intervenidos para mejorar sus condiciones físicas.

En conjunto los datos sobre la disminución de averías, del tiempo muerto y los equipos con daño, reflejan que a lo largo del proyecto se ha logrado reducir un 66% del deterioro acelerado que se presentaba al inicio de este, lo cual fue posible mediante la implementación de mejoras, de la capacitación y trabajo con los operadores, así como, la creación de estándares.

Conclusiones

Con la implementación de los estándares de limpieza, las mejoras realizadas y el trabajo con los operadores se observó una disminución de las averías y los equipos con daño, lo cual, en conjunto contribuyeron la reducción del 66% en el deterioro acelerado que los equipos de producción presentaban. De este modo se concluye que el objetivo del proyecto se concretó exitosamente.

Referencias

[1] NAKAJIMA, Seiichi. 1993. Introducción al TPM. Ed. TGP. 3ª Edición. Madrid, 50-57, 74-83

[2] Suzuki, T. (2017). TPM En Industrias De Proceso: Originalmente publicado por el Japan Institute of Plant Maintenance. Routledge, 87-120

[3] RUIZ Enciso, D. A. V. I. D. (2011). Implementación del Mantenimiento Autónomo en el área de Laser-Prensas de la empresa CNH Componentes, 68-19.

[4] Canahua, Nohemy.2021. Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica.*Industrial Data.* Vol. 24 (No. 1).

[5] Mohamed, A., Ben, J., Muduli, K. (2022). Implementation of Autonomous Maintenance and Its Effect on MTBF, MTTR, and Reliability of a Critical Machine in a Beer Processing Plant. In: Deepak, B.B.V.L., Parhi, D., Biswal, B., Jena, P.C. (eds) Applications of Computational Methods in Manufacturing and Product Design. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0296-3_47.

[6] Giocondo César Francisco I., Cabello Lima Carlos Roberto, Simon Tadeu Alexandre. 2014. TPM Implementation In Its Autonomous Maintenance Phase: Case study in a food industry. Espacios. Vol. 35 (Nº 12). Pág. 23. Consultado en: https://www.revistaespacios.com/a14v35n12/14351224.html

[7] Gurpreet Singh Bali, S., Singh, G., Singh, B., Mohan, S. (2022). Improvement in Overall Equipment Effectiveness in Manufacturing Industry Using Autonomous Maintenance. In: Govindan, K., Kumar, H., Yadav, S. (eds) Advances in Mechanical and Materials Technology . EMSME 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2794-1_41

[8] Quesquén, Y., Regalado, F., Díaz, P., Guevara, F. (2022). Aplicación del TPM en la máquina de corte automática CNC ESAB Suprarex para mejorar la Efectividad total del equipo. INGnosis. Vol. 8, No. 2 https://doi.org/10.18050/ingnosis.v8i2

ISSN: 2007 8102

Determinación de acciones prioritarias para mejorar tiempos de atención a clientes en empresa de servicios

K.V. Cabrera Pérez[1], F. Ortiz Flores[2*], F. Ortiz López[3], M. E. Gurruchaga Rodríguez[2**], J. L. Hernández Mortera[2***].*

[1]Alumno MI, División de estudios de posgrado e investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba. karen.v.vcabrera.perez@gmail.com,
[2]División de estudios de posgrado e investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba. [2]fer.ort.f@gmail.com, [2**] eloisa.gr@orizaba.tecnm.mx, [2***]mortera60@yahoo.com.mx,*
[3]Path Logistic + Copacker Cuautipark. fernando.ortiz@pathlogistic.com

***Área de participación**: Ingeniería Industrial*

Resumen
Debido a inconformidades en los tiempos de atención a clientes, de una empresa de servicios, fue necesario determinar acciones prioritarias para mejorarlos, mediante una metodología de cuatro pasos que involucró diversas técnicas de ingeniería industrial: SIPOC, *Value Stream Mapping* (VSM), diagrama de Ishikawa, matriz de priorización, lluvia de ideas y diagrama de relaciones. La aplicación de la metodología se enfocó en determinar causas y acciones para mejorar un indicador de desempeño: tiempo de atención a clientes. Esta metodología muestra cómo se logró la interrelación del diagrama de Ishikawa, matriz de priorización y diagrama de relaciones para determinar acciones prioritarias en busca de la mejora del indicador de desempeño.

Palabras clave: Ishikawa, VSM, Matriz de Priorización.

Abstract
Due to non-conformities in customer service times, of a service company, it was necessary to determine priority actions to improve them, through a four-step methodology that involved various industrial engineering techniques: SIPOC, Value Stream Mapping (VSM), diagram of Ishikawa, prioritization matrix, brainstorming, and relationship diagram. The application of the methodology focused on determining causes and actions to improve a performance indicator: customer service time. This methodology shows how the interrelation of the Ishikawa diagram, prioritization matrix, and interrelationship diagram, was achieved to determine priority actions in search of improvement of the performance indicator.

Key words: Ishikawa, SIPOC, VSM, Matriz de Priorización

Introducción
Los avances en la tecnología y la globalización de los mercados han ocasionado que las empresas encuentren ambientes mucho más competitivos donde los clientes demandan mayor calidad, menor costo y tiempo de entrega de productos y/o servicios [1], lo cual implica que las empresas hagan uso de herramientas eficaces en la búsqueda constante de la mejora de sus procesos [1]. Uno de los procesos que cobra cada vez mayor relevancia para las empresas es el tiempo de atención a clientes [2].

Para identificar acciones en los procesos, que mejoren tiempos de atención a clientes, Schmal y Olave [2] utilizaron el diagrama SIPOC (*Supplier, Input, Process, Output, Consumer*), como parte complementaria de su investigación, por su contribución en la identificación de proveedores, entradas a los procesos, los procesos involucrados, la salida del proceso y los clientes. SIPOC es un método útil para definir el flujo de material, desde el proveedor hasta el cliente [3].

Otra herramienta que ha sido utilizada para identificar mejoras en los procesos, en empresas de servicios, es el VSM (*Value Stream Mapping*), debido a que ésta ayuda a analizar el flujo de materiales e información necesaria para llevar un producto o servicio al cliente [4], lo que implica observar detalladamente cada una de las partes del proceso para identificar la ineficacia dentro del mismo [5].

Martino [6], para analizar y mejorar los procesos en una empresa de servicios, utilizó el diagrama de Ishikawa debido a que permite visualizar la relación entre un efecto o problema y las causas o factores que lo originan, es decir, plantea una relación de causa-efecto [6]. Las causas que originan un efecto están clasificadas en puntos críticos, establecidos por el investigador, tomando en cuenta diversos factores dentro del efecto analizado. Estos factores pueden, o no, estar relacionados entre sí [7].

Debido a que con el VSM o con el diagrama de Ishikawa se generan muchas áreas de oportunidad y causas, en ocasiones no hay recursos suficientes para dar solución a cada una, bajo esta situación es deseable seleccionar sólo las áreas de oportunidad que sean prioritarias o las causas que tienen influencia sobre otras causas:

- Para seleccionar áreas prioritarias se puede utilizar la matriz de priorización debido a que ésta prioriza actividades, temas o características de productos/servicios, con base en criterios establecidos por el investigador [8]. Para realizar una matriz de priorización en el eje x, y en el eje y, se colocan las áreas de oportunidad que se desean evaluar y dicha evaluación se realiza por medio de una escala cualitativa o cuantitativa de acuerdo con el nivel de contribución de esa área de oportunidad con las demás y, al final del eje x, se promedian los resultados; el área de oportunidad con mayor porcentaje será la acción prioritaria [9].
- Para identificar las causas que influyen en otras, obtenidas del diagrama de Ishikawa, se puede utilizar un diagrama de relaciones debido a que éste representa un proceso lógico que permite establecer flujos multidireccionales con secuencias de causas y efectos [9]. El diagrama de relaciones determina que causa planteada tiene influencia sobre otra a través de una flecha en el sentido de la influencia, presentando, de esa manera, las relaciones [8]. Las causas presentadas de esta manera forman un gráfico donde se pueden identificar, visualmente, las causas que tienen la mayoría de las flechas salientes o entrantes y con base en eso tomar una decisión [8].

En el presente artículo se muestra cómo se utilizó el diagrama de relaciones para identificar causas raíz, derivadas del diagrama de Ishikawa, y áreas prioritarias, con la finalidad de mejorar tiempos de atención a clientes en una empresa de servicios.

Metodología

La metodología empleada, en la determinación de acciones prioritarias, para mejorar tiempos de atención a clientes en una empresa de servicios, fue la siguiente:

1. Identificar áreas de oportunidad.
2. Seleccionar áreas prioritarias.
3. Definir indicador de desempeño.
4. Identificar causas raíz que afectan al indicador de desempeño.

1. Identificar áreas de oportunidad

Para identificar las áreas de oportunidad se realizaron las actividades siguientes:

- Reunión con uno de los socios de la empresa, el gerente general y el gerente del departamento hidráulico.
- Recorrido por la empresa.
- Entrevista con el personal.
- Creación del diagrama SIPOC (Figura 1) utilizando lo descrito por Tovar [10].
- Creación de VSM de estado presente (Figura 2) utilizando lo descrito por Lee & Snyder [11]. Para crear el VSM se conformó un equipo de seis personas con conocimientos de las áreas de trabajo y sus procesos: dos agentes vendedores, un agente de compras, el encargado de almacén, el gerente del departamento hidráulico y el autor del presente artículo, el cual fue el líder de la actividad; cabe señalar que ninguno de los integrantes del equipo cuenta con certificación *Lean.* Con el VSM, que se complementó con la información del diagrama SIPOC, se identificaron cuatro áreas de oportunidad: 1) reducción del tiempo en la cotización del servicio, 2) reducción del tiempo en la preparación de la grúa, 3) reducción del tiempo de inventario entre cotización del servicio y preparación de grúa y 4) reducción del tiempo de inventario entre preparación de grúa y realización del servicio.

 ISSN: 2007 8102

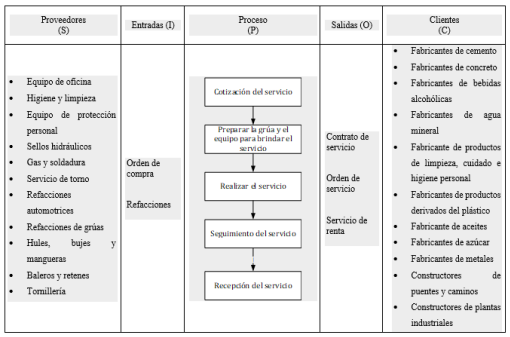


Figura 1 Diagrama SIPOC de la empresa en estudio

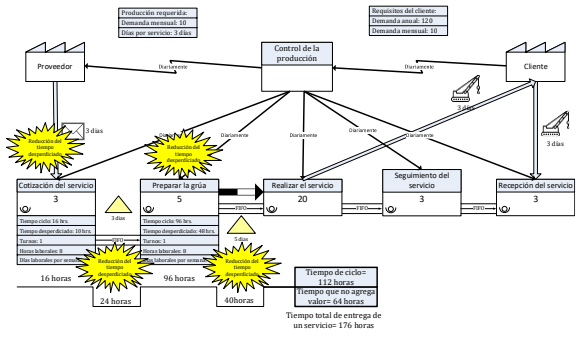


Figura 2 Áreas de oportunidad del VSM de estado presente

2. Seleccionar áreas prioritarias

Con base en las cuatro áreas de oportunidad, identificadas con el VSM, se realizó la matriz de priorización de la Tabla 1, mediante lo descrito por Camisón et al. [12] para identificar las áreas prioritarias. Con base en lo mostrado en la
Tabla 1 se seleccionaron dos áreas prioritarias: **reducción del tiempo en preparar la grúa (con un porcentaje de 62.2%) y reducción del tiempo en la cotización del servicio (con un porcentaje de 26.56%).**

Tabla 1 Matriz de priorización para selección de áreas de oportunidad

	Reducción del tiempo en la cotización del servicio	Reducción del tiempo en preparar grúa	Reducción del tiempo de inventario entre cotización del servicio y preparar grúa	Reducción de tiempo de inventario entre prepara grúa y realizar el servicio.	Total	porcentaje
Reducción del tiempo en la cotización del servicio	1	$\frac{1}{10}$	5	5	11.10	26.56%
Reducción del tiempo en preparar grúa	10	1	5	10	26.00	62.20%
Reducción del tiempo de inventario entre cotización del servicio y preparar grúa	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	1	1	2.40	5.74%
Reducción de tiempo de inventario entre prepara grúa y realizar el servicio	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{10}$	1	1	2.30	5.50%
Total	11.40	1.40	12.00	17.00	41.8	100%

3. Definir indicador de desempeño

Para definir el indicador de desempeño, con base en las áreas prioritarias seleccionadas, se realizaron las actividades siguientes:

- Se determinó un indicador de desempeño: **tiempo de atención a clientes.**
- Se identificaron los elementos que conforman al indicador de desempeño con base en las dos áreas prioritarias: **tiempo en preparar la grúa** y **tiempo en la cotización del servicio** (Figura 3).
- Se definió detalladamente cada uno de los elementos que conformar al indicador de desempeño:
  - Tiempo en preparar la grúa. Tiempo comprendido desde la indicación de la grúa que esta próxima a salir a un servicio, del agente vendedor al departamento de mantenimiento, hasta que la grúa se encuentra en óptimas condiciones.
  - Tiempo en la cotización del servicio. Tiempo comprendido desde la comunicación del cliente para solicitar una cotización de un servicio, hasta que dicha cotización se le entrega.

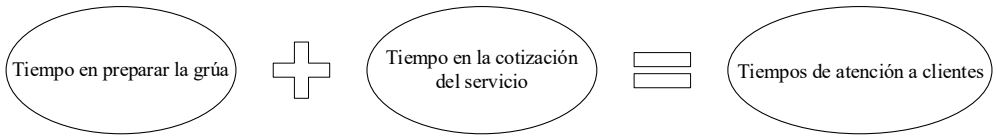


Figura 3 Elementos que conforman al indicador de desempeño

 ISSN: 2007 8102

4. Identificar causas raíz que afectan al indicador de desempeño

Para identificar causas que afectan al indicador de desempeño se realizaron las actividades siguientes:

- Generación de diagrama de Ishikawa, mediante lo descrito por Ishikawa [13], para el elemento “tiempo en preparar la grúa” (Figura 4).
- Generación de diagrama de Ishikawa para el elemento “tiempo en la cotización del servicio” (Figura 5).
- Identificación de causas que afectan al indicador de desempeño mediante el desarrollo del diagrama de relaciones de la Figura 6, realizado mediante lo descrito por Tejero Monzón et al. [8], Con este diagrama, que agrupa las causas raíz identificadas a partir de las causas definidas en los diagramas de Ishikawa, se identificaron seis causas raíz que afectan al indicador de desempeño: 1) falta de información, 2) falta de interés por parte de los trabajadores, 3) falta de programa de asignación de recursos monetarios, 4) falta de espacio, 5) exceso de trabajo y 6) falta de presupuesto.

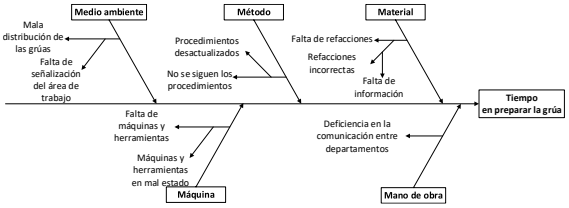


Figura 4 Diagrama de Ishikawa para el elemento “tiempo en preparar la grúa”

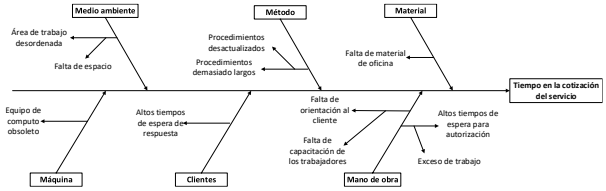


Figura 5 Diagrama de Ishikawa para el elemento “tiempo en la cotización del servicio”

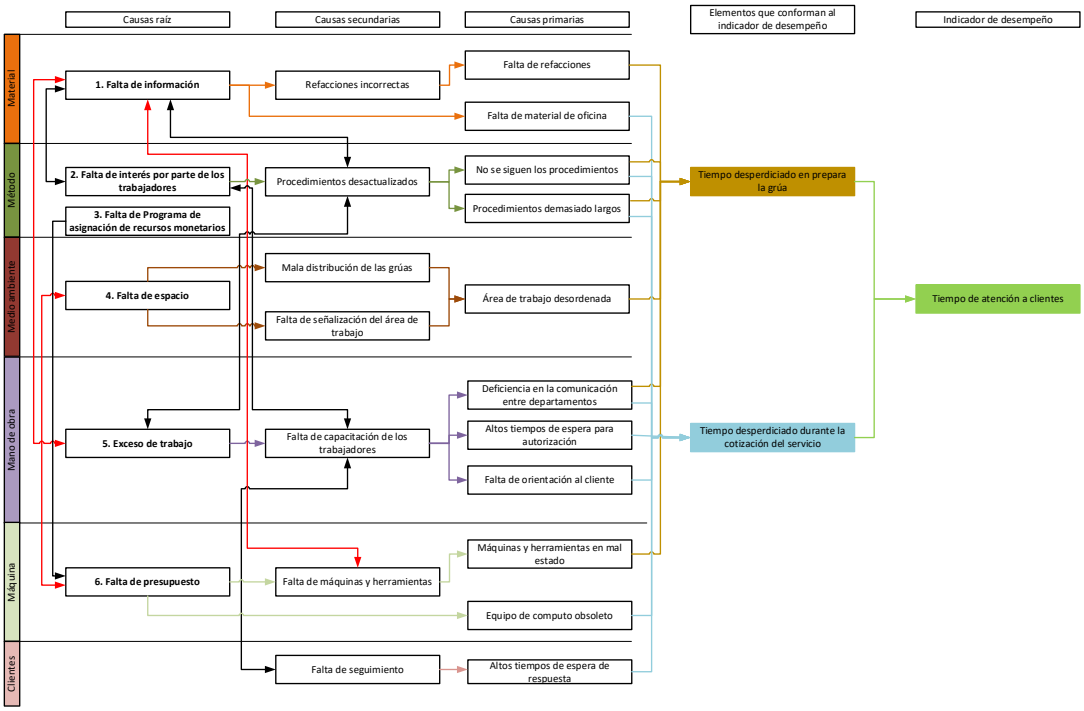


Figura 6 Diagrama de interrelaciones para identificar causas que afectan a los elementos del indicador de desempeño

Resultados

Para determinar acciones prioritarias, que reduzcan las causas raíz detectadas en la Figura 6, se desarrolló el diagrama de relaciones de la Figura 7 y la matriz de priorizaciones de la Tabla 2 .

Para desarrollar el diagrama de relaciones se realizó lo siguiente:

- Se consideraron todas las causas raíz, los elementos que conforman el indicador de desempeño y el indicador de desempeño, mostrados en la Figura 6, y se generó la primera parte del diagrama de relaciones indicando una relación de causa-efecto.

- Se determinaron acciones posibles, mediante una lluvia de ideas, que pudieran disminuir y/o eliminar las causas raíz.
- Se colocaron las acciones posibles, en el diagrama de relaciones de la Figura 7, y se colocaron flechas para indicar a que causa raíz podía mejorar, formando una relación de causa-efecto.
- Se analizó el diagrama de relaciones obtenido y se determinaron las siguientes dos acciones prioritarias, que pueden reducir las causas raíz y, por consiguiente, mejorar tiempos de atención a clientes de una empresa de servicios:
  - Planificación de los servicios. Esta acción fue considerada porque afecta a 5 causas raíz, lo cual se puede observar por las cinco relaciones causa-efecto (flechas en color lila).
  - Entrenamiento de personal. Esta acción fue considerada porque afecta a 4 causas raíz, lo cual se puede observar por las cuatro relaciones causa-efecto (flechas en color verde).

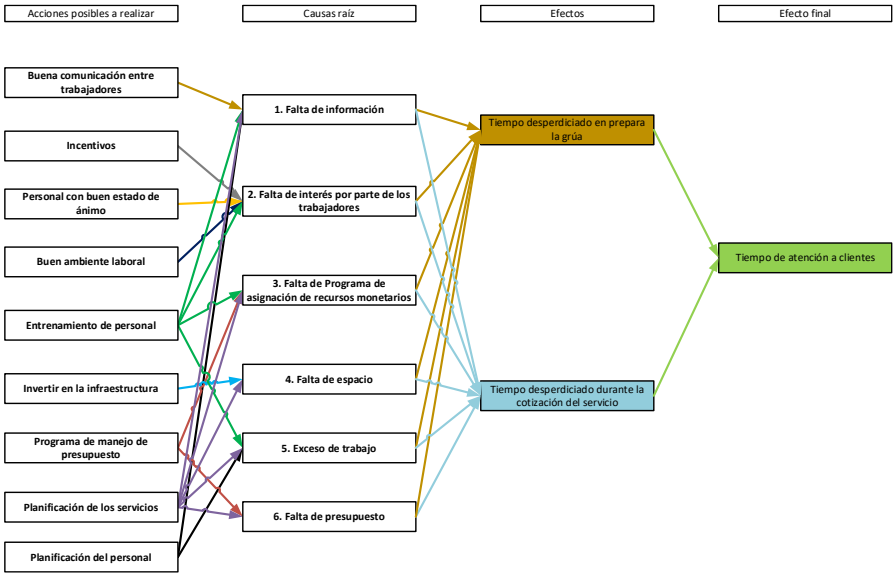


Figura 7 Diagrama de interrelaciones para la identificar acciones posibles que pueden reducir las causas raíz

Para desarrollar la matriz de priorización se realizó lo siguiente:

- Se colocaron las acciones posibles a realizar, en el mismo orden, tanto en filas como en columnas.
- Se colocó el valor 1 en la diagonal principal.
- Se evaluó la importancia de la acción posible de la primera columna con respecto a las acciones posibles de las filas correspondientes. Los valores utilizados para evaluación fueron 1 para la misma importancia, 5 para significativamente más importante, 10 para mucho más importante, $\frac{1}{5}$ para significativamente menos importante, $\frac{1}{10}$ mucho menos importante y 0 para sin importancia.
- Se colocaron, en la primera fila, los valores recíprocos de la evaluación previa de la primera columna, con respecto a las acciones posibles de las columnas correspondientes.
- Se evaluó la importancia de las acciones posibles de todas las filas y todas las columnas.
- Se colocó una fila al final con la sumatoria de los valores de cada columna.
- Se colocó una columna al final con la sumatoria de los valores de cada fila.
- Se colocó una última columna con el porcentaje de importancia de cada acción posible.
- Se realizó un análisis de la Tabla 2 donde se determinó que dos acciones prioritarias pueden reducir las causas raíz y, por consiguiente, mejorar tiempos de atención a clientes de una empresa de servicios:
  - Entrenamiento de personal. Se seleccionó esta acción porque representa una importancia de 17.75%, que es el porcentaje más alto.
  - Planificación de los servicios Se seleccionó esta acción porque representa una importancia de 16.17%, que es el segundo porcentaje más alto.

Tabla 2 Matriz de priorización para selección de acciones prioritarias

	Buena comunicación entre trabajadores	Incentivos	Personal con buen estado de ánimo	Buen ambiente laboral	Entrenamiento de personal	Invertir en infraestructura	Programa de manejo de presupuesto	Planificación de los servicios	Planificación de personal	Reglas de asignación	Total	Porcentaje
Buena comunicación entre trabajadores	1	10	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	10	0	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	21.9	6.93%
Incentivos	$\frac{1}{10}$	1	$\frac{1}{10}$	0.2	$\frac{1}{5}$	0	$\frac{1}{10}$	0	0	0	1.7	0.54%
Personal con buen estado de ánimo	10	10	1	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{5}$	10	5	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	5	41.7	13.20%
Buen ambiente laboral	10	5	10	1	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{5}$	27.1	8.58%
Entrenamiento de personal	10	5	5	5	1	5	10	$\frac{1}{10}$	5	10	56.1	17.75%
Invertir en infraestructura	$\frac{1}{10}$	0	$\frac{1}{10}$	5	$\frac{1}{5}$	1	$\frac{1}{10}$	10	10	$\frac{1}{5}$	26.7	8.45%
Programa de manejo de presupuesto	0	10	$\frac{1}{5}$	5	$\frac{1}{10}$	10	1	$\frac{1}{5}$	10	$\frac{1}{5}$	36.7	11.61%
Planificación de los servicios	5	0	5	5	10	$\frac{1}{10}$	5	1	10	10	51.1	16.17%
Planificación de personal	5	0	5	10	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	1	$\frac{1}{10}$	21.6	6.84%
Reglas de asignación	5	0	$\frac{1}{5}$	5	$\frac{1}{10}$	5	5	$\frac{1}{10}$	10	1	31.4	9.94%
Total	46.2	41	26.7	36.4	12.3	41.4	26.5	12.1	46.5	26.9	316	100.00%

En resumen, se determinó que, del análisis del diagrama de relaciones, de la Figura 7, como de la matriz de priorización, de la Tabla 2, las acciones prioritarias que ayudarían a reducir las causas raíz para la mejora de tiempos de atención a clientes, de una empresa de servicios (y que en ambos casos coincidieron) que son el **entrenamiento de personal** y la **planificación de los servicios.**

Trabajo a futuro

Los trabajos futuros, una vez determinadas las acciones prioritarias para el mejoramiento de los tiempos de atención a clientes son los siguientes:

- Medir el tiempo de atención a clientes antes de entrenar al personal y planificar los servicios.
- Explicar detalladamente al personal de la empresa sobre las acciones sugeridas en la Tabla 3 y Tabla 4, para el entrenamiento del personal y planificación de los servicios, respectivamente. Mencionar los beneficios que se podrían obtener para la empresa y aclarar dudas en caso de presentarse.
- Realizar un VSM de estado futuro con las mejoras sugeridas.
- Realizar las acciones sugeridas en la Tabla 3 y Tabla 4, para el entrenamiento del personal y planificación de los servicios. Estas acciones pueden ayudar al logro de otros efectos finales.
- Medir el tiempo resultante de atención a clientes, después de entrenar al personal y planificar los servicios y determinar el grado de mejora.

Tabla 3 Acciones por realizar, relacionadas con el entrenamiento de personal, para el cumplimiento de otros efectos finales

Causa	Acciones por realizar	Efecto	Efecto final
Entrenamiento de personal	Misión, visión y valores empresariales	Genera sentido de pertenencia con la empresa	Interés en el trabajo por parte de los trabajadores
	Encuesta de satisfacción	Identifica el estado de ánimo del personal	
		Ayuda a tomar medidas correctivas a inconformidades del personal	
	Buzón de sugerencias	Ayuda a conocer la percepción y las sensaciones de los trabajadores con respecto a la empresa	
	5'S	Mantiene el área de trabajo ordenada y limpia.	Personal eficiente
		Reduce desperdicios	
	Asignar puestos de trabajo de acuerdo con las aptitudes de cada trabajador	El trabajador realiza las actividades de su puesto con mayor facilidad	
	Reglas de asignación	Ayuda al trabajador a priorizar las actividades a realizar	
	Asignar puestos de trabajos definidos	Ayuda al trabajador a concentrarse sólo en las actividades que le corresponden	
		Se capacita al trabajador únicamente en las actividades correspondientes	Personal capacitado
	Diagnóstico de necesidades de capacitación	Identifica las actividades en las cuales la persona debe ser capacitado	
	Tableros de mensajes en cada estación de trabajo	Ayuda a que el personal esté informado de las actividades que debe realizar	Personal comunicativo
	Calendario digital de actividades	Ayuda al personal a verificar los cambios de los servicios en tiempo real	
	Normas de calidad	Ayuda al cumplimiento de los requerimientos de los clientes	Servicio de calidad
	Normas de seguridad	Previene accidentes entre los trabajadores	Servicio con seguridad

Tabla 4 Acciones por realizar, relacionadas con la planificación de servicios, para el cumplimiento de otros efectos finales

Causa	Acciones por realizar	Efecto	Efecto final
Planificación de servicios	Explosión de materiales de cada servicio	Determina los materiales necesarios durante un servicio de renta de grúas industriales	Personal eficiente
	MRP	Programa los requerimientos de los materiales utilizados durante un servicio de renta de grúas industriales.	
	Listas de verificación	Ayuda al cumplimiento de los requerimientos de los clientes	
	Diagnóstico de necesidades de capacitación	Identifica las actividades en las cuales la persona debe ser capacitado	Personal capacitado
	Tableros de mensajes en cada estación de trabajo	Ayuda a que el personal esté informado de las actividades que debe realizar	Personal comunicativo
	Calendario digital de actividades	Ayuda al personal a verificar los cambios de los servicios en tiempo real	Buen flujo de la información
	PERT	Determina la ruta crítica a seguir durante la planeación de un servicio de renta de grúas industriales.	Grúa con disponibilidad
	Reglas de asignación	Ayuda al trabajador a priorizar las actividades a realizar	Sin exceso de trabajo

Conclusiones

Es innegable la necesidad de las industrias por mejorar sus procesos, lo cual tienen como consecuencia la mejora del tiempo de atención a sus clientes. Para ese fin, fue posible la utilización de herramientas de ingeniería industrial como las mencionadas en el presente artículo.

El presente trabajo de investigación, realizado en una empresa de servicios, arrojó diversas áreas de oportunidad de las cuales se seleccionaron dos: la reducción del tiempo en preparar la grúa y la reducción del tiempo en la cotización del servicio; las cuales contribuían al indicador de desempeño por mejorar: tiempo de atención a clientes.

Para la mejora del indicador de desempeño se identificaron causas raíz, mediante un diagrama de Ishikawa, las cuales se agruparon en un diagrama de relaciones. Las causas raíz obtenidas tuvieron la peculiaridad de estar relacionadas entre sí, lo que facilitó la búsqueda de acciones para la reducción o eliminación de éstas.

Para determinar las acciones prioritarias se utilizaron dos métodos: 1) diagrama de relaciones, donde se seleccionaron las acciones de acuerdo con la cantidad de relaciones de cada acción sobre las causas raíz; y 2) matriz de priorización, donde se seleccionaron las dos acciones prioritarias. En ambos casos, las acciones prioritarias obtenidas fueron dos: **entrenamiento de personal y planificación de los servicios.**

Con el presente trabajo se evidencia que la empresa, para mejorar los tiempos de respuesta de atención a sus clientes, debe entrenar a su personal y planificar sus servicios. Cabe mencionar que la metodología, mostrada en este artículo, se puede replicar a otras áreas de oportunidad detectadas en el análisis inicial y, de ese modo, determinar acciones para el mejoramiento de otros aspectos de la empresa. Aunque, es posible obtener resultados similares con la aplicación de otras herramientas pertenecientes a la metodología *Lean Manufacturing.*

Referencias

[1] L. S. Espinoza Martínez and L. M. Sánchez Melgarejo, “Plan de requerimiento de materiales y la reducción de costos en el área de producción, empresa Manufactura de Metales Calessi S.A.C. El Agustino 2015,” *INGnosis*, vol. 2, no. 1, pp. 228–234, Jun. 2016, doi: 10.18050/ingnosis.v2i1.1989.

[2] R. F. Schmal and T. Y. Olave, “Optimización del Proceso de Atención al Cliente en un Restaurante durante Períodos de Alta Demanda,” *Información tecnológica*, vol. 25, no. 4, pp. 27–34, 2014, doi: 10.4067/S0718-07642014000400005.

[3] G. Granich, M. E. Anaya Pérez, G. I. Granich Armenta, and M. E. Anaya Perez, “Metodología propuesta para la mejora en una línea de producción de cacahuates salados botaneros,” *EPISTEMUS*, vol. 15, no. 31, pp. 87–94, Jan. 2022, doi: 10.36790/epistemus.v15i31.165.

[4] I. Setiawan, O. S. Panaili tumanggor, and H. Hardi Purba, “Value Stream Mapping: Literature Review and Implications for Service Industry,” *Journal Sistem Teknin Industri*, vol. 23, no. 2, pp. 155–166, 2021, doi: https://doi.org/10.32734/jsti.v23i2.603.

[5] A. Suresh and S. Ashwin, “Value Stream Mapping and its implications. A technical review,” *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 7, no. 10, pp. 1335–1339, 2020.

[6] F. A. Martino, “Transporte aéreo comercial: ¿qué piensan los usuarios de sus servicios?,” *Revista de Ciencias Empresariales y Sociales*, vol. 8, no. 5, pp. 1–25, 2022.

[7] B. Bringas-Burgos, A. Mendoza-Muñoz, C. Navarro-González, A. González-Ángeles, and G. Jacobo-Galicia, “Análisis de sistemas de riego por gravedad y goteo subsuperficial basada en una encuesta de muestra de conveniencia en el valle de Mexicali,” *VÍNCULOS-ESPE*, vol. 5, no. 3, pp. 13–32, 2020.

[8] M. Tejero Monzón, J. F. Vilar Barrio, and F. Gómez Fraile, *Las siete nuevas herramientas para la mejora de la calidad*. España: Fundacion Confemetal., 1997.

[9] J. R. Mora Martínez, *Guía metodológica para la gestión clínica por procesos: aplicación en las organizaciones de enfermería*. España: Díaz de Santos., 2003.

[10] A. Tovar, *CPIMC un modelo de administración de procesos*. 2007.

[11] Q. Lee and B. Snyder, *The Strategos Guide to Value Stream & Process Mapping*. Bellingham, Washington: Enna Products Corporation, 2007.

[12] Camisón, S. Cruz, and T. González, *Gestión de la calidad: Conceptos, enfoques, modelos y sistemas*, Cañizal Ed. Pearson Education, S.A., 2006.

[13] K. Ishikawa, *Introducción al control de calidad*, Illustrate. Ed. Díaz de Santos, 1994, 1994.

 ISSN: 2007 8102

Gemelos digitales en la industria 5.0: Una perspectiva contrastada a nivel de países Iberoamericanos

C.I. González Sotelo[1], R.J. Gil Herrera[2]*
[1]Corporación Universitaria Minuto de Dios y clara.gonzalez@uniminuto.edu,[2]Universidad Americana de Europa y richard.dejesus@aulagrupo.es

***Área de participación**: Ingeniería Industrial*

Resumen

Las industrias del futuro demandan productos cada vez más personalizados e individualizados, sumado a valores con foco en el ser humano, es lo que se denomina y espera de la industria 5.0 (i5.0). Para lo anterior, es necesario adoptar tecnologías que vayan de la mano con dichas necesidades, que modelen los sistemas reales, es así que, la simulación de sistemas basada en gemelos digitales provee características para emular dicho entorno. Revisar los avances en la aplicación de este enfoque en países iberoamericanos es uno de los objetivos de esta investigación. Metodológicamente, se realizar una búsqueda de artículos en variadas bases de datos y el refinamiento de ésta, se encuentran y clasifican tales documentos relacionados con el tema, para lograr una primera aproximación a un estado del arte subregional. En esta investigación se plantean cinco preguntas de investigación que son el hilo conductor de la misma y conducen a los resultados comparativos entre países. De lo anterior, se presentan las recomendaciones para futuros trabajos relacionados con el tema tratado en este documento.

***Palabras clave**: Industria 5.0, gemelos digitales, simulación, aplicación Iberoamérica*.

Abstract

Industries of the future demand increasingly personalized and individualized products, added to values focused on the human being, it is what is called industry 5.0 (i5.0). For the above, it is necessary to adopt technologies that go hand in hand with these needs, that model the systems, so that the simulation of systems based on digital twins provides features to emulate said environment. After searching for articles in various databases and refining the same, such documents related to the topic are found and classified. In this research, five research questions are raised that are the guiding thread of it. Based on the above, recommendations for future work related to the topic discussed in this document are presented.

***Key words**: Industry 5.0, digital twins, simulation, Latin American application.*

1. Introducción

Las necesidades organizacionales han evolucionado, respecto a las del cliente, de las partes interesadas y hoy día, frente al uso de las tecnologías que han ido surgiendo para facilitar la interacción del contexto interno y externo de las empresas. De hecho, estas necesidades aumentan la complejidad en la toma de decisiones frente a: la capacidad de los procesos que se utilizan, los productos que se diseñan y ofrecen, en general respecto a los recursos necesarios para cumplir con los requisitos del cliente y de las partes interesadas, los cuales deben dar cumplimiento a los tiempos ofrecidos, calidad de las entregas, a partir de la reducción de costos y aprovechando al máximo los recursos sin deteriorar o agotar aquellos que son de bien común.

Es así que, estas diversas variables generan dificultades en la implementación de cambios incrementales o disruptivos, razón por la cual, en esa búsqueda, surgen herramientas como las de simulación, las cuales permiten reducir el riesgo en la toma de decisiones, “la simulación ayuda a evaluar los efectos de los impactos de las acciones en modo seguro”[1], “la simulación sirve como una herramienta de análisis compleja, segura y rápida para analizar y evaluar los procesos de producción”[2], “los modelos de simulación de sistemas y procesos se utilizan cada vez más para acortar el tiempo de mercado, reducir los costos de diseño, operación y mantenimiento mientras se mejora la calidad”[3], así la simulación ayuda a vislumbrar el mejor camino a tomar.

Consecuentemente, las formas de simular han evolucionado de acuerdo con los paradigmas que se dan en cada época y aquellas que son "tradicionales", si bien es cierto tienen bondades para un momento histórico, para otro no son tan adecuadas, es decir que, presentan brechas evidentes al implementar las tecnologías que emergen en cada época, de tal forma que uno de ellos es la simulación de eventos discretos que surge en la década de 1950 es un "término genérico usado para denotar cualquier persona, objeto, o cosa cuyo movimiento a través del sistema provoca cambios en el estado del sistema …los objetos (digitales) representan máquinas, transportadores, carretillas elevadoras y pasillos"[4].

De esta manera, dados los cambios que se vienen generando en el contexto actual y por tanto la necesidades tan cambiantes e inmediatas, se genera una evolución en herramientas para armonizar los procesos en tiempo real como las presentadas por la industria 5.0, que no solamente aparece para fortalecer los procesos organizacionales, sino también, para reducir esa brecha entre hombre máquina, de acuerdo a [5] "la Industria 5.0 se inclina hacia la centralidad humana y las necesidades sociales", en la cual la tecnología es fundamental para cumplir este objetivo. Autores como [6], mencionan "la importancia de la investigación y la innovación para apoyar a la industria en su servicio a largo plazo a la humanidad dentro de los límites del planeta" lo anterior desde el contexto de la industria 5.0.

Es así que, para lograr implementar eficientemente actividades o tecnologías que fortalezcan las organizaciones, sin dejar de lado al ecosistema hombre-ambiente como el presentado por la industria 5.0 (i5.0) deben hacer uso de tecnologías que trabajen las variables del sistema en tiempo real, pues los modelos de simulación tradicionales pueden llegar a distorsionar la realidad organizacional. En [7] indican que "los modelos digitales tradicionales pueden proporcionar un comportamiento instantáneo físico del comportamiento en un tiempo específico", lo cual no es adecuado actualmente considerando la rapidez con que cambian el contexto organizacional que emerge de la nueva revolución industrial i5.0.

Del contexto anterior, a fin de dibujar la realidad organizacional, es necesario el uso de tecnologías emergentes como los gemelos digitales (DT). Los autores [8], indican que "La visión del gemelo digital se refiere a una descripción física y funcional completa de un componente, producto o sistema, que incluye más o menos toda la información que podría ser útil en las fases del ciclo de vida actual y posteriores". Así, en [9] mencionan que un "DT es un concepto de vanguardia que tiene como objetivo establecer un gemelo de la entidad física en el mundo virtual".

Existen diversos estudios relacionados con los gemelos digitales como base de la i5.0, los cuales presentan definiciones, valores, aplicaciones, así para [10], "Los DT ayudan a la i5.0 a superar los problemas técnicos reconociéndolos más rápido, identificando elementos que se pueden reconfigurar o renovar en función de su productividad, haciendo predicciones más precisas, prediciendo errores futuros y evitando grandes pérdidas financieras." Asimismo, [11], muestran tecnologías disruptivas como los DT, que traen un cambio radical en el mundo en la gestión de operaciones, para [12] "… en el sector de la energía eólica, el propósito principal de un DT es hacer predicciones precisas del estado de salud estructural de los componentes individuales de turbinas eólicas, lo que eventualmente permite una evaluación confiable, precisa y oportuna…"

Así las cosas, a pesar de que el concepto de industria 5.0 es relativamente nuevo y para el cual se requiere de la preparación del camino para su logro, por parte de las organizaciones, [6], identifican como una tecnología habilitadora de la i5.0 a los "gemelos digitales y simulación para modelar sistemas completos", [13], indican que en la i5.0, es necesario abordar siete áreas claves, de las cuales una de ellas considera "toma de decisiones optimizadas para garantizar el uso de las tecnologías más nuevas y optimizadas en la fabricación". Por lo anterior, esta investigación aborda cinco preguntas que darán el hilo conductor a la misma:

1. ¿Cómo ha sido la evolución de la simulación en el paso de las diferentes revoluciones industriales?
2. ¿Qué tipos de simulación se encuentran actualmente y cuáles son sus diferencias respecto a los gemelos digitales?
3. ¿Cuáles son los factores más importantes que se deben considerar para la implementación de la i5.0?
4. ¿Cuáles elementos se relacionan con los gemelos digitales y la i5.0?
5. Actualmente en Iberoamérica ¿Cómo las organizaciones vienen abordando la implementación de los gemelos digitales frente a la i5.0?

De tal manera que, este trabajo tiene como objetivos a nivel general:

Contrastar los avances de la tecnología de gemelos digitales en contexto de Industria 5.0 para países iberoamericanos.
A nivel de objetivos específicos:

1) Identificar los avances que la simulación ha tenido durante los diferentes estadios de la industria,
2) Contrastar de los diferentes tipos de simulación, fortalezas debilidades, de la simulación tradicional y de los gemelos digitales
3) Determinar los factores más importantes que se deben considerar para la implementación de la i5.0, que se vinculan a tecnología de los gemelos digitales, y
4) Revisar literatura técnica reciente sobre como organizaciones o empresas en países de Iberoamérica vienen implementando los gemelos digitales frente a la i5.0.

De este modo, el documento se encuentra estructurado de la siguiente forma, en la sección 2 se presenta la metodología aplicada en la investigación, la sección 3 presenta el análisis y resultados de la investigación realizada, donde se da respuesta a las preguntas planteadas anteriormente, la sección 4 las conclusiones y los futuros trabajos.

2. Metodología

Los datos fueron recopilados de dos fuentes de consulta, Google Scholar y Scopus, se consideran los términos claves en inglés y las preguntas de investigación en la búsqueda y se hace uso del gestor de referencias bibliográficas Zotero [14], para almacenar los artículos que son útiles en la investigación, es así que se realiza la siguiente la secuencia:

Etapa 1. Combinación de palabras clave en la fuente de consulta: en primera instancia y para las tres primeras preguntas de investigación, se utilizó Google Scholar como fuente de consulta, ubicando en el buscador los criterios de búsqueda que aparecen en la Tabla 1, en ésta se aprecia el número de artículos resultantes de la búsqueda.

De otro lado, para la cuarta pregunta de investigación, se hizo uso de la base de datos Scopus, de la cual se realizó la consulta: TITLE-ABS-KEY ("digital twin" AND "industry 5.0"), la búsqueda arrojó 78 documentos, de los cuales 35 corresponden a artículos, 21 a documentos de conferencias y el restante a otras categorías.

Por consiguiente, para dar respuesta al último numeral, relacionado con la implementación de los gemelos digitales en la industria 5.0 para organizaciones iberoamericanas, se abordó para tres países: Portugal, Colombia y España, de las cuales las palabras clave se limitaron a gemelos digitales y el país correspondiente, considerando que la industria 5.0 es un tema reciente, en la Tabla 2, se presentan los resultados arrojados de la búsqueda y se observa que de México, aún no hay información al respecto en los artículos explotados y en general tampoco se evidencia gran cantidad de estudios en los países de Iberoamérica seleccionados, solo se encuentra un 3.5%.

Es así como, las palabras clave para los anteriores casos, se definieron considerando una revisión previa de la literatura que dé respuesta a las preguntas de investigación y su posterior validación por expertos en el tema.

Tabla 1. Resultados de los criterios de búsqueda

No.	Criterio de búsqueda	Resultados
C1	"Simulation history" + industry	433
C2	Factors implementation industry 5.0	16.800
C3	Industrial simulation metodologies	16.600

Etapa 2. Ingreso de criterios de búsqueda: se consideró relevante para todos los casos, limitar la fecha de cobertura al intervalo desde el año 2019 en adelante y se hizo uso del idioma inglés.

Etapa 3. Selección: En todos los casos se escogen aquellos que hacen referencia a artículos o conferencias, para dar respuesta a las preguntas de investigación; en esta etapa, se verifica el título, resumen y palabras claves y solo aquellos que generan el contenido requerido para dar respuesta a las preguntas de investigación, se llevan al gestor o al software VOSviewer.

Para la última pregunta, se encuentra una población total de 11.830 artículos y con ésta se determina un tamaño de muestra (n) de 372 artículos, considerando los criterios para n, como se muestra en la tabla 2, por lo anterior se exploran para cada palabra clave 200 artículos, haciendo uso en este caso del muestreo no probabilístico por conveniencia, hasta completar 800 artículos que garantizan más del doble de artículos explorados, requeridos de

acuerdo con el n obtenido. Así mismo, para esta pregunta, se seleccionan además de lo anteriormente expuesto, los artículos cuyo contenido muestre la implementación de los gemelos digitales.

Etapa 4. Almacenamiento en el gestor: Para las primeras tres preguntas, las publicaciones seleccionadas se almacenan en el gestor Zotero[14] en el último caso, los documentos fueron procesados posteriormente en el software VOSviewer para su análisis.

Tabla 2. Resultados implementación de gemelos digitales por país iberoamericano

Palabras Clave	Limitado a	No. documentos	Explorados	Artículos encontrados por país	% artículos del total de explorados	Fórmula de tamaño de muestra	Criterios de búsqueda de n
"DIGITAL TWINS" AND "PORTUGAL"	Desde 2019	3420	200	3	1,50%	$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{(N-1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}$	Nivel de confianza 95%, entonces el puntaje estándar (z): 1.96
"DIGITAL TWINS" AND "COLOMBIA"	Desde 2019	740	200	2	1,00%		
"DIGITAL TWINS" AND "MEXICO"	Desde 2019	1860	200	0	0,00%		Error (E): 5%
"DIGITAL TWINS" AND "SPAIN"	Desde 2019	5810	200	2	1,00%	**n=372**	Proporción (P): 50%
Total	N.A	11830	800	7	3,50%		Tamaño muestra (n)

3. Resultados y discusión

3.1 Evolución de la simulación a través de las revoluciones industriales

Las organizaciones siempre han tenido interés por el desarrollo de modelos que permitan evaluar las condiciones actuales y futuras de los negocios, a fin de evitar riesgos que conlleven a pérdidas de tiempo y de dinero en sus operaciones, de tal manera que, en esa búsqueda se acuña el concepto de simulación la cual permite recrear las condiciones presentes en los procesos de la organización, con el fin de tomar decisiones respecto al resultado arrojado por la misma.

De lo anterior y de acuerdo con las diferentes épocas de la industrialización, se han dado diferentes avances, que han permitido optimizar los recursos organizacionales, mejorar el producto o servicio ofrecido al cliente, fortalecer las relaciones con las partes interesadas, anticiparse a las necesidades requeridas por el negocio y tomar decisiones en tiempo real.

Así las cosas, como bien es conocido, la industria ha venido evolucionando, lo que ha generado avances y necesidades durante ese recorrido. En la Figura 1, se presenta la evolución de la industria, foco, en cada época, logros e inconvenientes, que al permear las industrias generan avances en las mismas para su fortalecimiento futuro. Así mismo, se ilustran sus aspectos más relevantes, modelos o herramientas de simulación presentes en los diferentes estadios de esta.

Los inconvenientes que de cada época, van generando avances que llevan al foco de cada revolución y por ende a sus logros, en la Figura 1 se realiza una adaptación de [15] que presenta el foco, logros e inconvenientes de cada industria.

Georges Louis Leclerc, conde de Buffon (1777), planteo el problema de “lanzar repetidamente una aguja corta en una hoja de papel rayado, con el fin de encontrar la probabilidad de que la aguja cruce una de las líneas” [16] de tal manera que encuentra una relación entre la distancia entre las líneas y el largo de la aguja, posteriormente Laplace (1812) lo sugiere [17], [18], para dar respuesta a lo que hoy se denomina número pi.

Gosset publica (1908) bajo el seudónimo “Student”, resultados de la “distribución t-Student”, para ello utiliza una simulación manual porque tenía resultados incompletos para verificar su conjetura respecto a la forma de función de densidad de probabilidad [19].

Edwin Link construye y patenta un prototipo de simulador de vuelo denominado “blue box” (1929), considerando una forma más fácil, segura y con menor costo al volar [20].

El físico John Mauchly y el ingeniero Presper Eckert (1945), construyen la primera computadora electrónica de propósito general denominada ENIAC. Stan Ulam y Von Neumman, hacen uso de técnicas de muestreo estadístico unidas al desarrollo de la ENIAC conducen al Método de Monte Carlo, el cual se utilizó para dar solución al problema de “la difusión de neutrones en material fisionable” [21].

Keith Douglas Tocher, Profesor de Investigación de Operaciones en la Universidad de Southampton, desarrolló el primer simulador de propósito general (GSP) (1960), donde realiza la simulación de una planta industrial, en éste muestra un conjunto de máquinas que presentan estados como ocupado, inactivo, no disponible y fallido [19], [22].

El Gerente de desarrollo de simulación, Geoffrey Gordon en IBM (1960), introdujo el sistema de simulación de propósito general (GPSS), que se diseñó para modelar más fácil, sistemas de teleprocesamiento como control de tráfico urbano, cambios de llamadas telefónicas, operaciones de acerías, entre otros. Kristen Nygaard y Ole-

Johan Dahl, junto con personal de programación (1961), crearon SIMULA I, lenguaje de programación importante en la computación [19].
SIMSCRIPT, estaba basado en FORTRAN, originalmente (1963), era un lenguaje de programación de simulación (SPL) de programación de eventos para usuarios inexpertos informáticos [19], [23]. Conway propuso metodologías relacionadas con el manejo de sesgos en la simulación como la de medios por lotes y propone procedimientos estadísticos de clasificación y selección (1963), siendo estas metodologías la base para el análisis de la simulación en el largo plazo [19].
La conferencia de simulación de invierno (WSC) (1967), relacionada con aplicaciones y lenguajes de simulación que utilizó el sistema de simulación de propósito general, es actualmente el foro internacional a través del cual se difunden avances relacionados con simulación [19]. La Corporación General de Equipos de Precisión (GPE) (con dirección de Edwin Link) y la NASA, hacen uso de computadoras analógicas y digitales para el desarrollo de simuladores Gemini, en la década de 1960 [20]. Lackner propuso el uso de la teoría de sistemas (1964) como base para modelar la simulación. Kivia presenta el concepto de entidad/atributo/conjunto (1968) en SIMSCRIPT II, que proporcionó una base rigurosa para describir la estática relaciones entre objetos [24].
Pritsker y Hurst (1973), introducen la capacidad de simulación combinada en GASP IV. Delfosse (1976) introduce SIMSCRIPT II.5 como C-SIMSCRIPT. Henriksen (1977), desarrolla GPSS/H fuera del dominio de IBM [19]. Se generan imágenes digitales por computadora (1978), se fabrican simuladores de vuelo militares, navales, de submarino y la NASA desarrolla equipos de realidad virtual económicos (1980) [20].

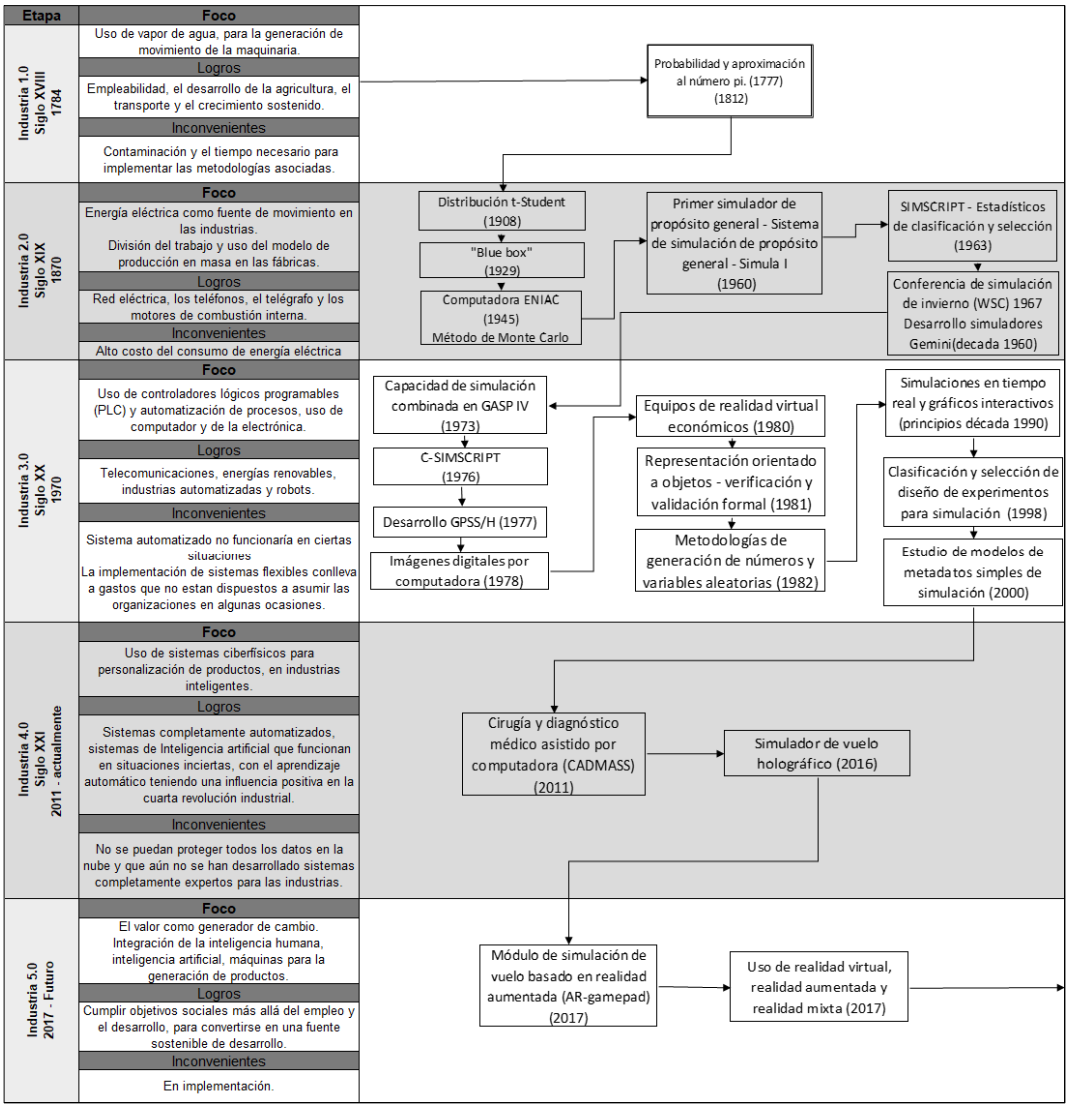


Figura 1. Evolución de la simulación a través de las diferentes revoluciones industriales. Foco, logros e inconvenientes

Nance (1981) inicia el enfoque de representación orientado a objetos, así mismo, Balci y Sargent (1981) realizan la contribución a la verificación y validación formal. Law y Kelton (1982) acuñan metodologías de generación de números y variables aleatorias [22]. Se realizan simulaciones en tiempo real y gráficos interactivos (principios década 1990), lo que lleva a la realización de aplicaciones de realidad virtual [25].
Bechhofer realiza investigaciones en procedimientos de clasificación y selección de diseño de experimentos y comparación de alternativas (1995) y Goldsman y Nelson (1998), las realizan puntualmente para simulación, de otra parte, Barton (1998), estudia modelos de metadatos y optimización que se pueden utilizar, así mismo, Kleijnen y Sargent (2000), estudian modelos de metadatos simples de simulación [26]. Desarrollo del proyecto Sistema de cirugía y diagnóstico médico asistido por computadora (CADMASS) (2011), con el fin de que los astronautas puedan realizar exámenes médicos y cirugías de riesgo leve a alto en el espacio.
Se presenta un simulador de vuelo holográfico (2016), en un entorno de realidad mixta (MRE). Desarrollo de un módulo de simulación de vuelo (2017), basado en realidad aumentada AR-gamepad [27].
Brown (2017) menciona respecto a la transformación en el entrenamiento de la aviación, haciendo uso de realidad virtual, realidad aumentada y realidad mixta [28].

3.2 Contraste de los diferentes tipos de simulación

La simulación significa diferentes cosas en diferentes disciplinas y abarca una amplia variedad de enfoques [26], se utiliza en diferentes áreas del conocimiento, y hoy día, es fundamental para las organizaciones porque les permite tomar decisiones fundamentadas, sin generar cambios experimentales en el sistema físico, lo que genera reducción en los costos de implementación. Actualmente, se pueden encontrar diferentes tipos de simulación que se han venido desarrollando, considerando las aplicaciones organizacionales. En la Tabla 3, se presenta un contraste de los diferentes tipos de simulación.

Tabla 3. Contraste de los diferentes tipos de simulación. Adaptado de [29], [30], [31], [32]

Está compuesta por agentes que interactúan en un entorno con para predecir el comportamiento emergente potencial del modelo. ABMS adopta simulaciones Monte Carlo para obtener resultados probabilísticos.	Modelado basado en agentes (ABM)	**Técnica/ Modelo**	Simulación de redes de Petri (PN)	Herramienta gráfica y analítica de eventos discretos para modelar y simular sistemas de fabricación flexibles, representar sistemas concurrentes, asíncronos, distribuidos, paralelos y estocásticos.
"Discreto" se refiere a la simulación que avanza en el tiempo a intervalos que son excluyentes. Modelar un sistema en el tiempo a través de una representación en la que las variables de estado cambian inmediatamente en puntos separados en el tiempo, donde un evento es la ocurrencia instantánea que cambia el estado del sistema.	Simulación de eventos discretos (DES)		Simulación Híbrida (HS)	Combina dos o más métodos de simulación, su enfoque es de optimización.
			Gemelos digitales (DT)	Representación digital de un sistema físico e integración entre espacios físicos y digitales, refleja, en tiempo real, el estado de su gemelo físico, respecto a datos históricos, datos de sensores en tiempo real.
Se utiliza para analizar sistemas dinámicos a lo largo del tiempo, hace uso de diagramas de stock y flujos y bucles de retroalimentación, ecuaciones diferenciales para representar las relaciones de los componentes de los sistemas.	Dinámica de sistemas (SD)		Puesta en marcha virtual (VC)	Digitalización para agilizar la puesta en marcha de un nuevo proceso de producción a través de un entorno virtual. Integra tecnologías, como diseño asistido por computadora (CAD) 3D, simulación de eventos discretos (DES) y controlador lógico programable (PLC).
El usuario se sumerge en un entorno virtual receptivo, es una simulación experimental, tiene una variedad de aplicaciones en la industria manufacturera.	Realidad virtual (VR)		Simulación continua (CS)	Modelado de un sistema con variables aleatorias que cambian en el tiempo de forma continua.
Conjunto de tecnologías que permiten mejorar la visión directa o indirecta del entorno físico en tiempo real. Permiten que el usuario interactúe con el mundo real, apoyan actividades de capacitación, ensamblaje y mantenimiento.	Realidad aumentada (AR)		Simulación de Monte Carlo (MCS)	Hace uso del muestreo aleatorio para abordar ciertos problemas estocásticos que no evolucionan con el tiempo (sistemas estáticos).
Simula el comportamiento inteligente en las computadoras, incluye el aprendizaje automático, aprendizaje profundo, procesamiento de lenguaje natural, entre otros, así mismo, comprende técnicas de modelado y simulación de sistemas ambientales, como redes neuronales artificiales, modelos difusos, entre otras.	Inteligencia artificial (IA)		Simulación de eventos discretos (DES)	Modelado de un sistema con variables aleatorias que cambian con el tiempo (sistemas dinámicos) solo de forma discreta, ocurren eventos específicos en el tiempo.

3.3 Comparando la simulación tradicional y sus diferencias respecto a los gemelos digitales

De los hallazgos obtenidos respecto a los DT, se puede ver en la tabla 4 que, aún existe desconocimiento sobre conceptos relacionados con los DT, así como ausencia de métodos para la cuantificación de la incertidumbre de los modelos, sin embargo, en su experimentación, los gemelos digitales se pueden combinar con experimentos físicos a fin de validar los dos modelos y el código del gemelo digital.[3]
De otra parte, su aplicación, genera ventajas en las organizaciones como la optimización de productos, líneas de productos y la toma de decisiones, lo anterior, en tiempo real. Actualmente se han venido desarrollando investigaciones sobre rediseño de objetos físicos existentes, transformación de materias primas en productos terminados y aplicación en etapas de servicios.[33]

3.4 Factores para la implementación de la i5.0

En primera instancia, es importante considerar los valores que trae consigo la i5.0, los cuales se encuentra interconectados [6]: el ser humano como centro de las necesidades, sostenibilidad, referida al respeto por los límites planetario y resiliencia, donde la organización debe ser capaz de respaldar su infraestructura en tiempo de crisis.

Es así que, las organizaciones requieren la adopción de nuevas tecnologías que demandan infraestructura y desarrollos propios, estas tecnologías buscan facilitar actividades humanas que actualmente son repetitivas, sucias o aburridas, pero de otro lado y a pesar de que se hará uso de tecnologías adecuadas para estos cambio, se crearan puestos de trabajo para generar estos cambios, tales como programación, capacitación, robótica, entre otros [34].

Tabla 4. Debilidades y fortalezas de la simulación tradicional y los gemelos digitales. Adaptado de [3], [33]

Debilidades	
Simulación tradicional	**Gemelos digitales**
*Generalmente utilizadas para garantizar la calidad del producto final. *Ausencia de métodos para cuantificar la incertidumbre de los modelos. *Asincronía en tiempo real del modelo digital y el físico. *Las variables se configuran de acuerdo a los datos históricos y de forma asincrónica. *Amplia experiencia en simulación, por parte del personal encargado. *Ausencia de flexibilidad cuando se generan cambios. *Se sustenta en suposiciones realizando distintos experimentos. *Naturaleza estocástica, por tanto se deben realizar varias pruebas para validar el resultado. *Flujo de datos unidireccional, de lo físico a lo digital.	*Existe aún desconocimiento de conceptos relacionados con DT. *Ausencia de métodos para cuantificar la incertidumbre de los modelos. *Conexión de forma sincrónica el modelo digital con el físico, debido a la big data con la que se cuenta. *Ausencia de mecanismos de retroalimentación en la etapa de diseño para replicar los requerimientos de producción. *Altos requerimientos para su realización como: la generación automática de modelos, integración y comunicación para su realización.
Fortalezas	
Simulación tradicional	**Gemelos digitales**
*Las simulaciones se realizan en intervalos de tiempo distintas con condiciones mutuamente excluyentes.	*Planificación, configuración y programación en tiempo real de las variables. *Sincronía en tiempo real del modelo físico y digital. *Optimización en tiempo real de productos y líneas de producción. *Toma de decisiones en tiempo real. *Eliminación de errores y retrasos en la producción.

De otro lado, se requiere de la adopción de condiciones de seguridad, privacidad y aspectos éticos más fortalecidos, considerando que la personalización de productos y variedad de clientes trae consigo gran cantidad de datos heterogéneos, variedad de usuarios, el uso de la nube en la gestión de éstos. Es necesario capacitar a los trabajadores para la adaptación a la máquina y con el uso de robots para mejorar la atención personalizada al cliente [10]. De tal manera que, [5] presenta las siguientes tecnologías habilitadoras de la i5.0:

- Ergonomía y biónica, a fin de optimizar el trabajo humano.
- Colaboración cognitiva mutua entre humanos y robots, combinando las ventajas de los dos, tales como fuerza, resistencia, habilidades sensoriales, versatilidad.
- Gemelos digitales para imitar la operación de los recursos disponibles y metaverso, la percepción del mundo exterior a través de la virtualidad.
- Realidad extendida que engloba la realidad aumentada, la realidad virtual y la realidad mixta, por otra parte, la holografía puede utilizarse en control de calidad.
- Big data en la obtención de información valiosa dentro de un conjunto de datos.
- Blockchain y computación descentralizada, para autenticación de trabajadores al crear identidades digitales seguras y para la protección de propiedad intelectual.
- Internet de las cosas para crear conexiones inteligentes, tecnología de dialogo para interacción entre hombre - máquina -robot que se fundamentan en semántica.

3.5 Elementos de relación de los gemelos digitales y la i5.0.

Este punto se realizó considerando los datos obtenidos de la relación gemelos digitales e industria 5.0, los documentos que se encontraron se convirtieron al formato CSV (valores separados por comas) para procesarlos posteriormente y analizarlos en el software VOSviewer, considerando que éste permite la creación de mapas de palabras clave, desde redes compartidas. La Figura 2, muestra las áreas temáticas correspondientes a los criterios de búsqueda dados inicialmente.

Respecto a los hallazgos de los documentos obtenidos y de la Figura 2, se puede concluir que los elementos de relación entre gemelos digitales e industria 5.0, provienen de la industria 4.0 que le antecede y éstos aparecen en el centro de la figura, hacia afuera se aprecian elementos de relación como: desarrollo sustentable, el ser humano, que se asocian más hacia el hombre. Respecto al estudio de los gemelos digitales, se evidencia que viene desarrollándose desde el año 2022.0 y la i5.0, a partir de 2022.1, lo que muestra ser bastante reciente y, por ende, se requiere ir refinando el conocimiento sobre la relación de esta tecnología útil para la nueva industria.

 ISSN: 2007 8102

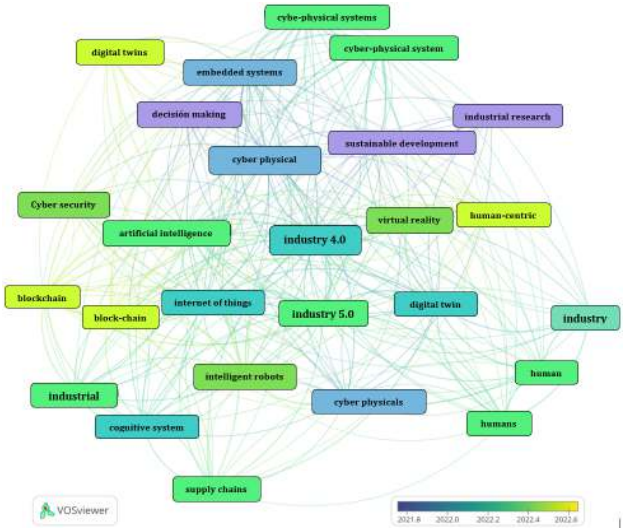


Figura 2. Contraste de los diferentes tipos de simulación

3.6 La implementación los gemelos digitales frente a la i5.0 de industrias Iberoamericanas

En la Tabla 5, se puede ver que en el sector servicios se ha venido aplicando los gemelos digitales, generalmente para evitar riesgos por pérdida sea de calidad de un producto o de desastres, así mismo, les permite a las organizaciones desarrollar planes de prevención o establecer requisitos para los productos o servicios. Lo anterior evidencia que los gemelos digitales complementan las bases fundamentales de la i5.0 (ser humano, sostenibilidad y resiliencia), considerando que les permite integrar actividades de forma colaborativa, generar planes para la mitigación de desastres, mejorar las condiciones de calidad de productos alimenticios, entre otros.

Tabla 5. Implementación de gemelos digitales en Portugal, Colombia y España. Adaptado de [35], [36], [37], [38]

País	Sector	Que es	Donde	Aspectos a considerar
Portugal	Arquitectura, Ingeniería, Construcción (AEC)	Desarrollo de una plataforma 3D Digital Twin para representación y edición colaborativa de documentos de clases básicas de la industria (IFC), aplicados a la metodología BIM.	En proyectos de construcción, a través, de la informatización y los sistemas integrados de gestión de la información.	BIM es un modelo común para información relacionada con la construcción. Ayuda a realizar actividades de forma colaborativa entre empleados.
	Servicios	Gemelo digital para simular inundaciones urbanas a fin de que la ciudad modele integralmente escenarios alternativos y realice un plan para varios periodos de retorno.	Escenarios de inundaciones urbanas.	Modelar escenarios alternativos y desarrollo de un plan para varios periodos de retorno. Permite crear un plan maestro de drenaje para mitigar el riesgo de inundación.
	Papel	Gemelo digital de los árboles (materia prima), la fábrica (proceso, máquinas), y el producto final.	Procesos de la industria de papel.	Identificar los parámetros necesarios para describir los gemelos digitales del ciclo de vida de la pulpa de papel.
Colombia	Servicios	Prototipo de gemelo digital de los laboratorios de arte y tecnología del Instituto Departamental de Bellas Artes de Cali, Colombia.	Laboratorios de arte y tecnología del Instituto Departamental de Bellas Artes de Cali, Colombia.	interacción de docentes y estudiantes, genera conocimiento sobre el estado físico de las instalaciones del laboratorio. Permite determinar la visibilidad de la disponibilidad y utilización de elementos tecnológicos del lugar.
	Servicios	Implementación de la metodología BIM en los procesos de enseñanza universitaria en arquitectura.	Enseñanza de arquitectura Universidad Jorge Tadeo Lozano.	Se requiere que las asignaturas del programa de arquitectura implementen el BIM, dado que no se ha dado con la misma agilidad que la industria de la construcción.
España	Servicios	Monitoreo de frutas desde el proveedor hasta las tiendas minoristas.	Envíos en la cadena de frío de alimentos como: pepino, berenjena, fresa y frambuesa importados de España a Suiza.	La aplicación de los gemelos digitales permitió detectar pérdida de calidad antes de su exhibición en las tiendas minoritas, existe una relación entre la calidad de la fruta y el tiempo que tarda el envío.
	Servicios	Gemelos Digitales con fines de Diseño, Construcción y Mantenimiento de puentes en el sector férreo.	Puentes ubicados en el sur oeste de España.	Establecer requisitos, procedimientos y ejemplos basados en sensores e imágenes para virtualizar los puentes físicos.

La industria evoluciona y por ende sus necesidades, lo que conlleva a que se generen nuevas tecnologías en ámbitos como la programación y la forma como se simula todo un contexto organizacional. Es así como, los gemelos digitales traen fortalezas desde la sincronía de los datos y la toma de decisiones en tiempo real, pero esta tecnología, necesita fortalecerse aún más desde su conocimiento, requerimientos y su aplicación digital total.

4. Trabajo a futuro

Si bien es cierto, la implementación de los gemelos digitales no es un tema actual, en países de Iberoamérica como España, Colombia, Portugal y México, falta realizar más investigación sobre su implementación acotada desde la i5.0, lo anterior es importante considerando las bondades que trae consigo dicha tecnología y asociada a los pilares de la i5.0. También, es necesario adelantar estudios asociados al tema de riesgos porque esta tecnología puede ser de gran ayuda para la mitigación de éstos, en los diferentes procesos organizacionales.

5. Conclusiones

El uso e implementación de los gemelos digitales tienen una serie de fortalezas como planificación, sincronía, optimización y toma de decisiones en tiempo real, sin embargo, aún falta mayor conocimiento en el tema de sus requerimientos para integrarla a la organización. Para lo anterior, es necesario el estudio de estadística y probabilidad debido a que son bases fundamentales de la simulación desde sus inicios, además, la creación y desarrollo de la computadora y de programas computacionales, han permitido generar avances en temas de simulación, desde diferentes áreas tales como la industria, la medicina, agricultura, aérea, entre otras y por ende de la creación de entornos virtuales. Los inconvenientes que se van generando en cada uno de los estadios de las industrias, han permitido grandes avances en la forma de realizar simulaciones, los cuales orientarán sus esfuerzos en las necesidades del ser humano y de su entorno, que son pilares de la i5.0.

Es así que, la tecnología de gemelos digitales es importante para la implementación de la i5.0, debido a que permite que las organizaciones sean capaces de predecir eventos fortuitos, que puedan ocurrir en cualquiera de sus procesos organizacionales (diseño, manufactura, entre otros). Este conocimiento anticipado de eventos les permitirá ser más resilientes, es decir que se encuentren más preparadas para los cambios que deban adoptar, que exista mayor flexibilidad en su operación y por tanto prever posibles riesgos futuros.

Lo anterior se puede evidenciar en el contraste realizado respecto a los avances de la tecnología de gemelos digitales en Iberoamérica, donde se puede apreciar que, en las organizaciones asociadas a servicios, se pueden modelar escenarios asociados a inundaciones, detección anticipada de la pérdida de la calidad de alimentos perecederos como es el caso de la frutas, predicción del mantenimiento necesario en vías férreas, determinación del estado físico de las instalaciones de laboratorios de arte y tecnología de Bellas Artes en Colombia, entre otros.

Finalmente, se encontró, como para la aplicación y uso de gemelos digitales requiere de un trabajo estrecho entre el hombre y máquina, en este caso se pudo evidenciar la necesidad de trabajo colaborativo para el desarrollo de una plataforma 3D Digital Twin en la industria de construcción. También, desde el punto de vista de la sostenibilidad los gemelos digitales se pueden utilizar para realizar réplicas de árboles y desde lo industrial, describir el ciclo de vida de la pulpa de papel.

Referencias

[1] A. Ibrahim, T. Asmawaty Abdul Kadir, y A. Kamaludin, «Industry 4.0: Eyeing The Future via Simulation», *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 769, n.º 1, p. 012001, feb. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/769/1/012001.

[2] M. Arucu, «Industry 4.0 – holistic perspective: modelling and simulation applications in intelligent manufacturing systems», *J. Innov. Sci. Eng. JISE*, ene. 2021, doi: 10.38088/jise.816023.

[3] R. S. Kenett y J. Bortman, «The digital twin in Industry 4.0: A wide-angle perspective», *Qual. Reliab. Eng. Int.*, vol. 38, n.º 3, pp. 1357-1366, abr. 2022, doi: 10.1002/qre.2948.

[4] R. Gaku, D. T. Sturrock, y S. Takakuwa, «Simulation and the Fourth Industrial Revolution».

[5] J. Leng *et al.*, «Industry 5.0: Prospect and retrospect», *J. Manuf. Syst.*, vol. 65, pp. 279-295, oct. 2022, doi: 10.1016/j.jmsy.2022.09.017.

[6] X. Xu, Y. Lu, B. Vogel-Heuser, y L. Wang, «Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception», *J. Manuf. Syst.*, vol. 61, pp. 530-535, oct. 2021, doi: 10.1016/j.jmsy.2021.10.006.

[7] C. H. D. Santos, J. A. De Queiroz, F. Leal, y J. A. B. Montevechi, «Use of simulation in the industry 4.0 context: Creation of a Digital Twin to optimise decision making on non-automated process», *J. Simul.*, vol. 16, n.º 3, pp. 284-297, may 2022, doi: 10.1080/17477778.2020.1811172.

[8] H. Zhang, Q. Liu, X. Chen, D. Zhang, y J. Leng, «A Digital Twin-Based Approach for Designing and Multi-Objective Optimization of Hollow Glass Production Line», *IEEE Access*, vol. 5, pp. 26901-26911, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2766453.

[9] T. Kong, T. Hu, T. Zhou, y Y. Ye, «Data Construction Method for the Applications of Workshop Digital Twin System», *J. Manuf. Syst.*, vol. 58, pp. 323-328, ene. 2021, doi: 10.1016/j.jmsy.2020.02.003.

[10] P. K. R. Maddikunta *et al.*, «Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications», *J. Ind. Inf. Integr.*, vol. 26, p. 100257, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257.

[11] T.-M. Choi, S. Kumar, X. Yue, y H.-L. Chan, «Disruptive Technologies and Operations Management in the Industry 4.0 Era and Beyond», *Prod. Oper. Manag.*, vol. 31, n.º 1, pp. 9-31, 2022, doi: 10.1111/poms.13622.

[12] X. Chen, M. A. Eder, A. Shihavuddin, y D. Zheng, «A Human-Cyber-Physical System toward Intelligent Wind Turbine Operation and Maintenance», *Sustainability*, vol. 13, n.º 2, p. 561, ene. 2021, doi: 10.3390/su13020561.

[13] M. Doyle-Kent y P. Kopacek, «Industry 5.0: Is the Manufacturing Industry on the Cusp of a New Revolution?», en *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2019*, N. M. Durakbasa y M. G. Gençyılmaz, Eds., en Lecture Notes in Mechanical Engineering. Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 432-441. doi: 10.1007/978-3-030-31343-2_38.
[14] «Zotero | Your personal research assistant». https://www.zotero.org/ (accedido 19 de junio de 2023).
[15] A. Akundi, D. Euresti, S. Luna, W. Ankobiah, A. Lopes, y I. Edinbarough, «State of Industry 5.0—Analysis and Identification of Current Research Trends», *Appl. Syst. Innov.*, vol. 5, n.º 1, p. 27, feb. 2022, doi: 10.3390/asi5010027.
[16] M. Aigner y G. M. Ziegler, «Buffon's needle problem», en *Proofs from THE BOOK*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, pp. 155-158. doi: 10.1007/978-3-642-00856-6_24.
[17] D. Richeson, «A π -less Buffon's Needle Problem», *Math. Mag.*, vol. 79, n.º 5, 2006.
[18] A. F. Bielajew, «Chapter 1: History of Monte Carlo».
[19] D. Goldsman, R. E. Nance, y J. R. Wilson, «A brief history of simulation revisited», en *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, Baltimore, MD, USA: IEEE, dic. 2010, pp. 567-574. doi: 10.1109/WSC.2010.5679129.
[20] K. R. Rosen, «The history of medical simulation», *J. Crit. Care*, vol. 23, n.º 2, pp. 157-166, jun. 2008, doi: 10.1016/j.jcrc.2007.12.004.
[21] N. Metropolis, «The Beginning of the Monte Carlo method», Accedido: 9 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.semanticscholar.org/paper/THE-BEGINNING-of-the-MONTE-CARLO-METHOD-Metropolis/9630fe755a64231a69519b771fb744d540d626e9
[22] D. Mourtzis, M. Doukas, y D. Bernidaki, «Simulation in Manufacturing: Review and Challenges», *Procedia CIRP*, vol. 25, pp. 213-229, 2014, doi: 10.1016/j.procir.2014.10.032.
[23] T. Bergin, «Discrete Event Simulation Languages Session».
[24] R. E. Nance y R. G. Sargent, «Perspectives on the Evolution of Simulation», *Oper. Res.*, vol. 50, n.º 1, pp. 161-172, feb. 2002, doi: 10.1287/opre.50.1.161.17790.
[25] S. C.-Y. Lu, M. Shpitalni, y R. Gadh, «Virtual and Augmented Reality Technologies for Product Realization», *CIRP Ann.*, vol. 48, n.º 2, pp. 471-495, 1999, doi: 10.1016/S0007-8506(07)63229-6.
[26] S. C. Brailsford, T. Eldabi, M. Kunc, N. Mustafee, y A. F. Osorio, «Hybrid simulation modelling in operational research: A state-of-the-art review», *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 278, n.º 3, pp. 721-737, nov. 2019, doi: 10.1016/j.ejor.2018.10.025.
[27] M. Safi, J. Chung, y P. Pradhan, «Review of augmented reality in aerospace industry», *Aircr. Eng. Aerosp. Technol.*, vol. 91, n.º 9, pp. 1187-1194, oct. 2019, doi: 10.1108/AEAT-09-2018-0241.
[28] H. Schaffernak, B. Moesl, W. Vorraber, y I. V. Koglbauer, «Potential Augmented Reality Application Areas for Pilot Education: An Exploratory Study», *Educ. Sci.*, vol. 10, n.º 4, p. 86, mar. 2020, doi: 10.3390/educsci10040086.
[29] A. Khodabandelu y J. Park, «Agent-based modeling and simulation in construction», *Autom. Constr.*, vol. 131, p. 103882, nov. 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103882.
[30] F. Ovidi, L. Zhang, G. Landucci, y G. Reniers, «Agent-based model and simulation of mitigated domino scenarios in chemical tank farms», *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 209, p. 107476, may 2021, doi: 10.1016/j.ress.2021.107476.
[31] W. de Paula Ferreira, F. Armellini, y L. A. De Santa-Eulalia, «Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review», *Comput. Ind. Eng.*, vol. 149, p. 106868, nov. 2020, doi: 10.1016/j.cie.2020.106868.
[32] M. Rabe, M. Deininger, y A. A. Juan, «Speeding up computational times in simheuristics combining genetic algorithms with discrete-Event simulation», *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 103, p. 102089, sep. 2020, doi: 10.1016/j.simpat.2020.102089.
[33] M. Liu, S. Fang, H. Dong, y C. Xu, «Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications», *J. Manuf. Syst.*, vol. 58, pp. 346-361, ene. 2021, doi: 10.1016/j.jmsy.2020.06.017.
[34] S. Nahavandi, «Industry 5.0—A Human-Centric Solution», *Sustainability*, vol. 11, n.º 16, Art. n.º 16, ene. 2019, doi: 10.3390/su11164371.
[35] J. P. Silva, J. P. Pereira, y J. Santos, «Digital Twin 3D Platform for Collaborative Representation and Editing of IFC Documents Applied to the Bim Methodology», *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XLVIII-4-W1-2022, pp. 411-418, ago. 2022, doi: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W1-2022-411-2022.
[36] L.-M. Losier y R. Fernandes, «The Importance of Digital Twins for Resilient Infrastructure».
[37] P. A. G. Granda y A. M. Bello, «DATA and Information in Architectural Design Process Through Building Information Modeling: A New Epistemological Horizon of BIM Methodology», *archiDOCT*, vol. 17, n.º 9 (1), ago. 2021, Accedido: 16 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://archidoct.scholasticahq.com/article/25356-data-and-information-in-architectural-design-process-through-building-information-modeling-a-new-epistemological-horizon-of-bim-methodology
[38] R. Chacon, «Sobre el hermanamiento digital de pruebas de carga en puentes ferroviarios. Estudio de caso: Red ferroviaria de alta velocidad, Extremadura, España», en *Seguridad, mantenimiento, gestión, ciclo de vida, resiliencia y sostenibilidad de puentes*,

 ISSN: 2007 8102

Evaluación de Resistencia a la Tensión en Bolsas de Polietileno Tipo Camiseta con Aditivos Oxobiodegradables

M. S. López Vigil[1], E. L. Munguía Hernández[2], H. Santos Alvarado[3], H. Islas Torres[4], L. Santos Espinosa[5]*
[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán, *miriamsilvia.lv@tehuacan.tecnm.mx*
[2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán, munguia_lili7@hotmail.com
[3]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán, hector.sa@tehuacan.tecnm.mx
[4]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán, hector.ti@tehuacan.tecnm.mx
[5]Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan, lsantose03@gmail.com

***Área de participación**: Ingeniería Industrial*

Resumen

El polietileno, polímero termoplástico con la propiedad de ser químicamente inerte, se utiliza entre sus múltiples aplicaciones para fabricar bolsas de espesor fino con firmeza y resistencia deseada para transportar pequeñas cantidades de mercancía por ejemplo en los supermercados, sin embargo, su degradación es muy lenta con importantes daños por contaminación que impactan al medio ambiente.
Este estudio se desarrolló en colaboración con una empresa dedicada a la producción y venta de bolsas de polietileno tipo camiseta para su uso en supermercados, con el interés de contar con alternativas para la producción de bolsas que tengan mayor degradabilidad y por tanto menor impacto en el medio ambiente pero que conserven la resistencia requerida en el producto final, para lo cual se evaluó el efecto de cuatro aditivos oxobiodegradables y la bolsa testigo, sobre la resistencia a la tensión de la bolsa aplicando la norma ASTM D882 bajo un diseño unifactorial.

***Palabras clave**: Bolsas de Polietileno, Aditivos Oxobiodegradables, Degradabilidad*

Abstract

Polyethylene, thermoplastic polymer with the property of being chemically inert, is used among its many applications to manufacture bags of thin thickness with firmness and desired resistance to transport small quantities of merchandise for example in supermarkets, however, its degradation is very slow with significant pollution damage that impacts the environment.
This study was developed in collaboration with a company dedicated to the production and sale of polyethylene bags type t-shirt for use in supermarkets, with the interest of having alternatives for the production of bags that have greater degradability and therefore less impact on the environment but that retain the required resistance in the final product, for which the effect of four oxobiodegradable additives and the control bag on the tensile strength of the bag was evaluated by applying the ASTM D882 standard under a unifactorial design.

***Key words**: Polyethylene Bags, Oxobiodegradable Additives, Degradability*

Introducción

El plástico desde su invención ha sido utilizado en muy versátiles aplicaciones para resolver necesidades en diferentes ámbitos, estando presente en múltiples artículos, ya sea sustituyendo a algunos materiales por su durabilidad, adaptación y bajo costo, como aprovechando su baja conductividad, que absorben energía de impacto y que es químicamente inerte, siendo común su uso en la elaboración de aparatos electrodomésticos, piezas para la industria automotriz, el envasado primario de diversos productos, materiales para la industria de la construcción, elaboración de muebles, fabricación de juguetes, pasto artificial, fundas protectoras de diferentes artículos, aparatos médicos, así como de diferentes tipos de bolsas, entre otras muchas aplicaciones que en su momento han resuelto necesidades en los diferentes espacios de la sociedad. Sin embargo, frente a las cualidades de este versátil material se tiene el impacto que ha generado en el medio ambiente precisamente su alta durabilidad. La ONU [1] en su informe sobre la contaminación por plásticos, manifiesta que es una amenaza creciente en todos los ecosistemas, desde donde se origina la contaminación hasta el mar, y estima que cada

año los océanos reciben entre 8 y 13 millones de toneladas de plástico, lo cual amenaza la vida marina, humana y destruye los ecosistemas naturales.

De entre los diferentes tipos de plásticos, el más común es el polietileno, polímero con el que se elaboran las bolsas de supermercado, productos que se le conoce como plásticos de un solo uso, o plásticos desechables, que cooperan a una economía lineal: comprar, usar, tirar. Una alternativa para reducir el impacto que estas bolsas generan en el ambiente, es elaborarlas con plásticos oxobiodegradables, los cuales son plásticos que en su proceso de fabricación, se le añaden aditivos prooxidantes que inducen la fragmentación parcial del material al iniciar la rotura de los enlaces del polímero, posteriormente estos promueven las reacciones de fragmentación, facilitando el deterioro del material plástico oxobiodegradable por parte de los microorganismos en el medio ambiente , para asegurar que por último ocurra la biodegradación [2].

Para cada producto plástico, se debe evaluar el tipo de aditivo oxobiodegradable a utilizar de forma que se garantice la conservación de las propiedades deseadas del producto final, por lo que esta investigación desarrolla una propuesta de degradabilidad de bolsas de polietileno tipo camiseta evaluando el efecto de cuatro aditivos oxobiodegradables sobre el efecto de la resistencia a la tensión y el tiempo de degradación del producto, aplicable a una empresa de la Región de Tehuacán que tiene la capacidad de producir diariamente 1,500 millares de bolsas de polietileno tipo camiseta.

Metodología

La investigación es de tipo experimental donde se elaboran 5 lotes de bolsas de plástico tipo camiseta bajo las condicones estándares de proceso de la empresa en estudio con la adición de los aditivos oxobiodegradables D2W, Shymphony, P-Life y EPI, y un lote Testigo, para despues comparar sus propiedades bajo un diseño unifactorial y generar una propuesta con aquella formulación que conserve las propiedes fisicas y que cumpla con el fin de degradar el material plastico en menos tiempo. El diseño aplicado es unifactorial porque la única variable a evaluar es el efecto del aditivo sobre las propiedades de la bolsa de polietileno en los equipos y condiciones de operación estandarizadas en la empresa, lo cual esta acorde con la estabilidad de los aditivos prooxidantes seleccionados. Las características técnicas de los aditivos utilizados se resumen en la Tabla 1.

El tiempo de degradación fue evaluado en un equipo Q-panel Accelerated Weathering Tester, modelo - QUV para la exposición UV acelerada utilizando lámparas de 340nm, aplicando las Norma ASTM D685418 [7].

Tabla 1. Características Técnicas de Aditivos Prooxidantes.

Nombre del Aditivo	Empresa que lo fabrica	Descripción del Producto	Propiedades	Estabilidad
D2W Shymphony [3]	Symphony Environmental Ltd.	Masterbatch (concentrado de sustancias activas) degradable a base de poliolefina.	Apariencia: gránulos secos y sólidos Gravedad específica: 1,05 – 1,15 g/cm3 Color: Gris/Marrón Temperatura de fusión: Portador de poliolefina: 100 -109°C Temperatura de descomposición: > 250 °C Punto de inflamación: No determinado Temperatura de ignición: > 350℃ Solubilidad (agua): Insignificante.	Estable en condiciones normales de uso.
P-LIFE™ [4]	P-Life América Latina	Aditivo Oxo-Biodegradable hecho a base de aceite de palma de coco.	Propiedades Físicas Resina Base: LLDPE & LDPE Índice de Fluidez: 4.62+/- 0.5 g/10min. (ASTM D 1238) Densidad Aparente: 0.930 +/- 0.005 g/cm3 Color: Beige-Perla	Cumple con las especificaciones para poliolefinas requeridas por la FDA 21 CFR 177.1520 “Sustancias

 ISSN: 2007 8102

			Ingrediente Activo: P-Life™ SMC2360 Información del proceso Dosificación del Master Batch: 1% Método de Proceso: Inyección, Extrusión y Termoformado	para su uso como componentes básicos de superficies en contacto con alimentos de uso único y repetido".
Polydegrade [5]	Phoenix Plastics	Los elementos de la fórmula no contienen metales pesados o base de oxido.	Aplicaciones: Extrusión de película plástica Índice de fluidez: 1.2 LDPE (gramos/10 min.) a 190º F. Densidad: 0.961 g/cm3 (60lb /ft3) Tipos de Resina: HDPE y LDPE Porcentaje de Aplicación: 1% (dependiendo de requerimiento de degradación).	Puede ser procesado a temperaturas típicas de procesamiento de polietileno utilizando equipo de extrusión estándar.
EPI [6]	Environmental Products Inc.	Aditivo degradable compuesto por una mezcla patentada de prodegradantes, estabilizadores y rellenos en un soporte de resina a base de poliolefina.	Índice de Fusión: (Método de Prueba ASTM D 1238-99,125 °C *12.*16 kg) 3-8 gramos/10 min. Densidad Aparente: (Método de Prueba ASTM 1895-96) 70-90 gramos Forma Física: Gránulos Aditivos Peletizado	Temperatura de procesamiento: 149-290 °C

En el diseño experimental el factor en estudio es la adición de Aditivo Oxobiodegradable con 5 ensayos diferentes. Los primeros 4 ensayos contienen cada uno un aditivo diferente, todos al 1% y un ensayo sin aditivo (Testigo), la Variable de Respuesta a evaluar será la Resistencia a la Tensión (KN) de la bolsa. Las condiciones constantes del experimento serán la elaboración de la bolsa en cada ensayo en la misma Maquina Extrusora Marca Placo modelo Modelo NHD-150 y Máquina Bolseadora Chao Wei, bajo los mismos parámetros de operación.

La variable de respuesta, Resistencia a la Tensión se evaluó en una Máquina de Tipo Universal para las pruebas de tensión de la marca Instron Modelo 2519-105, bajo dos condiciones de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM D882 [8] la cual establece los estándares para la realización de pruebas de tracción en películas plásticas de menos de 1 mm de espesor:

- Prueba de Resistencia a la Tensión en la Sección Longitudinal de la bolsa.
- Prueba de Resistencia a la tensión en la Sección Transversal de la bolsa.

Para cada ensayo se evaluaron 5 muestras de cada nivel (25 en sección longitudinal y 25 en sección transversal), acorde a lo indicado en la Norma ASTM D882. Este número de repeticiones permitió evaluar el experimento con un nivel de confianza del 95% y detectarse la diferencia mínima significativa del mismo en un estudio de individuales.

Resultados y discusión

El proceso de producción para la elaboración de las bolsas de polietileno consta de 5 subprocesos que son: Mezclado (Manual o Automático), Extrusión, Impresión, Bolseado y Peletizado, en la Figura 1 se muestra su Diagrama de Flujo de Producción.

ISSN: 2007 8102

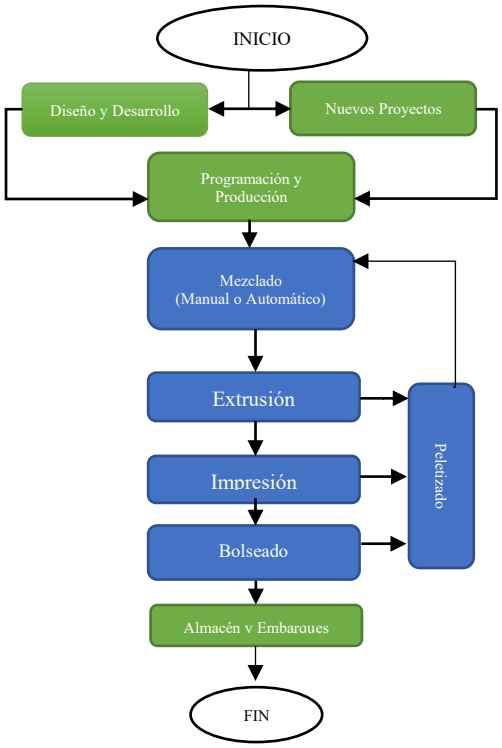


Figura 1. Diagrama de Flujo de Producción de Bolsa de Polietileno.

La Figura 2 ilustra la mezcla homogénea con la que debe ser cargada la tolva de alimentación, paso necesario para homogeneizar los ingredientes para la formulación de la bolsa, para pasar a la extrusión (Figura 3), impresión (Figura 4) y bolseado (Figura 5)

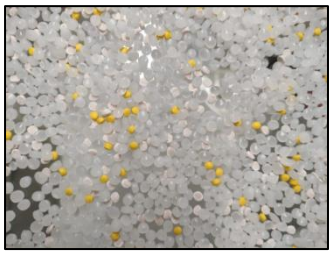


Figura 2. Mezcla Homogenizada para fabricar bolsa.



Figura 3. Proceso de Extrusión.



Figura 4. Proceso de Impresión.



Figura 5. Proceso de Bolseado.

 ISSN: 2007 8102

Una vez obtenidos los lotes para los 5 tipos de bolsas a evaluar (1 lote con cada uno de los 4 aditivos en estudio y 1 lote testigo) bajo las mismas condiciones de operación, se procedió a realizar las respectivas pruebas de resistencia a la tensión en sección longitudinal, en sección transversal y las pruebas de envejecimiento. La figura 6 muestra la Máquina de Tipo Universal donde se realizaron las pruebas de Resistencia a la Tensión de la Marca Instron Modelo 2519-105 con capacidad de 1000N, Número de Serie 73847.



Figura 6. Maquina Universal Instron Modelo 2519-105.

La Figura 7 muestra la gráfica de comportamiento de las bolsas de polietileno con aditivo D2W Shymphony en pruebas de Tracción evaluando la Resistencia a la Tensión Longitudinal y la Figura 8 la Resistencia a la tensión Transversal.

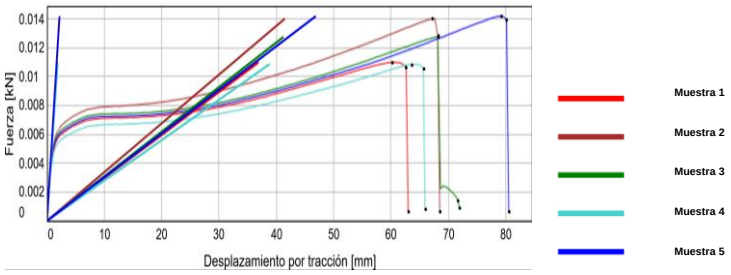


Figura 7. Resistencia a la Tensión Longitudinal en bolsa de polietileno con aditivo D2W Shymphony.

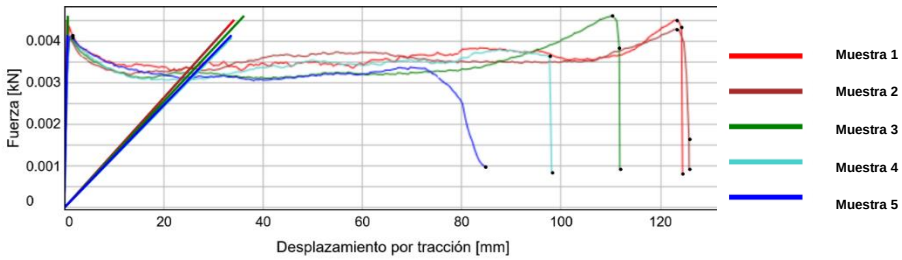


Figura 8. Resistencia a la Tensión Transversal en bolsa de polietileno con aditivo D2W Shymphony.

En estas gráficas se puede apreciar la zona elástica seguida de la zona de deformación plástica y el punto de esfuerzo de ruptura. La prueba longitudinal representa la deformación a lo largo que presentará la bolsa ante la carga y la prueba transversal, la deformación a lo ancho de dicha bolsa.

Con los datos promedio del máximo esfuerzo se construyó el Diagrama de Caja y Bigote para Probetas Longitudinales (Figura 9), Transversales (Figura 10) y se realizaron sus respectivos Análisis de Varianzas-

 ISSN: 2007 8102

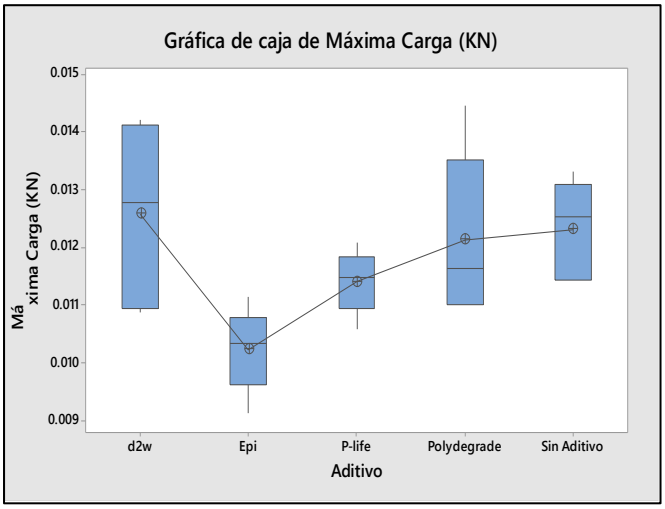


Figura 9. Prueba de Resistencia a la Tensión Longitudinal.

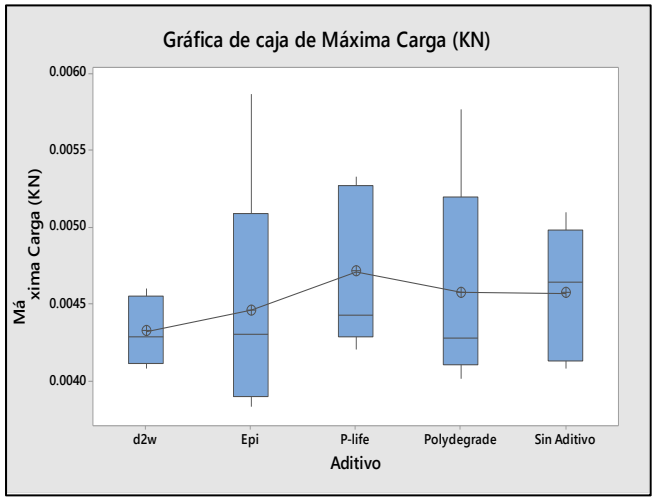


Figura 10. Prueba de Resistencia a la Tensión Transversal.

La hipótesis a probar (Ho) es si la aplicación de los aditivos oxobiodegradables en la formulación para elaborar bolsas de polietileno tipo camiseta mejora sus características biodegradables sin alterar significativamente sus propiedades de Resistencia a la Tensión.

En el caso de la Resistencia a la Tensión Transversal no se rechaza la hipótesis nula (Ho) con un $Fo = 0.32 \leq F_{(0.05,4,20)} = 2.866$ a un $\alpha = 0.05$, no habiendo diferencia significativa sobre la deformación transversal que sufriría la bolsa de polietileno ante la carga a la que sea sometida en el uso para la cual fue diseñada (bolsa para supermercado) por la presencia de aditivos oxobiodegradables en su formulación. El resumen del Análisis de Varianza obtenido del experimento se muestra en la Tabla 2.

ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Análisis de Varianza de pruebas de Resistencia a la Tensión Transversal.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	Valor F	Valor p
Aditivo	4	0.00000042	0.00000011	0.32	0.863
Error	20	0.00000668	0.00000033		
Total	24	0.00000710			

Para la Resistencia a la Tensión Longitudinal se rechaza la hipótesis nula (Ho) con un Fo= 3.61 ≥ $F_{(0.05,4,20)}$ = 2.866 a un α= 0.05, es decir, la presencia de los aditivos oxobiodegradables en la formulación de las bolsas de polietileno si afectan significativamente su resistencia a la deformación longitudinal de la bolsa de polietileno ante el uso para el cuál fue diseñada. El resumen del Análisis de Varianza obtenido del experimento se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis de Varianza de pruebas de Resistencia a la Tensión Longitudinal.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	Valor F	Valor p
Aditivo	4	0.000018	0.000004	3.61	0.023
Error	20	0.000025	0.000001		
Total	24	0.000043			

Por el análisis de la agrupación de medias (Tabla 4) se observa que las bolas de polietileno Sin Aditivo (Bolsa Testigo), con el Aditivo Polydegrade y el aditivo P-Life tienen un comportamiento estadísticamente semejante (α=0-05) ante la Resistencia a la Tensión Longitudinal, sin embargo, la media del aditivo D2W Shymphony muestra un comportamiento significativamente diferente y por el valor de dicha media, supera la Resistencia a la Tensión Longitudinal de la Bolsa Testigo, mejorando las características del producto final, caso opuesto con el uso del Aditivo Epi, el cual también muestra un comportamiento estadísticamente diferente, pero reduce la Resistencia a la Tensión Longitudinal de la bolsa de polietileno, lo cuál no es deseable para la calidad del producto final.

Tabla 4. Agrupación de las medias.

Aditivo	N	Media	Agrupación	
D2W Shymphony	5	0.012566	A*	
Sin Aditivo	5	0.012298	A	B
Polydegrade	5	0.012124	A	B
P-Life	5	0.011393	A	B
Epi	5	0.010218		B*

**Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

ISSN: 2007 8102

Análisis de Degradabilidad

La prueba que se utilizó es la QUV, la cual utiliza lámparas UV fluorescentes para reproducir los efectos dañinos de la luz solar, basada en la Norma ASTM D695418 para la degradación, que indica la guía estándar para exponer y probar plásticos que se degradan en el ambiente por combinación de oxidación y biodegradación, utilizando un Q-Panel Accelerated Weathering Tester, modelo - QUV para la exposición UV acelerada con lámparas de 340nm, estas pruebas se realizaron en el Instituto de Asistencia en Investigación Ecológica A.C. (INAINE), con la autorización e interés de la empresa productora de bolsa en estudio, para corroborar el efecto de los aditivos sobre la degradabilidad de la bolsa de polietileno tipo camiseta.

Tabla 3. Resultados de Análisis de Degradabilidad de Bolsas de Polietileno con Aditivos.

Nivel de Eficiencia	Tiempo de Degradación (hrs)	Aditivo
1	576 hrs	D2W Shymphony
2	720 hrs	Epi
3	720 hrs	P-Life
4	816 hrs	Polydegrade

Los costos en pesos por cada kilogramo de mezcla de ingredientes para la producción de bolsa de polietileno con la adición de los aditivos oxobiodegradables y de la mezcla sin aditivo (Testigo) se resumen en la Tabla 4, tomando como base para la conversión el precio del dólar de $20.26 en el momento de la comparación (Agosto, 2022).

Tabla 4. Costo de Mezclas para la producción de Bolsas de Polietileno

Aditivo Oxobiodegradable	Costo por kg de Mezcla ($)
Polydegrade	$35.00
Epi	$35.00
D2W Shymphony	$34.90
P-Life	$34.90
Sin Aditivo	$34.10

Todos los aditivos acortan el tiempo de degradación de la bolsa de polietileno sin aditivo (Testigo), la cual se sometió a esta prueba evaluándose hasta un tiempo de 1000 horas sin mostrar ningún efecto de degradación aún, por lo que para fines comparativos se considera superior a 1000 horas, que es el tiempo que en forma práctica por parte del Laboratorio de la empresa Phoenix Plastics [5] recomendó para determinar la equivalencia a 1 año de exposición al medio ambiente, aunque es teóricamente imposible tener un único número que se pueda multiplicar por las horas de exposición en la cámara de envejecimiento artificial para computar años de exposición en exteriores, por lo que pueden hacerse comparaciones confiables entre el tiempo en horas que cada bolsa obtuvo de degradación bajo las mismas condiciones experimentales.

La bolsa elaborada con el aditivo D2W Shymphony:

- Es la que menor tiempo de degradación tiene de acuerdo al estudio realizado por el INAINE, lo cuál es deseable para reducir su impacto en el medio ambiente.
- También mejoró las características de Resistencia a la Tensión Longitudinal frente a la Bolsa Testigo y no tiene diferencia significativa sobre su Resistencia a la Tensión Transversal, por lo que es la combinación recomendada para la empresa productora de bolsa de polietileno tipo camiseta que conserve sus características de calidad y tenga propiedades de degradabilidad que reducen su impacto al medio ambiente, aplicable a su proceso actual sin modificar sus condiciones y procesos de producción.

Trabajo a futuro

Desarrollar la investigación sobre el cambio de las propiedades físicas y químicas del polietileno por efecto de los aditivos oxobiodegradables y la forma en que inciden en la degradación del mismo, a fin de poder desarrollar mejores aditivos.

Conclusiones

Es importante contar con alternativas biodegradables para plásticos de un solo uso como es el caso de las bolsas de polietileno tipo camiseta para uso en supermercados, a fin de que sus tiempos de degradación permitan su bioincorporación a las cadenas tróficas y se reduzca su afectación a los ecosistemas.

Este estudio se realizó bajo las condiciones de operación de la empresa productora en estudio de la región de Tehuacán, Puebla, México, que en promedio produce 45,000 millares de bolsas al mes, a fin de generar alternativas que pueden ser incorporadas de forma inmediata, debiéndose hacer las adecuaciones necesarias para implementarse a otra empresa.

A nivel investigación aplicada se generó una propuesta para la producción de bolsa de polietileno tipo camiseta para uso en supermercados con la adición de aditivo oxobiodegradable D2W Shymphony al 1% que conserva e inclusive mejora sus características de Resistencia a la Tensión y con una degradación final del producto de 3.4 semanas (576 horas) en pruebas de degradabilidad (QUV), lo cual es muy importante para aportar soluciones ambientales ante la problemática de contaminación que implica el uso de plásticos desechables.

Otras opciones recomendables, en las que se conservan (sin diferencia estadísticamente significativa, $\alpha=0.05$) las propiedades de Resistencia a la Tensión de la Bolsa Testigo son:

- Aditivo Polydegrade y
- Aditivo P-Life

No se recomienda el uso del Aditivo Epi por reducir significativamente ($\alpha=0.05$) la Resistencia a la Tensión Longitudinal de la Bolsa, no cumpliendo con las características de calidad requeridas en el producto final.

Agradecimientos

A la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán.

A la Empresa productora de Bolsa de Polietileno (se reserva su razón social por fines de confidencialidad) de la Región de Tehuacán, Puebla.

Referencias

[1] ONU. Organización de las Naciones Unidas, “Plasticos de un solo uso”. *ONU Medio Ambiente*, 2. Recuperado el 2021, de El marco teorico de los plasticos: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25496/singleUsePlastic_SP.pdf?isAllowed=y&sequence=2, 2018.

[2] J. Alvarez Chiappe and L. Celis Andrade, “Revisión de Estándares Internacionales para la Producción de Plásticos Oxo-Biodegradables”. Obtenido de *Fundacion Universidad de America Facultad de Ingenierias Programa Ingenieria Quimica*: https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8308/1/6161840-2021-1-IQ.pdf, Febrero de 2021.

[3] Symphony Environmental Ltd, “Ficha Técnica de Aditivo D2W Shymphony”, Clave del producto 93224 Elstree House, Elstree Way, Borehamwood,Hertfordshire. WD6 1LE, *Tecnología Biodegradable*, www.d2w.net, consultado: Enero, 2023

[4] P-Life América Latina, P-Life ™ Biodegradable Plastic Technology, “Ficha Técnica Aditivo P-Life”, Clave SMC2360-200R, https://www.plife-int.com/, 2023.

[5] Phoenix Plastics, Polydegrade, 5400 Jefferson Chemical Road • Conroe, Texas 77301, “Ficha Técnica Aditivo Polydegrade”, www.phoenixplastics.com, 2023

[6] Environmental Products Inc.(EPI), “Ficha Técnica de Aditivo Epi RX 01542”, TDPA® RX 01542, Total Degradable Plastic Additives, https://epi-global.org/, 2023

ISSN: 2007 8102

[7] ASTM International, Norma ASTM D6954-18, Standard Guide for Exposing and Testing Plastics that Degrade in the Environment by a Combination of Oxidation and Biodegradation, https://www.astm.org/d6954-18.html, 2018.
[8] ASTM International, Norma ASTM 882, Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, https://www.astm.org/d0882-18.html, 2018.

ISSN: 2007 8102

Mejoras del Layout en el área de cocina del restaurante "PEPE'S" utilizando la metodología "8D".

M. C. Guzmán Mota[1], D. del C. Gamboa Olivares [2], D. M. García García [3], M. Rivera Moreno [4], K. Gómez Cantarell [5]*
[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz, L20020447@veracruz.tecnm.mx
[2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz, delia.go@veracruz.tecnm.mx
[3]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz, L20020205@veracruz.tecnm.mx
[4]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz, manuel.rm@veracruz.tecnm.mx
[5]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz, Karina.gc@veracruz.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Industrial.*

Resumen

En este artículo se presentan mejoras en el Layout del área de cocina del restaurante "PEPES", las cuales se implementaron con la metodología "8D", además de hacer uso de diversas herramientas secundarias para así disminuir el tiempo de preparación de platillos, lo que repercute en el tiempo de espera de los comensales para degustar su platillo. Para el desarrollo del Layout se anexaron datos proporcionales al tiempo promedio de espera de los comensales de acuerdo con la cantidad de comensales que acuden; esta cuantía se calculó en un periodo de 6 meses (Jul-Dic 2022), obteniendo como resultado que los comensales debían de esperar una media de 15.75 min para degustar su platillo, actualmente con la mejora del Layout en el área de cocina se obtiene una reducción en dicho tiempo del 36.50% equivalente a más de 5 min como diferencia, con esto verificamos que las mejorías del Layout fueron apropiadas.

***Palabras clave**: Layout, promedio, metodología.*

Abstract

This article presents improvements in the Layout of the kitchen area of the "PEPES" restaurant, which were implemented with the "8D" methodology, in addition to making use of various secondary tools in order to reduce the preparation time of dishes, which affects the waiting time of diners to taste their dish. For the development of the Layout, proportional data was attached to the average waiting time of the diners according to the number of diners who attend; This amount was calculated over a period of 6 months (Jul-Dec 2022), obtaining as a result that diners had to wait an average of 15.75 min to taste their dish. Currently, with the improvement of the Layout in the kitchen area, a reduction in said time of 36.50% equivalent to more than 5 min as a difference, with this we verified that the improvements of the Layout were appropriate.
***Key words**: Layout, average, methodology.*

Introducción

La industria restaurantera en los últimos años se ha visto impactada por la implementación de diversas metodologías en sus sistemas con el fin de adquirir mejorías en sus procesos y equipos, y con ello lograr una mejor rentabilidad; para dar inicio al desarrollo de las mejoras, en su mayoría propietarios y socios de empresas restauranteras optan por comenzar a indagar para hallar la causa raíz del problema y posteriormente actuar respecto a él, con ello se ha popularizado la metodología de las "8D", puesto que se inclina a sus fines por cumplir. La metodología "8D" es utilizada para identificar, corregir y prevenir errores o problemas que ocurren con más asiduidad en las empresas, siendo de gran utilidad en la optimización de productos o procesos. Esta rige una práctica estándar que se basa en hechos y se puntualiza en la causa raíz del problema o error mediante un arduo análisis. [1]
A nivel internacional, la metodología de las "8D" tuvo su origen en los estados unidos concretamente en la segunda guerra mundial; en Latinoamérica es común que diversas empresas adjudiquen problemas o errores de manera recurrente, por lo que a lo largo del tiempo se visualizan como un defecto normal, a pesar de resolverlos momentáneamente estos vuelven conforme a lo largo del tiempo lo que causa una disminución en la importancia de buscar una solución, este círculo mediático se remonta a no tener un análisis previo de la causa raíz. [2]
En ingeniería industrial se define como distribución de planta (Layout) a la colocación física o tangible de los medios industriales que la contemplan, como los materiales, equipo de trabajo, máquinas y trabajadores. El

ISSN: 2007 8102

Layout se considera para el movimiento, desplazamiento, reinstalación o reacomodo de materiales y su respectivo almacenamiento, además de tener una perspectiva del espacio necesario para ejecutar la mano de obra indirecta o directa de los productos, actividades o servicios, así como del equipo de trabajo y el personal de trabajo que labora en él. La manera de trabajar en una distribución de planta se focaliza en realizar una tarea o proyecto en una instalación especifica ya existente. [3]
La finalidad de un Layout es una distribución adecuada de los factores y elementos de producción que implican el producto final, en el que cada uno de ellos está ubicado estratégicamente de tal forma que las operaciones sean seguras, satisfactorias y económicas en el logro de sus objetivos, además de contribuir en gran medida a la mejora del uso de los recursos como lo son reducción de los costos y tiempos, aumento de la productividad lo que genera una mayor rentabilidad, y por último se mantiene el valor del producto. [4]
En el entorno competitivo de los últimos años por las empresas restauranteras se a identificado que las organizaciones deben ponerse en el contexto de los clientes para así establecer sus políticas basadas en su punto de vista y su perspectiva, puesto que la calidad de sus productos (platillos) debe de ser aceptable por ellos, lo cual engloba que todo su proceso de preparación debe responder a las necesidades y demandas, lo cual recae directamente en tener un Layout que sea capaz de satisfacer todo aquello que el cliente requiere. [5]

Adentrándonos en el Restaurante “PEPE`S”, una microempresa restaurantera de origen familiar que en los últimos años ha tenido un incremento exponencial en su popularidad sobre la región, ubicada en el municipio de Tlapacoyan, con dirección Carretera Federal Tlapacoyan-Martínez kilómetro 1, dicha empresa fue fundada en el año 2001 por la familia Guzmán Mota a dirección de la Sra. María del Socorro Mota Andrade (fundadora principal) actualmente se encuentra bajo la administración de uno de los dueños fundadores el Sr. José Luis Guzmán Vega; dicho restaurante ofrece diversos platillos de carnes y mariscos adecuados a los gustos de los comensales, de igual modo se cuenta con el servicio de renta de salón para fiestas junto con la comida que requieran los anfitriones.
Enfatizando en el área de cocina de dicho restaurante, es el área más importante puesto que en ella se produce el producto que se vende, en términos culinarios es donde se realiza la preparación de los diversos platillos que se ofertan en el restaurante, lo que conlleva a una gran responsabilidad ya que el producto final es el que define y le da credibilidad a la microempresa por medio de sus clientes en este caso los comensales.

Metodología

De acuerdo con la figura 1, será la metodología por usar con los pasos a implementar y sus tópicos adjuntos.

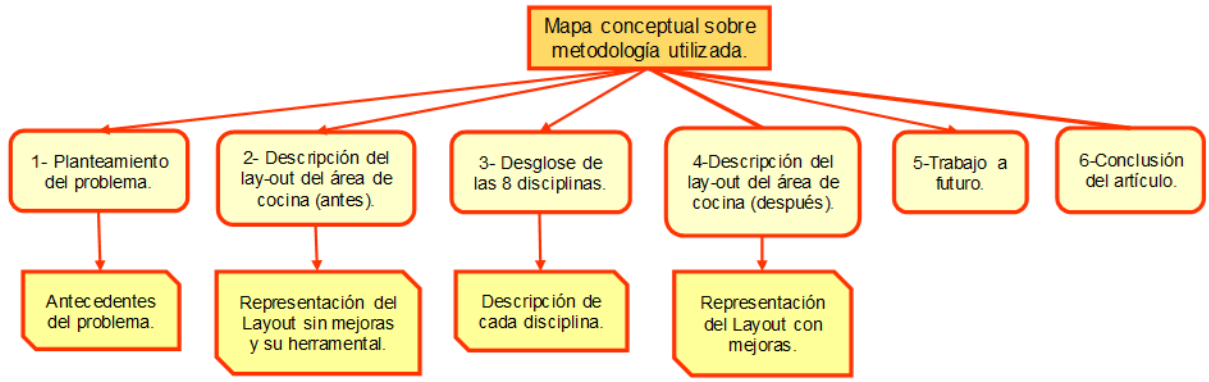


Figura 1. Mapa conceptual sobre metodología a utilizar (Autoría propia M.C.G.M).

1. Planteamiento del problema.

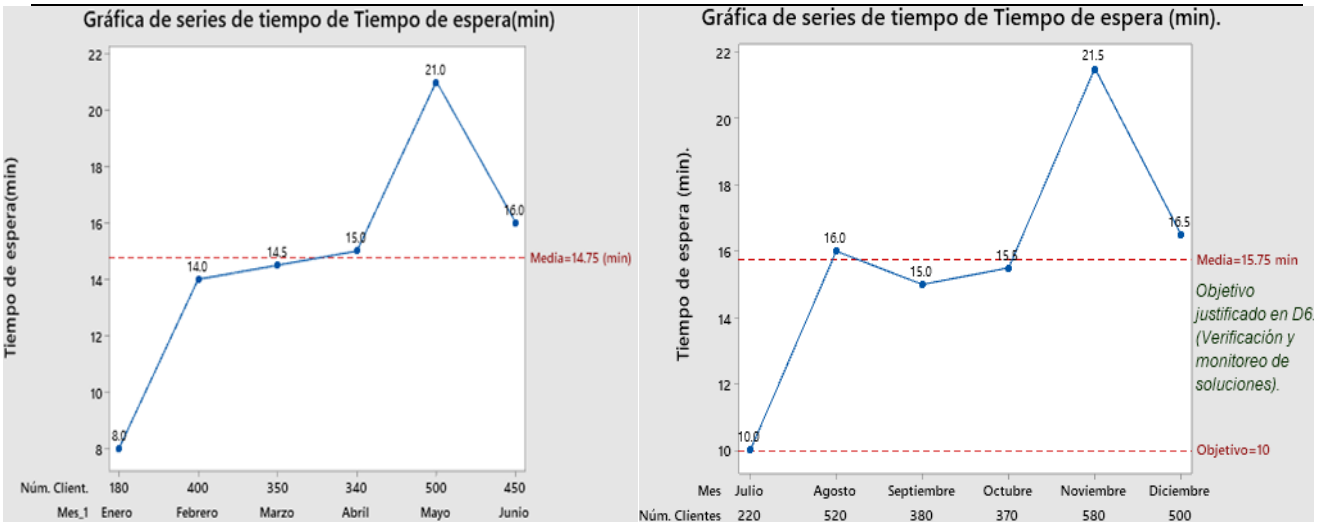
La tabla 1 describe con ayuda de las “5W” el planteamiento del problema, anexando la gráfica 1 que muestra el tiempo de entrega de platillos al comensal de acuerdo con el número de comensales por mes en el año 2022.

Tabla 1. Metodología para planteamiento de problema (Autoría propia M.C.G.M).

Pregunta	Respuesta
1. ¿Cuál es el problema?	Los comensales deben esperar un largo tiempo para poder degustar sus platillos.
2. ¿Dónde?	En el Restaurante “PEPE’S”.
3. ¿Cuándo?	A partir del segundo semestre del año 2022.
4. ¿Cuánto?	Un promedio de 15 min.

 ISSN: 2007 8102

5.	¿Cómo se sabe?	De acuerdo con la gráfica 1 que muestra la relación de tiempo de espera y el número de comensales durante los semestres del año 2022.



Gráfica 1. Número de comensales 2022 (Autoría propia M.C.G.M).

Entender un gráfico es una actividad común, debido a que estas representaciones son de gran utilidad para analizar, estudiar y comprender información estadística. [6]

2. Descripción del Layout del área de cocina (antes).

De acuerdo con la figura 2 muestra el herramental que contiene el área de cocina, incluyendo línea blanca, elementos varios y electrodomésticos menores, además de una representación gráfica del Layout antes de las mejoras, esto para tener conocimiento previo sobre lo que se cuenta y así posterior a ello realizar un análisis para adentrarse con la metodología de las “8D”.

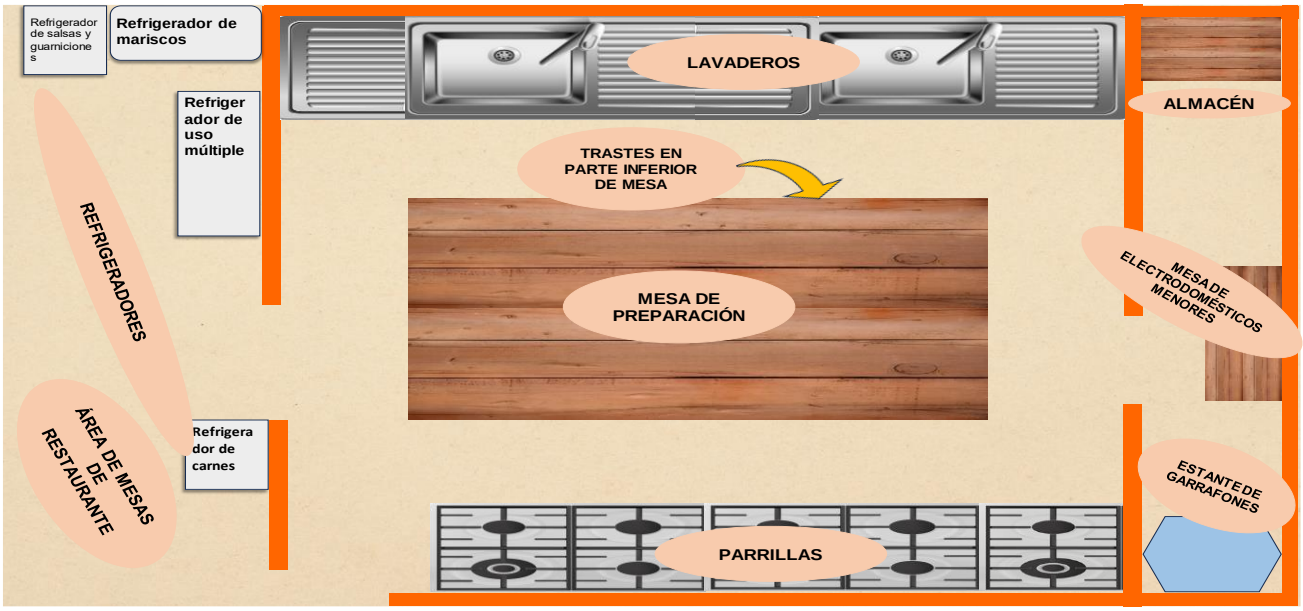


Figura 2. Layout área de cocina (antes). (Autoría propia M.C.G.M).

3. Desglose de las 8 disciplinas.

D0. Preparación y planificación.

Conforme a lo expuesto en la tabla 2, en la disciplina 0 se presentan aquellos datos o información con la que se cuenta previo adentrarse con el problema.

Tabla 2. Información previa (Autoría propia M.C.G.M).

Concepto	Información
Primera fase de percepción del problema.	Quejas de los comensales por esperar su platillo.

 ISSN: 2007 8102

Forma de percepción del problema.	Comentarios de primera mano de los comensales.
Variación en el Restaurante como posible causa.	Incremento de clientes en el Restaurante.
Primeros datos.	*2220 clientes en 2022 * 2570 clientes en 2023 en el Periodo (Ene-junio).
Segundos datos.	Tiempo promedio de espera de los comensales. Periodo (Ene-Jun) 2022(14.75 min). – (Jul- Agos) 2022(15.75 min).
Requisito previo para el problema.	Flujo continuo en la preparación de platillos.

D1. Definición del equipo para la solución del problema.

El trabajar en equipo une las aptitudes, habilidades y destrezas de los miembros para impulsar sus esfuerzos, se reduce el tiempo de las actividades o tareas y se incrementa la eficacia de los objetivos o metas por alcanzar. [7]

A continuación, en la figura 3 se presenta un diagrama en el que se describe al equipo involucrado para la resolución del problema. Cabe recalcar que este fue categorizado y ordenado de acuerdo con su experiencia en el área de cocina del Restaurante “PEPE’S”, ya que para este proyecto se requiere de personal calificado.

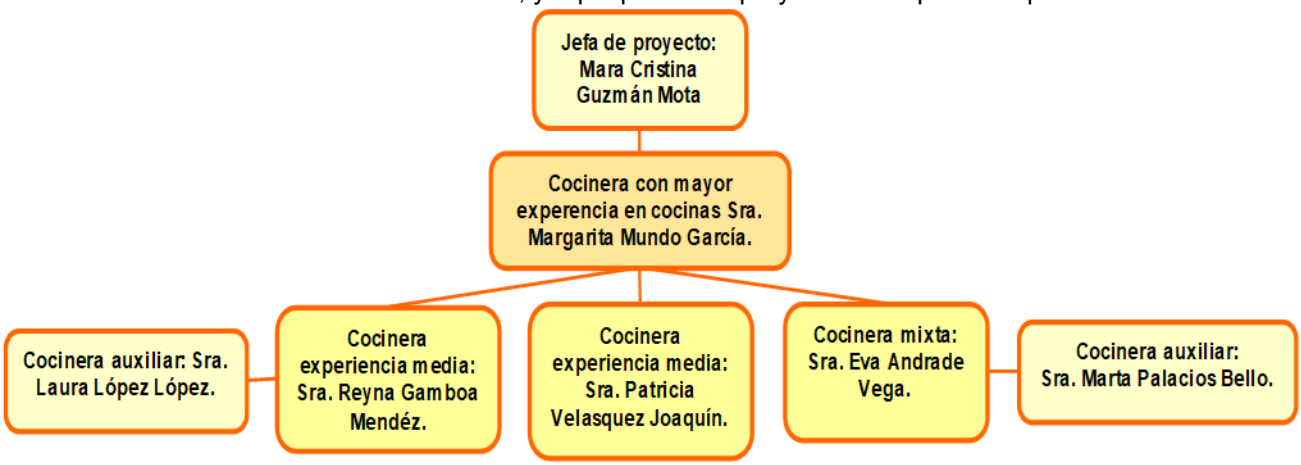


Figura 3. Diagrama de estructura del equipo de trabajo (Autoría propia M.C.G.M).

D2. Análisis del problema.

En la tabla 3 se presenta un análisis del problema utilizando la metodología de las “5W+2H”, con la que se describirá el problema desglosando la información contenida.

Tabla 3. Metodología "5W+2H" (Autoría propia M.C.G.M).

Elemento del acrónimo.	Respuesta.
¿What? / ¿Qué?	Mejorar el Layout del área de cocina aprovechando sus recursos.
¿Why? / ¿Por qué?	Por ofrecer un servicio más rápido en lo que concierne la preparación de platillos, para disminuir la espera del comensal.
¿Who? / ¿Quién?	A cargo de Mara C.G.M junto con el personal del área de cocina.
¿When? / ¿Cuándo?	En el periodo de junio-julio del año 2023.
¿Where? / ¿Dónde?	En el área de cocina del restaurante “PEPE´S”.
¿How? / ¿Cómo?	Identificando la causa raíz y sus variantes para llevar a cabo el desarrollo de más mejoras.
¿How much? / ¿Cuánto costará?	Se contemplarán cambios relevantes y no muy excesivos económicamente hablando.

D3. Implementación de acciones de contención provisorias.

La próxima tabla 4 presenta un plan de acciones de contención provisorias describiendo el hallazgo, la acción, el responsable y la fecha a implementar, las cuales dan una solución temporal al problema.

 ISSN: 2007 8102

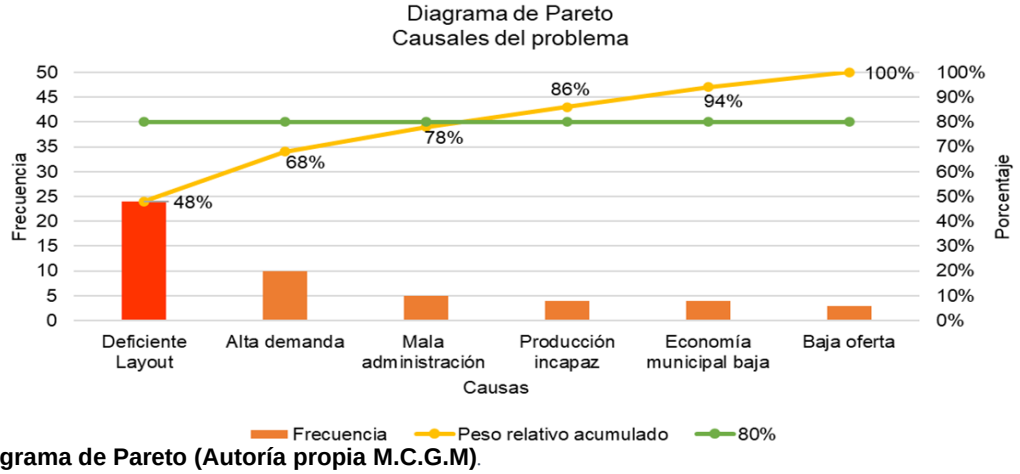
Tabla 4. Plan de acción de contención (Autoría propia M.C.G.M).

PLAN DE ACCIÓN DE CONTENCIÓN				
Nombre del plan: Entrega de platillos a comensales.	Descripción breve del plan: Agilizar la entrega de platillos a comensales.			Área: De cocina. Equipo: Personal de cocina.
Código de colores según la premura:	Vital	Muy urgente		Urgente
Problema por tratar:	Acción por implementar:	Responsable:	Premura:	Comentarios:
1. Falta de un líder.	Seleccionar un líder de acuerdo con su mayor experiencia.	Mara Cristina Guzmán Mota.		De acuerdo al personal con el que contamos la Sra. Margarita Mundo se congrega como líder al tener mayor experiencia.
2. Falta de personal.	Contratar oficialmente a un auxiliar.	Líder de cocina.		Los cocineros auxiliares son requeridos cuando hay eventos, sin embargo, como acción de contención serán contratados oficialmente.
3. Desorganización en el orden de preparación.	Al recibir una comanda se comenzará por el platillo que demore más en su preparación.	Cocineras.		Se comenzará con el platillo el cual demora más en su preparación para tener la comanda lista de platillos al mismo tiempo.
4. Desorden entre cocineros.	Colocar un cocinero en un área específica de la cocina.	Líder de cocina.		Colocar un cocinero en una zona evitará el cruce innecesario de estos en cocina y por lo tanto disminuirá la desorganización.

D4. Analizar e identificar causa raíz.

El principio de Pareto es muy beneficioso para el análisis y estudio de problemas, fallas, o defectos puesto que sirve para priorizar los problemas más graves identificando las causas que los originan y posteriormente darle una solución para eliminar el problema o mejorarlo. [8]

Se identificará la causal del problema con un diagrama de Pareto en la próxima gráfica 2, posteriormente se analizará en base a un diagrama de Ishikawa que se presenta en la figura 4, ambos se realizan considerando los operadores (cocineras) y clientes más frecuentes para identificar los puntos a tratar.



Gráfica 2. Diagrama de Pareto (Autoría propia M.C.G.M).

De acuerdo con el diagrama de Pareto se tienen 6 causas al problema donde Deficiente Layout **[$\left(\frac{1}{6}\right)$ ×100≅16.66%]** se considera como el 20% de las causas ya que cuenta con el mayor porcentaje (48%) siendo la causa del 80% de los efectos según el Principio de Pareto, mientras que la línea que esta arriba de las barras muestra el porcentaje acumulado de los defectos hasta un 100%.

 ISSN: 2007 8102

El diagrama de Ishikawa es una herramienta muy útil dentro de la calidad, gracias a esta se desarrollan acciones para la reducción del problema central, es un elemento indispensable para estudiar las variantes que interfieren en la calidad del producto o servicio mediante la relación causa-efecto. [9]

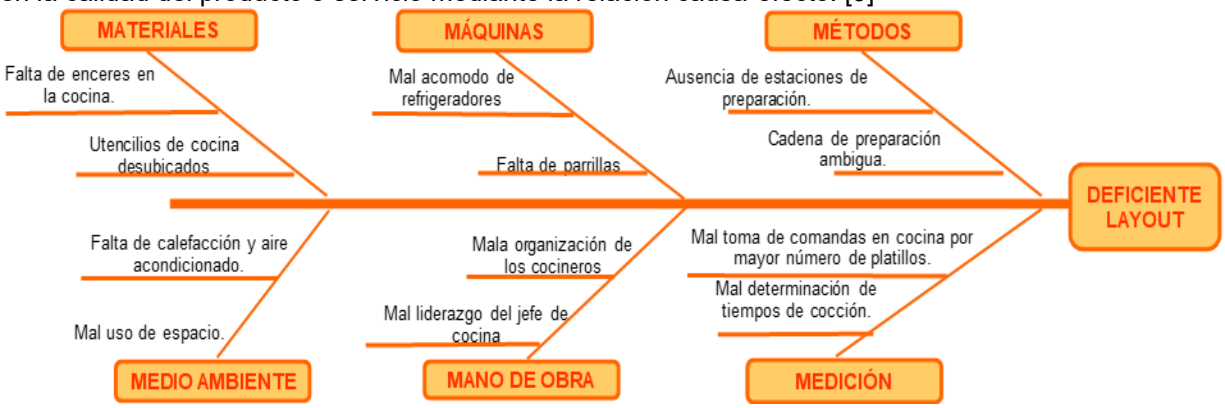


Figura 4. Diagrama de Ishikawa (Autoría propia M.C.G.M).

D5. Acciones correctivas permanentes.

Conforme a la tabla 5 se presentarán una serie de acciones correctivas permanentes las cuales darán solución al problema de manera permanente, estas serán detalladas de manera explícita puesto que su implementación debe ser concisa.

Tabla 5. Plan de acciones permanentes (Autoría propia M.C.G.M).

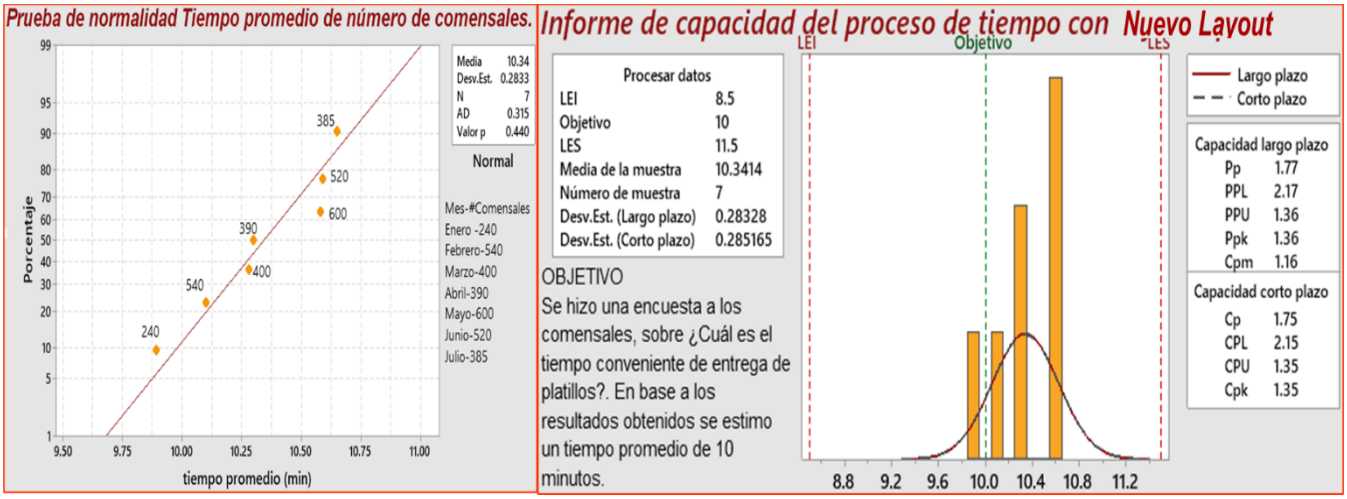
PLAN DE ACCIONES CORRECTIVAS PERMANENTES				
Nombre del plan: Desarrollo de mejoras en el Layout.	Descripción breve del plan: Mejorar el Layout buscando aprovechar mejor los recursos.			Área: De cocina. Equipo: Personal de cocina.
Código de colores según la premura:	Urgente		A tiempo	Con tiempo.
Hallazgo:	Acción por implementar:	Responsable:	Premura:	Comentarios:
1-Zona de refrigeración fuera de alcance.	Acomodar los refrigeradores con un fácil acceso.	Responsable del proyecto.		Ubicar estratégicamente los refrigeradores en donde sea más fácil su acceso.
2-Desabasto de parrillas.	Añadir una extensión pequeña de parrilla.	Responsable del proyecto.		Añadiendo otra parrilla se tiene la cocción de diferentes platillos al mismo tiempo.
3-Preparación de platillos con flujo interrumpido.	Diseñar una cadena de preparación.	Líder de cocina y responsable de proyecto.		Con una cadena de preparación se logra que no haya un desorden entre cocineros.
4-Falta de estaciones de trabajo.	Diseñar estaciones de trabajo en cocina.	Líder de cocina y responsable de proyecto.		Empalmar la cadena de preparación con las estaciones de trabajo para un flujo continuo.
5-Mal acomodó de almacén.	Ordenar productos según su practicidad.	Líder de cocina y responsable del proyecto.		Al ordenar los productos se tendrá mayor margen de practicidad y visualización.
6-Falta de reglamento.	Implementar 5” S”.	Responsable del proyecto.		Al implementar "5S” se tiene una mayor visualización de distribución.
7-Personal mal acomodado.	Acomodar al personal según la estación de trabajo.	Responsable de proyecto y líder de proyecto.		Efectuar el orden en el personal indicándoles su estación de trabajo según sus habilidades.

 ISSN: 2007 8102

8-Mal temperatura ergonómica.	Implementar una ventila de extracción.	Responsable del proyecto.		Con su implementación se tiene una temperatura ergonómica además de eliminar malos olores percibidos por comensales.
9-Inadecuado acomodo de utensilios.	Ordenar diversos utensilios según su uso.	Responsable del proyecto.		Se acomodan los utensilios de tal manera que no se tenga un cruce de personal al momento de su uso.

D6. Verificación y monitoreo de soluciones.

Prosiguiendo con la gráfica 3, donde se hizo una prueba de normalidad en la que arrojó que p=0.440>0.05 por lo tanto los datos son normales y se puede proseguir con el informe, por otro lado en el informe de capacidad se obtuvo un Cpk (índice de habilidad para un proceso estable) =Ppk (índice de desempeño)>1.33 lo que indica un proceso estable, hábil y capaz; donde se utilizó los tiempos promedio de entrega de platillo al comensal implementando el nuevo Layout de los meses Enero-Julio del año 2023.



Gráfica 3. Prueba de normalidad e Histograma de Informe de capacidad de Layout (Autoría propia M.C.G.M).

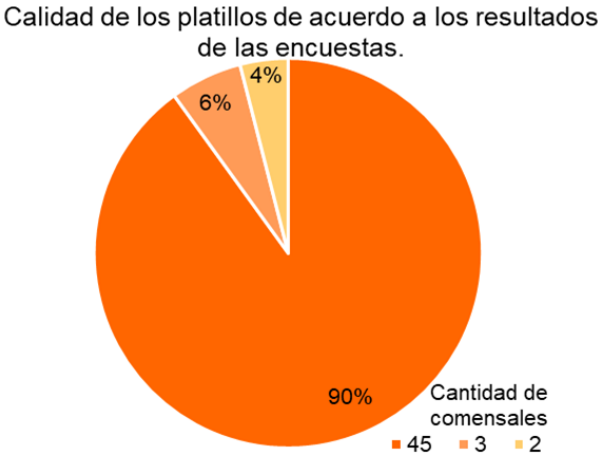
La próxima tabla 6 muestra otra manera de verificación del desempeño de proceso con el nuevo Layout.
El OEE busca medir y cuantificar el nivel de eficacia del equipo de trabajo en un proceso de producción, con esta medición se tienen datos para mejorar la efectividad general del equipo además de minimizar desperdicios lo cual afectan a la empresa. [10]

Tabla 6. Verificación y monitoreo con OEE (Autoría propia M.C.G.M).

OEE		
Proceso por calificar: Producción de platillos en el área de cocina con las acciones correctivas implementadas en el nuevo Layout.		
Semana por calificar: Primera semana		
Concepto	Resultado	Fórmulas
Horas del Turno	9	
Tiempo de Comida (min).	35	
Otros paros programados (min).	10	
Tiempo muerto (min).	30	
Minutos Total del turno.	465	(9*60)-35-10-30
Velocidad ideal.	0.1	1 pieza/ 10 Min
Capacidad de piezas a producir:	46.5	470 min*0.1 min
Piezas Producidas Totales.	60	
Piezas Rechazadas o Retrabajadas.	4	
% De Disponibilidad	94%	Min total del turno/min total sin tiempo muerto
% De Desempeño	129%	(Min total del turno / Vel. ideal) /Piezas Producidas totales
% De Calidad	93%	1- (Piezas Rechazadas-Piezas Producidas. totales) %
% De OEE	113%	Disponibilidad*Desempeño*Calidad

Monitoreo: Se llevará un monitoreo cada semana de los tiempos empleados y piezas (platillos) producidas de acuerdo con el nuevo Layout, al igual que se calculará el OEE para verificar su constante excelencia.

Calidad del platillo: Se realizó una pequeña encuesta que consistía en una pregunta a los comensales después del desarrollo de las mejoras en el Layout para verificar que la calidad del platillo no se vio afectada por estas, donde dicha pregunta fue: ¿Cómo considera la calidad de los platillos actualmente con la implementación de las diversas mejoras?, donde se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la siguiente gráfica de pastel número 4.



Gráfica 4. Gráfica de pastel sobre calidad de los platillos. (Autoría propia M.C.G.M).

D7. Prevención de la repetición del problema.

Continuando la prevención de la repetición del problema se tiene la figura 5 que expone una hoja de estandarización para mantener las mejoras realizadas en el Layout, describiendo las operaciones a realizar junto a sus características.

HOJA DE ESTANDARIZACIÓN						
Proceso: Mantenimiento de Layout.		Área: Cocina	Elaborado por: Mara C. G.M	Cantidad de operarios:6	Código:LAY-01	
Responsable: Mara C.G.M	Fecha:Ene-2023	Turno: Mixto	Operación crítica Seguridad Calidad			
OPERACIÓN		MOTIVO	HERRAMIENTAS	RESPONSABLE	FRECUENCIA	SIMBOLO
1-Moldear la construcción del área		Para evitar cambios futuros de las implementaciones realizadas	Equipo experto en construcción	Dueño de Restaurante	Anual	
2-Administración visual		Indicar estaciones y cadena de preparación al personal	Señalización	Líder de cocina	Semestral	
3-Capacitación		Preparar nuevo personal	Explicación del área.	Líder de cocina	Por contratación	
4-Manual 5"S"		Mantener orden y limpieza en las implementaciones realizadas	Manual visual	Líder de cocina	Semanal	
5-Sancionar/Bonificar		Incentivo para operadores(cocineros) por sus tareas.	Calendario de tareas	Dueño de Restaurante	Semanal	

Figura 5. Hoja de estandarización del nuevo Layout. (Autoría propia M.C.G.M).

El mantenimiento tiene un papel esencial en procesos, máquinas o equipos debido a que se encargan de prolongar su vida útil de la mejor manera para que funcionen eficientemente. [11]

D8. Cierre del problema y reconocimiento de contribuciones.

Se da por finalizado el caso una vez analizado y encontrado la solución al problema, y posteriormente verificar que esta sea eficiente y obtener su estandarización; finalmente se otorga gratitud infinita a los colegas quienes brindaron su apoyo. Reconocimiento a Cristina Andrade Barreda por su formación a base de amor y en nombre de María del Socorro Mota Andrade por ser inspiración total para crecer en el ámbito académico y profesional.

4. Descripción del Layout del área de cocina (después)

Representación del nuevo Layout.

A continuación, se presentan dos figuras 6 y 7 en las que se ilustra el Layout describiendo la cadena de preparación de platillos que se diseñó al igual que las estaciones de trabajo.

ISSN: 2007 8102

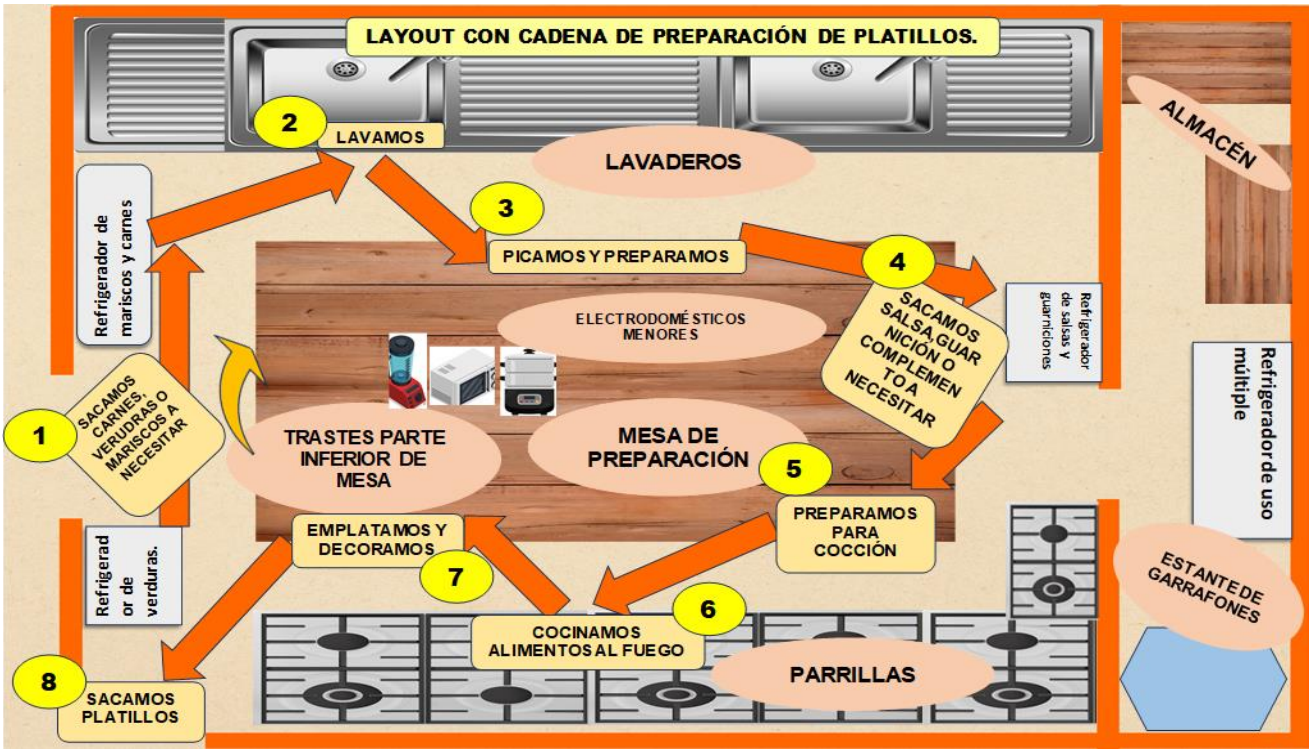


Figura 6. Layout con cadena de preparación (Autoría propia M.C.G.M).

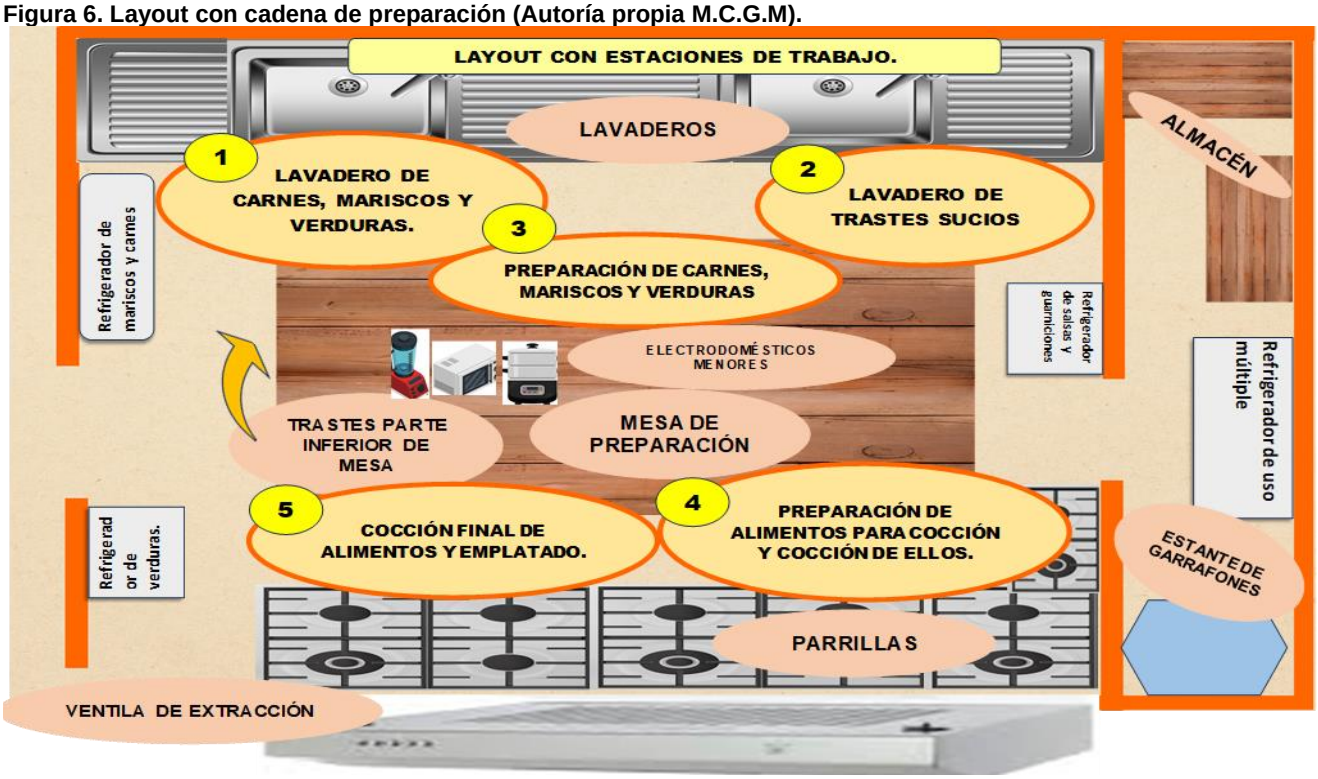


Figura 7. Layout con estaciones de trabajo (Autoría propia M.C.G.M).

5. Trabajo a futuro.

Toda empresa busca seguir mejorando día con día, por ello el siguiente paso en el Restaurante “PEPE´S” es buscar una manera eficaz de transferir las comandas al área de cocina para una mejor visualización de los pedidos, un ejemplo de cómo podría ser se muestra en la figura 8.

 ISSN: 2007 8102

Haciendo alusión a la mejora continua (Kaizen) se busca utilizar sus diversas herramientas para identificar oportunidades que nos permitan optimizar el proceso, al igual de suprimir desperdicios (mudas), tipificar procesos, e incitar el compromiso entre los operadores e incitar la mejora continua entre las microempresas restauranteras. [11]

Ejemplo de Macro para visualizar Comandas en cocina






FECHA:	28/07/2023		
NÚMERO DE COMANDA:	12	**HORA DE REGISTRO:**	14:28
MESA	5	**NÚMERO DE PLATILLOS**	4

Nó.	PLATILLOS	ESPECIFICACIONES
1	Tampiqueña	Sin papas a la francesa.
2	Cóctel chico	Con todo.
3	Caldo de camarón	Sin picante
4	Camarones al mojo	Extra arroz.

Figura 8. Ejemplo de macro para comandas en cocina. (Autoría propia M.C.G.M).

6. Conclusión del artículo.

En este artículo se presentó la resolución de un problema de una microempresa restaurantera (Restaurante “PEPE’S”) , la cual debido al aumento de la demanda gracias a su popularidad de los últimos años, se vio afectada por parte de sus clientes (comensales) puesto que debían esperar alrededor de 15 min para degustar su platillo lo que generaba una baja calificación en atención al cliente, actualmente gracias al desglose de la metodología utilizada se logró obtener una solución además de cumplir con el objetivo inicial de disminuir el tiempo en menos de 11 minutos, aunado que el Layout en cocina se mejoró de tal manera de la preparación de platillos es continua, sin más que mencionar se concluye con este artículo de manera satisfactoria y eficaz.

Referencias

[1] J. Neira y M. Velásquez, «Aplicación de las metodologías 8D y AMFE para reducir fallos en una fábrica de refrigeradoras.,» *Industrial data,* vol. 20, nº 2, pp. 61-70, 2017.

[2] L. F. Lopez Cotrina, «Aplicación de metodología 8D para mejorar la gestión logística en la Asociación Peruana de Óptica y Optometría.,» *repositorio.ucv.edu.pe,* pp. 10-89, 2020.

[3] J. A. P. V. M. I. C. García, Planeación, Diseño y Layout de Instalaciones…: Un enfoque por competencias., Primera ed., Grupo editorial patria., 2014, pp. 2-279.

[4] M. T. N. B. P. C. P. L. E. B. P. L. D. C. G. M. N. A. M. A. G. J. L. U. &. F. R. P. L. Araníbar, «Planificación del layout para la fabricación de alimentos en la industria 4.0.,» *Una revisión de literatura. Ingeniería Industrial.,* pp. 243-259, Abril 2022.

[5] J. B. R. &. V. A. CORONEL, «Un estudio de la calidad del servicio en restaurantes de mariscos.,» *Revista espacios.,* vol. 40, nº 06, pp. 2-8, Marzo 2019.

[6] J. M. L. B. E. J. E. &. A. E. H. Mojica, «Exploración de la comprensión gráfica de estudiantes de secundaria.,» *IE Revista de Investigación Educativa de la REDIECH.,* nº 11, p. 925, 2020.

[7] G. M. G. &. I. A. D. Cervantes, «El trabajo en equipo y su efecto en la calidad del servicio a clientes.,» *Revista Espacios,* vol. 41, nº 14, pp. 27-37, 2020.

[8] F. S. Gallach, «Diagrama de pareto y lean manufacturing,» *APLICADA ,* p. 19, 2020.

[9] B. D. D. C. P. D. V. P. S. K. T. P. P. R. L. &. R. G. M. B. Delgado, «tambara.org,» 2021. [En línea]. Available: http://tambara. org/wpcontent/uploads/2021/04/DIAGRAMAISHIKAWA_FINAL-PDF. pdf. [Último acceso: 09 Septiembre 2023].

[10] I. K. S. y. C. J. Rizkya, «"Mantenimiento productivo total en la industria de refrescos".,» *Actas de la conferencia AIP,* vol. 2741, nº 1, Julio 2023.

[11] F. A. Pérez Rondón, Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial., Universidad Santo Tomás, 2021.

[12] S. L. MORALES PANIAGUA, «Digital-UMSS,» 14 Julio 2023. [En línea]. Available: http://hdl.handle.net/123456789/39339. [Último acceso: 26 Julio 2023].

Triz & Seis Sigma: Innovación estructurada para incentivar la productividad en la industria quesera

N. Tass Salinas[1]*, A. Colunga Guevara[2], B. Rangel Salazar[3], C.A. Suárez Padilla[4]
[1]*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de los Ríos, nancy.ts@rios.tecnm.mx*
[2]*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Rioverde, l19227043@rioverde.tecnm.mx*
[3]*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Rioverde, l19201118@rioverde.tecnm.mx*
[4]*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Rioverde, l18227027@rioverde.tecnm.mx*

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen
Actualmente, las organizaciones se focalizan en mejorar los procesos productivos en todas las esferas de la actividad económica, como parte de incentivar la productividad de estas, lo que permite generar líneas de investigación basadas en aplicar metodologías y/o herramientas innovadoras para propiciar cambios significativos. Lo anterior, denota el objetivo de la presente investigación aplicada, descriptiva y transversal, con una direccionalidad prospectiva, que se fundamenta en la aplicación de la metodología Seis Sigma y Triz para la mejora del proceso productivo en la elaboración del queso de poro en el municipio de Balancán, Tabasco, aportando una propuesta en el diseño de la máquina de prensado que optimice la actividad de tensión/presión con la condición que sea ligera, sin perder la textura y sabor característico del queso de poro, contribuyendo a la eficiencia del proceso.
***Palabras clave**: Eficiencia, Productividad, Seis Sigma, Triz*

Abstract
Currently, organizations focus on improving production processes in all spheres of economic activity, as part of encouraging their productivity, which allows generating lines of research based on applying innovative methodologies and/or tools to promote significant changes. The above denotes the objective of this applied, descriptive and transversal research, with a prospective direction, which is based on the application of the Six Sigma and Triz methodology for the improvement of the production process in the production of pore cheese in the municipality. from Balancán, Tabasco, providing a proposal for the design of the pressing machine that optimizes the tension/pressure activity with the condition that it is light, without losing the characteristic texture and flavor of the pore cheese, contributing to the efficiency of the process.
***Key words**: Efficiency, Productivity, Six Sigma, Triz*

Introducción
En estudios realizados por el Banco Mundial [1] se hace hincapié de la distinción entre dos dimensiones de productividad: la estática y la dinámica. En el contexto de estática, la referencia se encamina a los mejoramientos de productividad que se producen sin modificaciones de la base tecnológica y que se deben a situaciones como la racionalización de procedimientos, maximizando el esfuerzo laboral y aplicando nuevos métodos administrativos. Por otra parte, con un criterio dinámico, el cambio tecnológico juega un rol importante generando mejoramientos de la productividad total e influyendo directamente sobre la productividad del factor trabajo.

Otra perspectiva aplicada como la científica y axiomática, la productividad se convierte en una variable medible, referenciada como el indicador cuantitativo del proceso de producción que de forma óptima transforma los recursos o factores productivos en bienes y servicios [2]. Por lo que la presente investigación se centra en mostrar la dimensión dinámica de la productividad, donde a través de Seis Sigma y Triz, como una herramienta sistemática aplicada para la mejora, aportarán al proceso productivo la eficiencia requerida para la elaboración de queso de poro.

Seis Sigma se vincula a la metodología DMAIC, que por su acrónimo se fundamente en *Definir, Medir, Analizar, Mejorar* y *Controlar* acciones para la solución de problemas, utilizando diversas herramientas administrativas y estadísticas de apoyo. El concepto de integrar TRIZ a Seis Sigma tiene como objetivo mejorar las capacidades de resolución de problemas, fomentando la innovación y mejora de la eficiencia general en el desarrollo de productos y procesos [2]. Triz es una metodología sistemática en busca de la innovación, con el objetivo de resolver problemas complejos identificando y solucionando contradicciones a través de aportes creativos e

inventivos [3]. Seis Sigma y Triz permiten a las organizaciones aprovechar las fortalezas de ambas metodologías y abordar sus respectivas limitaciones; la integración mejora la creatividad y la innovación al tiempo que garantiza respuestas más rápidas y exitosas a las necesidades de los clientes.

Por otra parte, es necesario indicar que el queso de poro es originario de la Región de los Ríos en el estado de Tabasco, México, específicamente de los municipios de Tenosique, Emiliano Zapata y Balancán, siendo este último, donde adquiere mayor importancia como actividad económica, ya que el *saber-hacer* tradicional del proceso forma parte del patrimonio gastronómico cultural que hacen de este alimento un producto único, genuino y artesanal, con aceptación en el mercado local, regional y estatal [4] y con sustento en el objetivo 9 de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de *Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación*, donde se indica que de aquí al 2030, se debe modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales; por lo que la presente propuesta de investigación podrá abonar al incremento de la productividad en la industria quesera del municipio de Balancán, adecuando cambios frugales de innovación (estrategia de diseño y uso eficiente de los recursos) que minimice lo no esencial del proceso, como tiempos, incidentes, accidentes, desperdicios y costos.

Metodología

Tipo de investigación

Según la orientación, es una investigación aplicada porque se centra en el uso de los conocimientos para resolver problemas prácticos y aplicarlos en el mundo cotidiano. Por el alcance, es una investigación descriptiva, ya que se especifican las propiedades de las variables, se definen y miden para cuantificar las dimensiones del contexto. Y acorde al diseño de la investigación, tiene un corte transversal, debido a la recolección de datos en un tiempo definido, teniendo como principal intención, describir variables y analizar la incidencia e interrelación en ese momento dado [5].

Acorde a la direccionalidad de la investigación tiene un enfoque prospectivo, ya que se estudia la productividad de la Fábrica de quesos Bejucal® en el 2023, para después medir el efecto en el futuro [5].

Población y muestra

En el municipio de Balancán, Tabasco, México, actualmente hay 10 queserías registradas, entre ellas, la Fábrica de quesos Bejucal®. Considerando lo anterior, es una población finita debido que se conoce el límite de esta [5]. El método de muestreo utilizado es no probabilístico, por que únicamente se tiene como muestra una empresa quesera, basado en un juicio subjetivo por el acceso a la información y solicitud del propietario de la empresa.

Técnicas de recolección de datos

Éstas son procesos sistemáticos utilizadas para obtener observaciones o mediciones que proporcionan información relevante para el desarrollo de la investigación. Una de las técnicas es la encuesta, donde a través de un cuestionario estructurado, integrado por un listado de 51 ítems permite recopilar datos de forma cuantitativa y/o cualitativa y obtener resultados válidos y confiables que aborden los objetivos de investigación, por tal razón, el alfa de Cronbach se utiliza para medir la confiabilidad del instrumento. El alfa de Cronbach es una herramienta valiosa para evaluar la consistencia interna de escalas y pruebas antes de su implementación, especialmente cuando se utilizan múltiples ítems para medir el mismo constructo. Una interpretación típica del alfa de Cronbach es que valores más altos indican que los ítems tienen una mayor covarianza compartida y, por lo tanto, probablemente miden el mismo concepto subyacente [6].

La entrevista es otra técnica cualitativa utilizada que permite tener una mejor comprensión de las percepciones, opiniones o experiencias del propietario de la empresa quesera y mediante un reporte de entrevista como instrumento se resguarda la información obtenida. Por último, la observación, técnica donde se registra el comportamiento o eventos en su contexto natural, sin intervenir directamente en el proceso de elaboración de queso de poro y mediante una hoja de campo registrar los hechos.

Técnicas para el procesamiento de la información

Minitab [7] ofrece herramientas para aplicaciones estadísticas generales y el procesamiento de información relacionadas con datos cuantitativos y/o cualitativos. Se puede realizar análisis estadístico, gráficos tipificados al contexto, análisis predictivo y de mejora para permitir la toma de decisiones basadas en datos. En la presente

ISSN: 2007 8102

investigación se ocupa para el diseño y ejecución de gráficos, tales como el gráfico de Pareto y gráfico X-R, que permitan el análisis causal a la oportunidad de mejora detectada [8].

Diseño metodológico

Las etapas que comprende la investigación se denotan en la Figura 1, centrándose en identificar los indicadores de la productividad para poder aplicar Seis Sigma de manera sistemática y adecuar soluciones bajo el enfoque de TRIZ, permitiendo crear una propuesta de mejora viable para la empresa quesera.

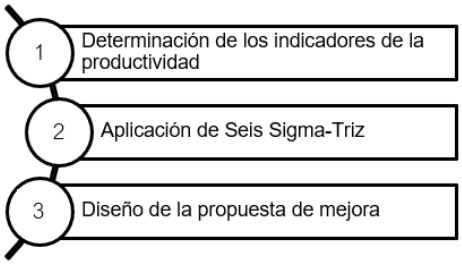


Figura 1. Diseño metodológico de la investigación. Elaboración propia, 2023.

Resultados y discusión

Determinación de los indicadores de la productividad

La encuesta diseñada consta 4 secciones de análisis como se muestra en la Tabla 1, con la finalidad de cuantificar el impacto que tienen los indicadores claves de la productividad en el proceso productivo en la elaboración de queso de poro.

Tabla 1. Secciones de la encuesta aplicada. Elaboración propia, 2023

	Sección	Rango de ítems
1	Datos personales	01-09
2	Productividad Total	10-17
3	Eficacia del proceso	18-31
4	Eficiencia en el proceso	32-51

El instrumento fue aplicado a 3 personas que laboran en la empresa quesera, incluyendo al propietario de esta. La efectividad del instrumento denotó un nivel Alfa de Cronbach de 0.9268, que representa una confiabilidad en el rango alto, indicando una buena consistencia interna [6]. Los resultados obtenidos en la sección 1 generalizan el *perfil del personal*, descritos en la Tabla 2, dando pauta a conocer datos personales y laborales de cada uno de ellos.

Tabla 2. Perfil del personal que labora en la empresa quesera. Elaboración propia, 2023.

1	Género	3-Masculino
2	Estado Civil	1-Soltero 2-Casados
3	Rango de edad	2-Entre 20 y 30 años 1-Entre 30 y 40 años
4	Salario semanal	Oscila entre 1300 a 1500 pesos
5	Días laborables	De Lunes a Sábado

Así mismo, en la sección 2, la información recolectada es en relación con la productividad del proceso productivo de queso de poro, considerando los requerimientos para una producción semanal, en un panorama de abastecimiento de recursos y un buen rendimiento del personal, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Especificaciones de la producción semanal. Elaboración propia, 2023.

1	Leche pura	Oscila entre 1370 a 1600 Litros
2	Quesos de poro elaborados	Oscila entre 390 a 432 quesos
3	Precio de venta	$100.00 pesos
4	Horas-Hombre	48 horas
5	Costo de Mano de obra	$1,300 pesos
6	Costo de Materia prima	$17,030 pesos

En referencia a los datos anteriores, el cálculo de la productividad total es de 2.4, fundamentada en la siguiente fórmula [9], interpretándose que se obtiene 2.4 veces lo invertido con la cantidad de queso de poro producido a la semana y con un uso eficiente de los recursos, lo que contribuye a la competitividad del negocio en el mercado.

$$\text{Productividad} = \frac{Producto\ (Total\ de\ bienes\ y\ servicio)}{Insumo\ (Total\ de\ recursos\ utilizados)} = \frac{\$43{,}200}{\$18{,}030} = \mathbf{2.4}$$

Al hablar de eficacia en la sección 3 del instrumento, se interpreta que se cuenta con los requerimientos necesarios para llevar a cabo el proceso de producción de queso de poro. El área de producción cuenta con los equipos y materiales que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Equipamiento y materiales del área de producción en la empresa quesera. Elaboración propia, 2023.

1	Tinas de Cuajada	3
2	Mesas de trabajo	2
3	Moldes	200
4	Contrapeso	60
5	Balanza Manual	1
6	Tanque de gas	1

Para calcular el nivel de eficacia se utiliza la fórmula correspondiente, tomando en cuenta la producción semanal, donde el porcentaje obtenido es 87.9%, que quiere decir, que es moderadamente eficaz [10], debido a la capacidad de la planta incluyendo equipos, materiales y los insumos como la materia prima, donde ésta última, varía continuamente.

$$\text{Eficacia} = \frac{(Resultado\ alcanzado * 100)}{Resultado\ previsto} = \frac{(380 * 100)}{432} = \mathbf{87.9\%}$$

Y, por último, en la sección 4 relacionado con la eficiencia, el personal ha declarado que, por las condiciones ambientales del lugar, sufren de fatiga y cansancio durante la jornada laboral; así mismo, siempre tienen dolores musculares y de cabeza por las actividades que realizan y las temperaturas en las que se encuentran. Para que se pueda lograr la eficiencia, el personal debe ejercer la acción y conseguir el objetivo al menor costo posible, tanto de los recursos como de los imprevistos (lesiones, incidentes o accidentes). Por lo anterior y acorde a la información recolectada se aplicó la fórmula de eficiencia:

$$\text{Eficiencia} = \frac{Tiempo\ utilizado}{Tiempo\ previsto} * \frac{Unidades\ producidas}{Unidades\ previstas} = \frac{40}{48} * \frac{390}{432} = 0.74 = \mathbf{74\%}$$

El 74% indica una calificación de *ineficiente* [10] y acorde a la información proporcionada esto se debe a los tiempos de ejecución del proceso, la distribución de equipos y herramientas y el rendimiento del personal propiciados por factores internos y externos.

Ahora bien, considerando los indicadores calculados de productividad, eficacia y eficiencia, se analizan los parámetros críticos de calidad capaces de satisfacer las exigencias del cliente, en este caso la empresa quesera, permitiendo identificar la jerarquización de prioridades de las oportunidades detectadas en el resultado exigido basado en la productividad. Este diagrama considera la voz del cliente, delimita el proceso y se analizan los riesgos, ponderándolos con un valor del 5 al 1, para identificar el crítico de atención por el valor más alto, como se muestra en la Tabla 5.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 5. Árbol crítico de la calidad de la empresa quesera. Elaboración propia, 2023

Oportunidad de mejora	Conductor de la calidad	Requerimiento	Métrica utilizada	Nivel crítico
Incrementar la productividad en el proceso de elaboración de queso de poro	Optimización en la distribución de planta en el área de producción	Equipos/herramientas/materiales distribuidos correctamente en el área de producción y en las condiciones idóneas de uso.	Eficacia de la productividad = 87.9% Interpretación: Moderadamente eficaz	4
		Condiciones ergonómicas organizacionales y físicas idóneas para el personal.	Eficiencia de la productividad = 74% Interpretación: Ineficiente	**5**
Abastecimiento de la materia prima (leche pura de vaca)	Cartera de proveedores fiables	Cubrir la meta de litraje diario de leche, con la calidad óptima requerida.	Número de proveedores 3	4

Por las métricas utilizadas y el nivel crítico de atención, la prioridad es atender la eficiencia de la productividad, garantizando las condiciones ergonómicas organizacionales y físicas idóneas para el personal.

Aplicación de Seis Sigma-Triz

Seis Sigma es una metodología disciplinada, basada en datos que busca eliminar defectos en cualquier proceso, producto o servicio [11]. La importancia radica en la capacidad para mejorar la eficiencia de la empresa de quesos, donde a través de DMAIC herramienta fundamental dentro de la metodología Seis Sigma proporciona una estructura sistemática para la mejora continua y la optimización de procesos [12].

Definir

La finalidad de la primera fase es tener una mejor comprensión del problema [8], pero para lograrlo se requiere conocer el proceso productivo del queso de poro a través de la herramienta SIPOC (Suppliers, inputs, process, outputs, customers) como se muestra en la Figura 2 que permite identificar los elementos claves del proceso para después definir la oportunidad de mejora.

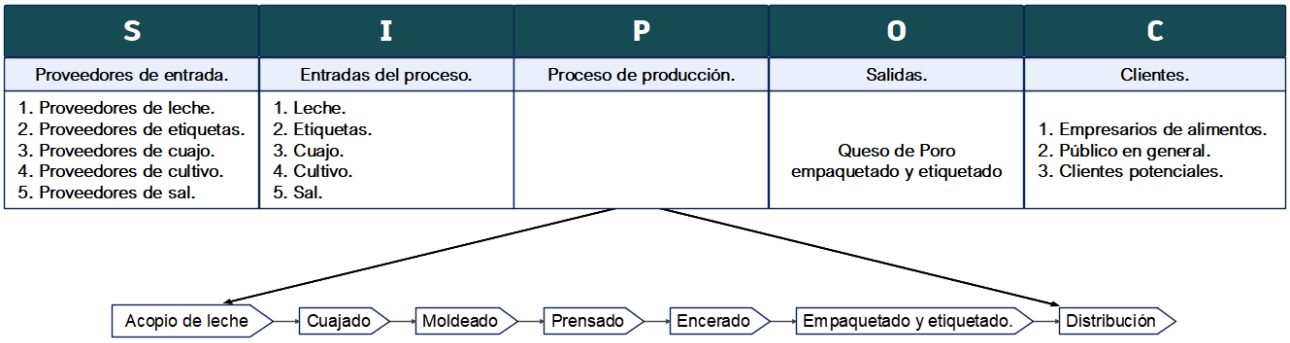


Figura 2. Análisis SIPOC del proceso de producción de queso de poro. Elaboración propia, 2023.

Seguidamente, la Figura 3 indica el mapa de proceso de la elaboración de queso de poro, que es la integración de diagramas de flujos de las actividades principales que detallan el proceso [7] y mediante el análisis de cada una de las actividades, la capacidad de la planta es tener una producción semanal de 600 quesos de poro. Ahora bien, ***Después de 2020, la empresa de quesos ha disminuido un 40% en las unidades producidas semanalmente de queso de poro, comparando con los años anteriores. Esto se traduce que la eficiencia ha disminuido un 8% en la productividad.***

 ISSN: 2007 8102

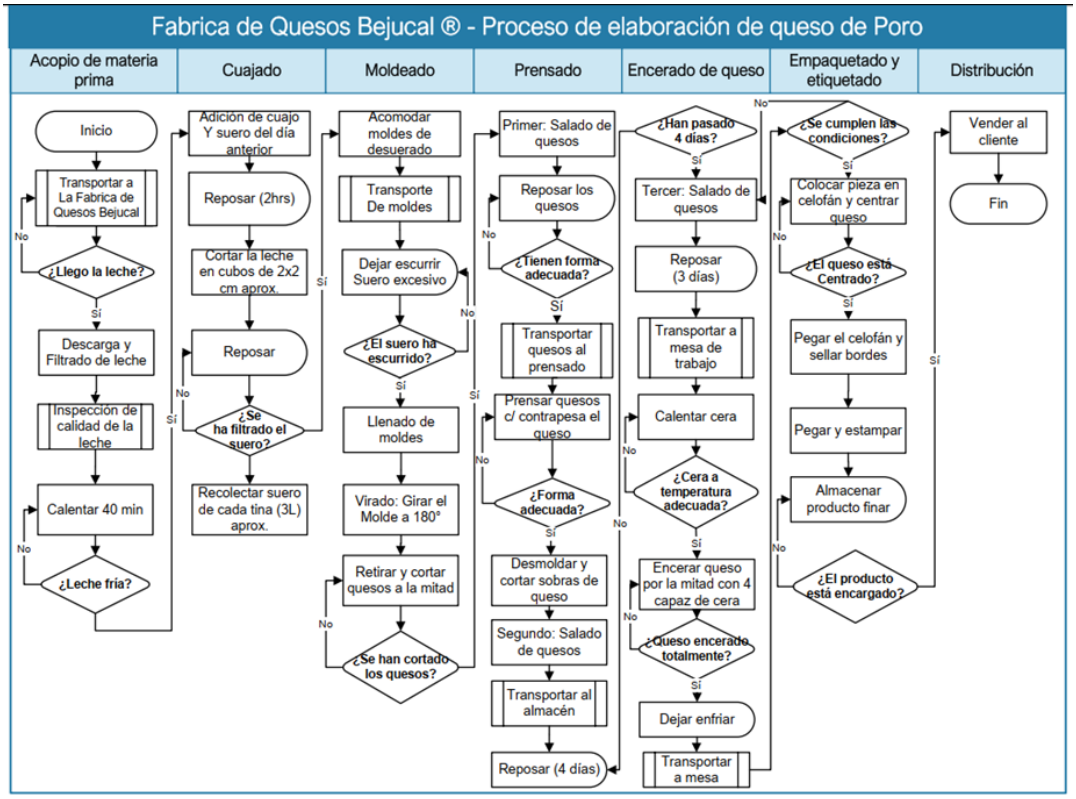


Figura 3. Mapeo del proceso de elaboración de queso de poro. Elaboración propia, 2023.

Medir

La finalidad de esta segunda fase es entender y cuantificar la magnitud del problema, por lo que se analiza y valida el proceso para determinar las métricas causales que impactan en la productividad [8]. Una vez identificadas las actividades implícitas del proceso se analizan las causas principales que inciden en la productividad de este, desde la obtención de la materia prima hasta el método del proceso empleado, que, por ser artesanal, se utilizan equipos, materiales y herramientas manuales, generando mayor esfuerzo por el personal y al no existir una organización del proceso, ocasiona lesiones, incidentes y/o accidentes en el área de trabajo. Consecuentemente, se establece la métrica, tomando una muestra de 30 piezas para cuantificar el impacto a través de los tiempos de ejecución de cada una de ellas, representadas en el Gráfico de Pareto de la Figura 4.

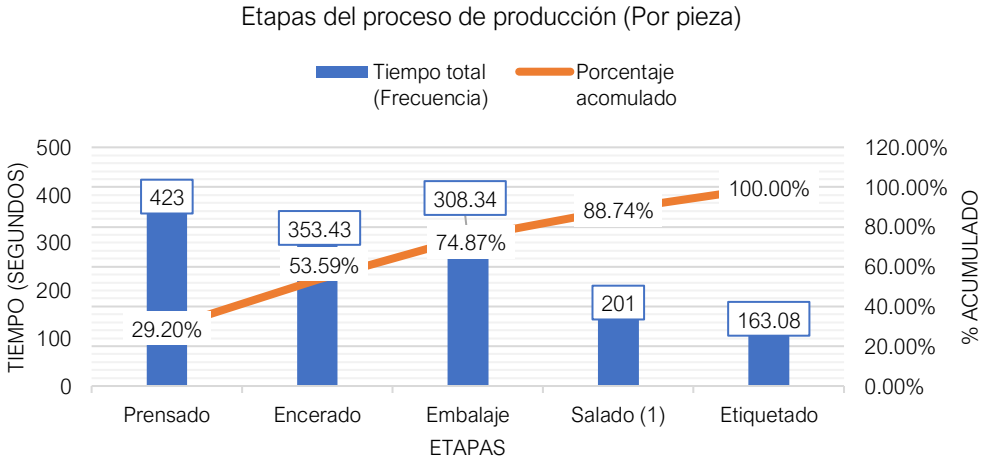


Figura 4. Gráfico de Pareto (1er nivel) de los tiempos de las actividades de producción de queso de poro. Elaboración propia, 2023

 ISSN: 2007 8102

La interpretación del gráfico indica que la etapa de prensado del queso de poro es la que genera mayor tiempo en el proceso por pieza (de mayor impacto), ya que representa el 29% del total de los tiempos y por ende es preciso determinar las causas de fondo y aplicar las mejoras requeridas desde la raíz. Por lo anterior, se requiere determinar las actividades principales que comprende el prensado para analizar los tiempos de ejecución implícitos, dando cabida a la realización del Gráfico de Pareto (Segundo nivel) como se muestra en la Figura 5 donde se obtuvo que el tiempo de prensado se representa parcialmente en la colocación de contrapeso, por la demora de la actividad específica, generando cuellos de botella y a la vez, algunos incidentes para el personal por la forma en que se realiza aunado con el peso, ocasionando, lesiones musculares.

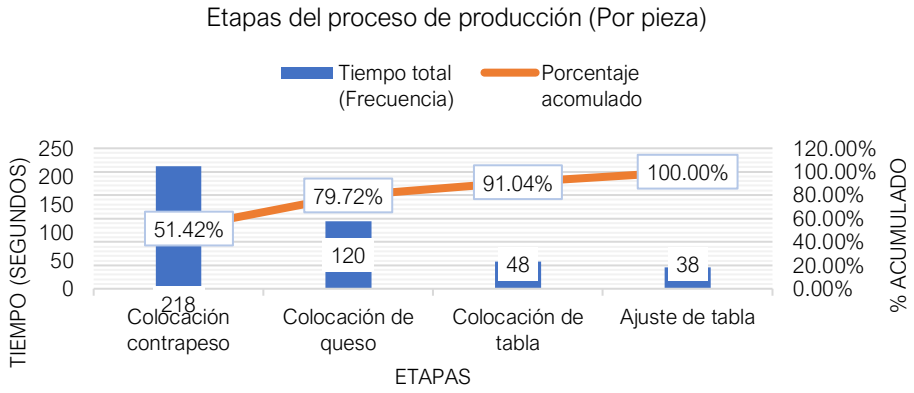


Figura 5. Gráfico de Pareto (2do Nivel) de los tiempos de ejecución de las actividades del prensado. Elaboración propia, 2023

Para una mejor interpretación del estado actual del proceso el nivel sigma es de 2.98, dando un rendimiento bajo, por lo que requiere mejorar en aspectos claves del proceso, como el prensado.

Analizar

La meta es identificar las causas raíz del problema, entender cómo es que estás generan el problema y confirmar las causas con datos [8]. En la empresa de quesos, la operación de prensado de queso de poro, la característica con menor eficiencia es el tiempo de prensado que por diversos factores muestra variabilidad y genera en algunas situaciones, reprocesos, demoras o retrasos de entrega. Para el análisis se considera un muestreo de cada 5 minutos, con un tamaño de muestra de 3 unidades, siendo así 16 subgrupos involucrados. El prensado tiene un tiempo estándar de 12 segundos con una tolerancia de ± 3 segundos, interpretándose que debe garantizar un tiempo entre la especificación inferior EI= 9 y la superior ES=15, con un valor ideal o nominal de N=12, en la Figura 6 se muestra el Gráfico de Control (X) del promedio donde 2 de los 16 puntos se encuentran en los tercios superiores, por lo que existe una adhesión a los límites de control con una posible falla en el proceso generada por no tener estabilidad en los tiempos de prensado influyendo la máquina, la fuerza del personal y la forma en que lo ejecuta .

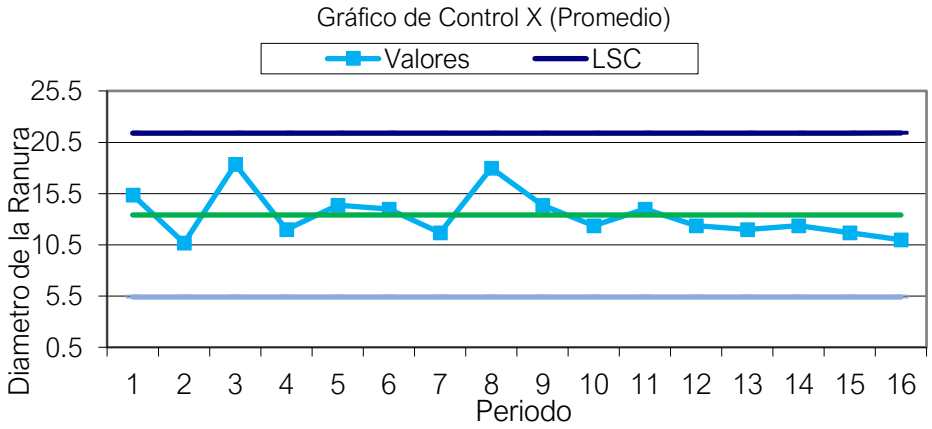


Figura 6. Gráfico de control X (Promedio). Elaboración propia, 2023

 ISSN: 2007 8102

Y también se diseña el gráfico de control para rangos muestrales, como se visualiza en la Figura 7, donde se observa que tras de los 16 puntos se encuentran en los tercios superiores, siendo un punto el que se está fuera de los límit e tiempo bruscos en el proceso.

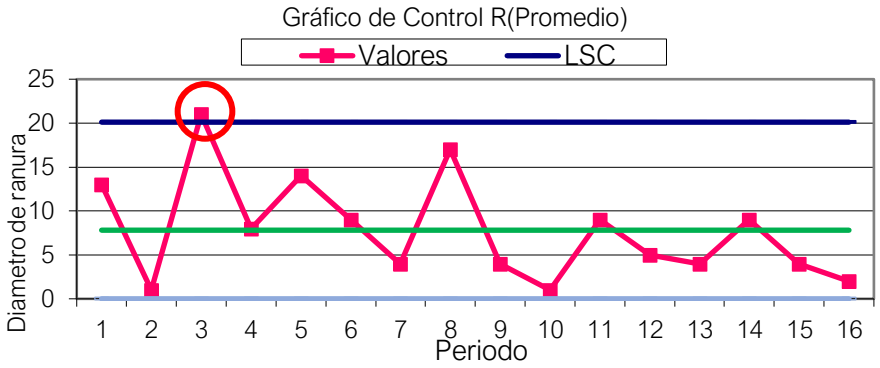


Figura 7. Gráfico de control R (Promedio). Elaboración propia, 2023

El análisis valida que el proceso de prensado de queso de poro requiere atención de mejora, donde el tiempo es la métrica medible que se debe optimizar para lograr la eficiencia de este. Es necesario hacer hincapié que cuando el personal realiza esta actividad hay factores que intervienen en el desempeño de ellos, debido al contrapeso inadecuado de la prensa utilizada genera situaciones de salud leve, moderada o grave, por la repetición de la acción de carga.

Diseño de la propuesta de mejora

Mejora

En esta etapa se busca proponer e implementar soluciones que atiendan las causas raíz; es decir, asegurarse de que se reduce o corrige el problema [8]. Por tal razón, Triz, es la herramienta que dará el proceso sistemático para desarrollar significativamente las habilidades de pensamiento crítico y fomentar las capacidades tanto inventiva como creativa para la resolución del problema [13], permitiendo simplificar técnicamente el proceso, ganando en tiempo-costos y fiabilidad. El primer reto identificar el sistema técnico que debe mejorarse, indicado en la Tabla 6.

Tabla 6. Identificación del Sistema Técnico. Elaboración propia, 2023

Característica que debe ser mejorada	
Sistema Técnico	Prensa
Objetivo primario del Sistema Técnico	Ejercer tensión/presión para el proceso de prensado en la elaboración de queso de poro.
Elemento que integran el Sistema Técnico	**Funciones**
Tablón	Base para los moldes y canalete para el suero sobrante.
Moldes-Tapas de moldes	Base para colocar la leche y darle forma al queso.
Soporte de palanca-Palanca	Herramienta para ejercer la fuerza requerida del prensado
Contrapeso	Herramienta para ejercer la fuerza requerida del prensado
Operación del Sistema Técnico	
Darle forma al queso, eliminar el suelo y conservar la textura característica del queso de poro	

Seguidamente, traducir el problema específico en un problema conceptual, para poder acceder a las soluciones conceptuales de Triz, formulando la contradicción técnica sustentada en que la mejora, modificación o transformación de una característica útil de un sistema provoca la degradación de otra característica útil [7], como se muestra en la Tabla 6 y que impacten directamente en dos criterios: 1) tiempos y 2) salud ocupacional.

Tabla 6. Formulación de la contradicción. Elaboración propia, 2023

Característica de mejora	**Característica que empeora**
Minimizar peso de la prensa	La tensión/presión que ejerce sobre el cuajo
Formulación de la contradicción técnica	

 ISSN: 2007 8102

Si el peso de la prensa se ligera mediante la modificación en los materiales y el diseño de la prensa se puede conservar la tensión/presión ejercida en el cuajo para no perder la textura ni la forma del queso y continue eliminando el suero.

La prensa en la fabricación de queso es una parte esencial del proceso para eliminar el suero y compactar el cuajo, lo que influye directamente en la textura, forma y calidad del queso resultante, como se muestra en la Figura 8. La tensión o presión aplicada durante el prensado es necesaria para expulsar el suero y unir las partículas de cuajo, creando una estructura firme y homogénea, misma que se da al unir la palanca con el contrapeso y donde la persona ejerce movimientos repetitivos de arriba abajo cargando peso a la vez.



Figura 8. Elementos del prensado de queso de poro. Fábrica de quesos Bejucal®, 2023

Una vez descrita la contradicción técnica, se hace uso de la Matriz de Contradicciones para aplicar los 40 principios inventivos de TRIZ y resolverlo [15]. La intersección de las características de mejora (peso de la prensa) y empeora (La tensión/presión que ejerce sobre el cuajo) de la contradicción técnica, permite indicar los principios de inventiva aplicables a la situación, siendo estos el 13, 29, 10, 18, considerando para la propuesta el *principio 10: Acción previa*, donde los aportes de solución tienen como base realizar el cambio requerido de un objeto con anticipación (completa o parcialmente) y preorganizar objetos de modo que puedan entrar en acción desde el lugar más adecuado.

El sistema propuesto para el prensado es una prensa automatizada de acero al boro, integrada con 201 moldes equivalentes a la meta de kilaje por día; entre las características sobresalientes que cumplen con las condiciones requeridas para ser más ligera pero conservando la tensión/presión ejercida en el cuajo para no perder la textura ni la forma del queso y continue eliminando el suero, es que incluye un PLC de paro de seguridad al costado de la prensa, la parte superior de la prensa hará presión hacia abajo con el uso de 3 tubos para maniobrar (arriba-abajo), impactando en mejorar las condiciones del personal al ejercer fuerza, por otra parte, el recubrimiento de los moldes en la parte interna será de madera con orificios para expulsar el suero y conservar la textura y sabor característico del queso de poro, como se muestra en la Figura 9.

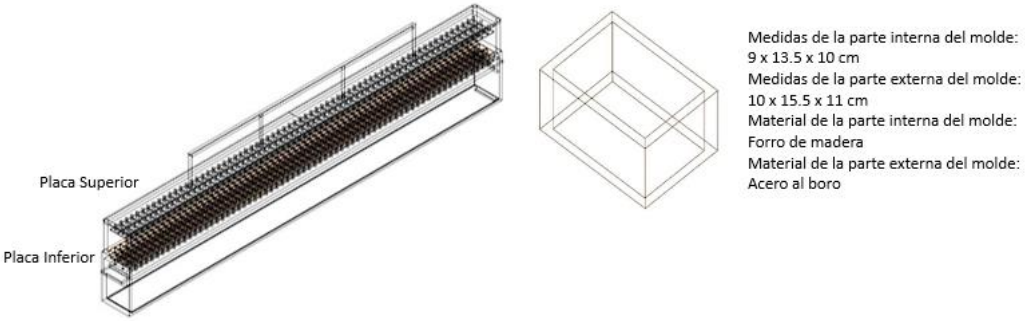


Figura 9. Diseño de la prensa propuesta. Elaboración propia, 2023

Control

Una vez que las mejoras deseadas son propuestas, en esta etapa se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas [7]. Con este contexto, la propuesta está en desarrollo de fabricación y para controlar la ejecución correcta en el uso de esta se realizarán las acciones siguientes: 1) Capacitar al personal para maniobrar la máquina de prensado, 2) Rediseñar la distribución de planta para el flujo del proceso, 3) Estandarizar el proceso de la elaboración del queso de poro, incluyendo mecanismos de seguridad e higiene en el trabajo y fomentando la ergonomía organizacional y física. Por otra parte, el propietario de la fábrica quesera validará la eficiencia del

sistema propuesto y se colaborará para el diseño de la planeación directiva, talleres de mejora y proceso de evaluación y profundización del cambio.

Trabajo a futuro

El propietario de la empresa quesera requiere la adecuación de la distribución de equipos y materiales acorde al flujo del proceso y capacitar al personal en el uso de la prensa fabricada para el 2024.

Conclusiones

La eficiencia en el proceso productivo del queso de poro es de gran importancia debido que es un alimento artesanal que tiene una larga tradición cultural y es una parte significativa de la identidad y patrimonio de la Región de los Ríos del estado de Tabasco, México [4]. Hoy en día, hablar de productividad es generar más con menos recursos, optimizándolos para reducir los desperdicios implícitos en el proceso. Lo anterior, dio pauta a diseñar una prensa para la producción de quesos de poro; algo que a la fecha no se había logrado debido a la incertidumbre de perder la textura y sabor que los distingue por el método artesanal empleado.

Seis sigma y Triz al combinarse incentivan la creatividad, porque ayudan de forma sistemática a pensar y desarrollar nuevas ideas, ya sea para mejorar un proceso, lograr un objetivo, diseñar un nuevo producto o proceso o rediseñar algo que no funciona bien [3], en este caso, hacer uso de materiales distintos y simplificación del equipo de prensado con base tecnológica haciendo una optimización geométrica y automatizándola para precisar la presión y ligerar el peso del equipo, lo que permitirá evitar movimientos innecesarios al personal por la acción repetitiva del proceso, mejorar las condiciones ergonómicas y reducir el tiempo del proceso. Sin duda alguna, toda organización debe impulsar la productividad a través del mejoramiento continuo y ser el instrumento sostenible, equitativo y poderoso para lograr el crecimiento económico, la seguridad alimentaria y las tradiciones culturales.

Agradecimientos

Al propietario de la Fábrica de quesos Bejucal®, el Ingeniero Emilio Castro Ehuan; por involucrarse en el desarrollo del proyecto de investigación y la disponibilidad de aplicar la propuesta dada.

Referencias

[1] B. D. Medianero, Productividad Total: Teoría y métodos de medición, Lima, Perú: Alfaomega, 2016.

[2] S. Furterer, Lean Six Sigma en el servicio: Aplicaciones y estudios de caso, Ciudad de México: Trillas, 2015.

[3] Ametriz, Entrenamiento en la metodología Triz, 2016.

[4] G. L. C. Blanco, J. A. L. Luna, C. N. González, H. M. Ortíz y V. R. Jiménez, «Proceso productivo de empresas queseras artesanales de la Región Ríos de Tabasco,» *Producción agropecuaria y desarrollo sostenible,* vol. 8, pp. 11-24, 2019.

[5] H. R. Sampieri, C. C. Fernández y L. P. Baptista, Metodología de la investigación, Ciudad de México: McGraw Hill, 2014.

[6] H. C. Oviedo y A. A. Campos, «Aproximación al uso del coeficiente alfa de cronbach,» *Scielo-Revista Colombiana,* 2005.

[7] P. H. Gutiérrez y S. R. De la Vara, Control Estadístico y Seis Sigma, 3ra ed., A. L. Delgado, Ed., Ciudad de México: McGraw-Hill, 2013.

[8] P. H. Gutiérrez, Calidad y Productividad, 5ta ed., Ciudad de México: McGrawHill, 2020.

[9] L. J. A. Franco, G. J. A. Uribe y V. S. Agudelo, «Factores clave en la evaluación de la productividad: estudio de caso,» *Revista CEA,* vol. 7, nº 15, 2021.

[10] C. C. A. Mejía, «Planning Consultores Gerenciales,» *Indicadores de efectividad y eficacia,* 1998.

[11] L. Socconini y C. Reato, Lean Six Sigma: Sistema de gestión para liderar empresas, Ciudad de México: Alfaomega, 2019.

[12] L. Socconini, Certificación Lean Six Sigma Yellow Belt para la excelencia en los negocios, Barcelona, España: Alfaomega, 2016.

[13] P. A. Torres, 76 soluciones estándar, 1 ed., Ciudad de México: Alebrixe, 2011.

[14] M. E. Paredes, H. R. Monroy, D. J. F. Chavéz, H. F. Guevara, E. E. Castro y C. J. M. Saldivar, «Análisis de costos en la producción de quesos artesanales. Estudio de caso: Queseria Bejucal,» *Revista Iberoamericana y cambio climático,* vol. 5, nº 10, pp. 1222-1238, 2019.

[15] M. G. G. Ramírez, M. D. E. Magaña y L. R. N. Ojeda, «Productividad, aspectos que benefician a la organización. Revisión sistemática de la producción científica,» *Trascender, contabilidad y gestión,* vol. 7, nº 20, 2022.

[16] J. Turrubiano, «Métodolofía Triz para la creatividad e innovación,» *Ernst and Young,* p. 43, 2013.

ISSN: 2007 8102

Propuesta de un programa de seguridad e higiene laboral en la construcción comercial.

E. I. Caldelas González[1], O. G. Barajas Castañeda[2], O. Pérez arellano[3], M. L. Hernández Lagunes[4],
[1] Académico de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias Navales, Región Veracruz. elcaldelas@uv.mx
[2] Estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias Navales, Región Veracruz. zs18001563@estudiantes.uv.mx
[3] Académico Del Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México; Instituto Tecnológico de Veracruz, Calz. Miguel Ángel de Quevedo 2779 Col. Formando Hogar C.P. 91897, Veracruz, Veracruz. México. ospear@hotmail.com
*[4] Académico de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias Navales, Región Veracruz. *monhernandez@uv.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Industrial*

Resumen

El sector de la construcción en México enfrenta un preocupante alto índice de siniestralidad debido a accidentes y enfermedades laborales debido a caídas de alturas, lo que resulta en lesiones graves e incluso la pérdida de vidas. Para abordar este problema, se propone un programa de seguridad e higiene laboral enfocado en el trabajo de alturas que ocurren en el sector de la construcción de edificación comercial. Se utilizó la metodología del ciclo PHVA para establecer un enfoque de mejora continua, integrando la metodología ágil a través del tablero Kanban. Los resultados de la investigación permitieron identificar que las claves del éxito para consolidar una cultura de seguridad es precisamente la responsabilidad compartida, una correcta gestión de la actividad preventiva, fomentar el autocuidado, implementar estrategias de capacitación adecuadas a las necesidades de los trabajadores, la participación del trabajador y la comunicación efectiva entre mandos intermedios y el trabajador.

***Palabras clave**: Construcción, seguridad, accidentes, prevención.*

Abstract

The construction sector in Mexico faces a worrying high casualty rate due to accidents and occupational diseases due to falls from heights, resulting in serious injuries and even loss of life. To address this problem, we propose a program of occupational safety and health focused on the work of heights that occur in the commercial construction sector. The PHVA methodology was used to establish a continuous improvement approach, integrating the agile methodology through Kanban. The results of the research made it possible to identify that the keys to success in consolidating a safety culture are precisely shared responsibility, proper management of preventive activity, encouraging self-care, implement training strategies appropriate to the needs of workers, worker participation and effective communication between middle management and the worker.

***Key words**: Construction, safety, accidents, prevention.*

Introducción

La industria de la construcción en México es uno de los principales sectores económicos con una aportación de 7% al PIB nacional [1] que genera una amplia demanda de mano de obra. Se encuentran consideradas en el sector 23 del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN), la cual incluye tres subsectores: edificación, construcción de obras de ingeniería civil y realización de trabajos especializados de construcción.[2]

El IMSS señala que la industria de la construcción reportó durante el 2018 la mayor cantidad de accidentes de trabajo con 42 mil 786 casos, mientras que la tasa de enfermedades laborales fue de 1 mil 08 casos. Por lo tanto, es considerado uno de los sectores más peligrosos con mayores índices de siniestralidad a nivel nacional,

ISSN: 2007 8102

ubicándose desde el 2018 en la cuarta actividad económica que más accidentes de trabajo reporta al IMSS, superado por la industria de la transformación, comercio, servicios para empresas, personas y el hogar.[3]

Debido a los proyectos de construcción masiva y a los sistemas de gestión de seguridad deficientes, los incidentes y accidentes continúan ocurriendo con frecuencia en la industria de la construcción. En el contexto de la construcción de edificación comercial, se construyen edificios de gran magnitud, por lo tanto, los trabajos en alturas son especialmente comunes y representan un desafío importante en términos de seguridad laboral. El subsector de edificación contribuye en gran parte a los índices de siniestralidad. El IMSS señala que 33 mil 136[4] registros de accidentes laborales están relacionados con proyectos de obras de construcción de edificios, mientras que del tipo comercial presentó 126 avisos de accidentes en 2022 [5]

En México, el principal riesgo laboral que enfrentan los trabajadores en la construcción de edificaciones son las caídas a distintos niveles. En 2019, la STPS registró un total de 19 mil 201 casos, mientras que el IMSS registro 3 mil 13 accidentes por caída por parte de albañiles, mamposteros y afines.[6]. Entre los tipos de caídas más comunes se encuentran caída en o desde un andamio, escaleras manuales, por deslizamiento y tropezón. La caída desde distintos niveles son la causa principal de muerte en accidentes de construcción, con una frecuencia de 3 mil 13 casos registrados en el IMSS. [7]

La STPS registró en 2022 un índice de 1 mil 289 casos de actos inseguros en andamios y escaleras [8], demostrando que la mayoría de los altos índices de accidentes laborales en el trabajo de altura son causados por exceso de confianza, no usar adecuadamente el equipo de protección, por negligencia y otras por imprudencia del trabajador, que, al querer desafiar las leyes de la gravedad, no poseer el entrenamiento adecuado de trabajo en alturas y no usar el equipo de protección contra caída; generan accidentes con fatalidad. [9]

Asimismo, la caída en altura puede ocasionarse por la mala condición física del trabajador (vértigo o mareo) o debido a la falta de equipo de protección y suelo en malas condiciones. En la mayoría de las construcciones de edificaciones, los accidentes en alturas son causadas por “un origen de errores humanos, por falta de capacitación y el uso de la normatividad inadecuada que ocasionan estos problemas de accidentes”. [10] El 60% de los accidentes son de obreros o ayudantes en andamios, y más del 70% de los trabajadores que sufren caídas fallecen debido al impacto. [11]

La prevención de riesgos laborales en la construcción de edificaciones debe estar enfocada en estrategias de capacitaciones con temas variados y actualizados, de situaciones que se pueden dar en obra o en la comunidad para concientizar al personal de los riesgos. Además, es importante que los trabajadores sientan un compromiso real por parte de la empresa con su seguridad.[12]

Por lo tanto, las estrategias de formación y capacitación en trabajos en alturas deben ser de acuerdo con las características de los trabajadores, debido a que reciben entrenamientos poco prácticos que no logran comprender, poniendo en riesgo la seguridad de los trabajadores por desconocimiento de los procedimientos para utilizar sistemas de protección personal. No tienen un proceso de formación adecuado para que reciban la información de manera efectiva sobre autocuidado, las actividades de prevención, y control en actividades de trabajo en altura. [13]

Metodología

El enfoque metodológico a través del cual se desarrolló la investigación pertenece al tipo exploratorio de naturaleza descriptiva y documental, a razón de que busca identificar los riesgos laborales relacionados al trabajo en alturas para desarrollar estrategias para la prevención de accidentes y enfermedades laborales, de esta forma, lograr concientizar sobre el autocuidado en el personal operativo de la construcción de edificaciones comerciales.

En primera instancia, se realiza una revisión exhaustiva de la literatura especializada, consultando libros y publicaciones referentes a la seguridad e higiene laboral. A continuación, se procede a la exploración de repositorios multidisciplinarios de divulgación científica, como Scielo, Redalyc y Dialnet, que abarca un periodo de estudio comprendido entre los años 2018 y 2023. Se utilizan palabras clave relevantes, como seguridad, construcción y trabajo en alturas, para realizar la búsqueda de información pertinente. Con el fin de ampliar la revisión bibliográfica para obtener una comprensión más completa y contextualizada de las investigaciones

previas relacionadas con programas de seguridad e higiene en el sector de la construcción de edificaciones, se ha incluido referencias internacionales provenientes de Colombia y Perú.

En cuanto a la obtención de datos estadísticos, se recurre al Sistema de Información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), para consultar los indicadores pertinentes relacionados con la industria de la construcción. Estos datos proporcionan información relevante para comprender la situación actual de esta industria. Adicionalmente, los datos utilizados en relación con los accidentes de trabajo en la industria de la construcción se obtienen de la Secretaría del Trabajo y Prevención Social (STPS). Se recopilan el número de accidentes, tasa de defunciones y el año en que ocurrieron, tanto en el sector en general como en el subsector de edificación comercial. Asimismo, se investigan las enfermedades profesionales y los casos de accidentes de trabajo reconocidos por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) durante el periodo comprendido entre los años 2018 y 2021, con la intención de tener una visión más precisa de la situación de seguridad en el trabajo en el sector de la construcción.

Resultados y discusión

Programa de seguridad e higiene laboral en el sector de la construcción comercial enfocado al trabajo en alturas

De acuerdo con los factores causantes de accidentes y enfermedades laborales en el trabajo en alturas de la industria de construcción de edificaciones comerciales, se formuló como propuesta un programa de seguridad e higiene. La Tabla 1 presenta la estructura del programa aplicando la metodología del ciclo de PHVA, con la intención de garantizar un entorno seguro para los trabajadores de alturas y crear una cultura de seguridad.

Tabla 1. Programa de seguridad e higiene propuesto en base con la metodología de Ciclo PHVA. Adaptado de [14]

Fase	Descripción
Planificar	Política
	Alcance
	Objetivo
	Responsabilidades
	Indicadores
	Análisis de riesgos
	Campaña de concientización y sensibilización
	Evaluaciones médicas
	Programa de capacitaciones
	Plan de respuesta ante emergencias
	Procedimiento de Trabajo seguro en alturas
	Equipo de EPP
Hacer	Implementar capacitación al personal objetivo
	Implementar actividades preventivas y evaluaciones médicas
Verificar	Inspecciones internas
	Auditoría
	Investigación de accidentes e incidentes
	Evaluación de indicadores
Actuar	Analizar resultados
	Tomar acciones correctivas

Fase: Planificar

La fase inicial es de suma importancia, ya que sienta las bases para la creación del programa de seguridad e higiene. Durante esta etapa de Planificación, se desarrollaron las estrategias y acciones necesarias para dar

cumplimiento a los indicadores establecidos, a los cuales se les asigna un responsable de su seguimiento. En la Tabla 2 se pueden observar los indicadores determinados, los cuales fueron establecidos con el objetivo de evaluar el grado de cumplimiento del programa de seguridad, fijando una meta del 90% para el logro pleno del mismo.

Establecer una meta del 90% impulsa la mejora continua, es decir, si se estableciera una meta baja, no se motivaría a buscar formas de mejorar la seguridad. Debido a que el trabajo en alturas es de alto riesgo, es necesario establecer un alto estándar de seguridad para proteger la vida y la salud de los trabajadores correctamente. Por otro lado, una meta desafiante obliga a revisar constantemente las prácticas y procedimientos para alcanzarla y demuestra un compromiso inquebrantable con la seguridad de quienes realizan estas tareas.

Tabla 2. Indicadores para la evaluación de cumplimiento del programa de seguridad e higiene propuesto. Adaptado de [15]

Indicadores de evaluación				
Descripción	Meta	Objetivo	Responsable	Evaluación
Índice de cumplimiento del programa de seguridad e higiene.	90%	Alcanzar el 90% del cumplimiento del programa de seguridad e higiene en los próximos 12 meses.	Coordinador de seguridad e higiene	Anual
Índice de capacitación en seguridad	100%	Capacitar al 100% de los trabajadores en temas de seguridad en alturas y uso de EPP. (Personal operativo y brigadistas) en un plazo de 6 meses.	Coordinador de seguridad e higiene/ R.H	Semestral
	100%	Capacitar al 100% a la Comisión de seguridad e higiene en un plazo de 3 meses de acuerdo.	Coordinador de seguridad e higiene/ R.H	Trimestral
Índice de inspecciones de seguridad	90%	Alcanzar un índice del 90% de inspecciones de seguridad en las zonas de trabajo en alturas	Supervisor de área	Mensual
	80%	Alcanzar el 80% de participación de trabajadores en inspecciones en zonas de trabajo en alturas	Supervisor de área /CSH	Trimestral
	95%	Alcanzar el 95% de cumplimiento normativo en trabajo en alturas durante las inspecciones.	Coordinador de seguridad e higiene	Semestral
	90%	Mantener un 90% de equipos de seguridad para trabajos en alturas en óptimas condiciones.	Supervisor de área	Mensual
Índice reducción de accidentes e incidentes en trabajos en alturas	20%	Reducir la frecuencia de accidentes e incidentes relacionados con trabajos en alturas en al menos 20%.	Coordinador de seguridad e higiene	Trimestral
Índice de participación en actividades preventivas	75%	Alcanzar un 75% de participación en programas y actividades de seguridad relacionados con trabajos en alturas.	Coordinador de seguridad e higiene /R.H	Semestral
Tasa de Reportes de Seguridad	30%	Aumentar 30% en reporte de riesgos a través de la promoción de una cultura de comunicación efectiva y colaborativa sobre riesgos en alturas.	Supervisor de área	Semestral
Índice de participación en simulacros programados	85%	Alcanzar una participación del 85% de los trabajadores (operativo, supervisor, brigadistas) en simulacros de evacuación y rescate.	Coordinador de seguridad e higiene	Bimestral

 ISSN: 2007 8102

	90%	Alcanzar el 90% del cumplimiento de los simulacros programados.	Coordinador de seguridad e higiene	Bimestral
Índice de reducción de enfermedades ocupacionales	90%	Alcanzar un 90% del cumplimiento del plan de prevención de salud ocupacional.	CSH/Coordinador de seguridad e higiene e R.H	Semestral
	85%	Alcanzar un 85% de participación en el plan de prevención de salud ocupacional.	CSH/Coordinador de seguridad e higiene R.H	Semestral
Índice de uso adecuado del EPP	90%	Alcanzar el 90% del uso correcto del EPP	Supervisor de área	Mensual
Índice de inspecciones por Comisión de seguridad e higiene	90%	Alcanzar el 90% de inspecciones por la Comisión de seguridad e higiene en zona de trabajos en alturas.	CSH	Mensual

De igual forma, se establecieron las medidas de seguridad para el trabajo seguro en alturas de acuerdo con lo requerido en la NOM-009-STPS-2011, en donde se establecen los elementos de protección personal, como son los sistemas de restricción, para interrumpir caídas de altura, sistemas de posicionamiento y ascenso/descenso controlado y los tipos de líneas de vida. Además, se determinan las medidas generales, componentes, instalación y mantenimiento de los medios de elevación como son: el andamio tipo torre, andamio suspendido, plataforma de elevación y escaleras de mano.

Por lo tanto, se desarrolló un programa de capacitación enfocado al reentrenamiento del personal operativo y supervisor de área del sector de la construcción de edificaciones comerciales. En la Tabla 3 se puede observar de manera general la estructura del temario de capacitaciones propuesto 4 Módulos, una evaluación diagnostica y una evaluación final. Se compone con un 60% prácticas y 40% teórico, los cuales son diseñados con actividades conforme a las necesidades de aprendizaje de los trabajadores, incluyendo actividades didácticas y estudio de casos prácticos.

Tabla 3. Programa de capacitaciones para trabajo seguro en alturas. Adaptado de [16]

Capacitación para trabajo seguro en alturas				
Modulo	Tema	Público objetivo	Duración	Medida de evaluación
Diagnóstico inicial sobre conocimientos de procedimientos seguros.		Personal operativo	1 hora	Evaluación inicial
Introducción	Conceptos básicos de trabajo en alturas	Personal operativo/ Supervisor de área	1 hora	Examen escrito
	Responsabilidades patrón-operador		1 hora	
	Manejo de cargas en alturas	Personal operativo	1 hora	
	Señalización	Personal operativo/ supervisor de área	1 hora	
	Práctica		2 horas	Evaluación práctica
Evaluación de riesgos	Identificación de riesgos en altura	Personal operativo	1 hora	Examen escrito
	Condiciones y actos inseguros	Personal operativo/Supervisor de área	1 hora	
	Práctica		2 horas	Evaluación práctica
Equipos de Protección Personal (EPP) y Sistemas de Protección	Equipo de protección personal	Personal operativo	1 horas	Examen escrito
	Sistemas para protección en trabajos en alturas	Personal operativo	1 horas	
	Medios de elevación	Personal operativo	1 horas	
	Técnicas de desplazamiento en alturas	Personal operativo	1 horas	

 ISSN: 2007 8102

	Práctica I: Equipo protección para trabajos en alturas	Personal operativo	2 horas	Evaluación práctica
	Práctica II: Simulación	Personal operativo	3 horas	
Técnica de rescate	Plan de respuesta ante emergencias	Personal operativo/Brigadistas	1 hora	Evaluación práctica|
	Práctica de rescate		2 horas	
	Práctica de autorescate		2 horas	
Evaluación final		Personal operativo	1 hora	Evaluación escrita y práctica

Dentro del programa de capacitación también se incluye la formación de la Comisión de seguridad e higiene, ya que es necesario que conozcan cuáles son sus responsabilidades y las funciones que desempeñan, debido a que se integran nuevos miembros deben ser capacitados de acuerdo con la NOM-019-STPS-2011. De igual forma, los brigadistas deben ser capacitados en técnicas de rescate de caídas en alturas.

Entre las estrategias para fomentar la cultura de seguridad en los trabajadores de la construcción de edificaciones, se diseñó una campaña de concientización y sensibilización para el trabajo seguro en alturas, compuesta por conferencias realizadas por expertos en seguridad e higiene, en la que a través de exposición de casos reales se planea exhortar a la comunidad laboral para adoptar medidas de seguridad, mientras que la participación en talleres permitirá sensibilizar con respecto a los riesgos laborales que se presentan en trabajos en alturas y aprender hábitos saludables y seguros mediante dinámicas de colaboración.

Asimismo, en esta misma fase, se planifico un plan para la prevención de riesgos ergonómicos. Se compone de evaluaciones de trastornos musculoesqueléticos, debido a que es la principal causa de enfermedades laborales en el sector de la construcción causada por manejo de herramientas y mantener una misma posición incomoda por un largo tiempo. También, se incluye evaluaciones médicas auditivas porque estar expuesto a un constante ruido alto deriva en padecimientos relacionados con el oído debido al ruido de las máquinas y herramientas.

Fase: Hacer

La segunda fase corresponde a la ejecución del trabajo, es cuando se implementan las estrategias preventivas definidas en la etapa de planificación, esto incluye la instalación de equipos de seguridad, la capacitación del personal en protocolos de seguridad y la ejecución de procedimientos de emergencia. Estas estrategias se despliegan siguiendo un cronograma detallado, que actúa como un mapa que guía la ejecución de acciones preventivas de manera sistemática.

En esta misma fase, se introduce la herramienta del tablero Kanban a través de una herramienta digital, que desempeña un papel fundamental en la supervisión y seguimiento de las actividades del programa de seguridad e higiene. Este tablero visual brinda una representación clara y concisa de las tareas en curso, permitiendo al equipo mantener un control constante sobre las acciones implementadas. Es una parte crucial para la gestión del programa, debido a que su impacto radica en la implementación efectiva de medidas de seguridad, la supervisión constante, el registro de datos y la comunicación adecuada, lo que contribuye a la mejora continua de la seguridad y la higiene en el lugar de trabajo.

Fase: Verificar

En la fase del Ciclo PHVA corresponde a la verificación y análisis de los datos relevantes para medir la efectividad de las estrategias y acciones implementadas en las fases anteriores. La revisión exhaustiva de estos datos permite identificar tendencias, patrones y posibles áreas de mejora. Durante esta fase, se lleva a cabo el cronograma de inspecciones internas, el cual se dividen de la siguiente manera: Inspección de uso y condiciones de EPP, Inspección de sistemas de protección para trabajos en alturas, Inspección de instalaciones, Inspección de equipo para alturas (andamios, plataformas de elevación y escaleras de mano) e Inspección de herramientas. Asimismo, se incluyen las inspecciones diarias realizadas por el supervisor de área y los brigadistas, que permiten evaluar la efectividad de las capacitaciones y las actividades preventivas planificadas.

De igual forma, los recorridos de verificación o inspección realizados por la comisión de seguridad e higiene permiten conocer condiciones inseguras o peligrosas, así como actos inseguros, y vigilar el cumplimiento de las

 ISSN: 2007 8102

normas de seguridad. Se recopilan estos hallazgos en un formato, para proceder a investigar las causas de los accidentes y enfermedades laborales en el trabajo en alturas. En última instancia se evalúan los indicadores, para analizar el nivel de progreso que se alcanzó con el programa de seguridad e higiene propuesto.

Es esencial recopilar información detallada sobre cada accidente, incluyendo la naturaleza de la lesión, la ubicación, la fecha y hora, la causa raíz y otras variables relevantes. Luego, utilizan herramientas estadísticas para analizar estos datos, como el cálculo de tasas de frecuencia y gráficos de tendencias, de acuerdo como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis estadístico de los accidentes de trabajo. Adaptado de [17]

Índice de frecuencia	(No. Accidentes/No. Horas trabajadas) x10^6
Índice de gravedad	(No. De Jornadas perdidas por accidente/ No. Total de horas trabajadas) x 10^3
Índice de incidencia	(No. Total de accidentes/ No. Medio de personas expuestas) x 10^3
Índice de frecuencia de accidentes mortales	(No. Total de accidentes mortales/ No. Horas trabajadas) x 10^8
Índice de horas perdidas por accidente	(No. Horas perdidas/ No. Horas trabajadas) x 10^2
Tasa de riesgo	IG/ IF

También es indispensable la evaluación de costos-beneficios, de esta forma conocemos si las inversiones en seguridad e higiene están generando un retorno de inversión positivo. Se comparan los costos asociados con la implementación de medidas de seguridad con los beneficios obtenidos, como la reducción de accidentes y costos relacionados. Si los beneficios superan los costos, se considera un éxito.

Fase: Actuar

Durante la última fase Actuar, se analizan los resultados obtenidos del rendimiento del programa de seguridad e higiene con la dirección general, para identificar las áreas para mejorar. Se toman acciones correctivas para ajustar el programa de seguridad e higiene al detectar incumplimientos o problema, logrando implementar la mejora continua. Mediante la revisión constante de los procedimientos y la identificación de posibles deficiencias, se pueden tomar medidas preventivas y correctivas antes de que ocurran incidentes graves. Además, el enfoque en la mejora continua garantiza el cumplimiento de las regulaciones cambiantes y rigurosas que rigen los trabajos en alturas. Mantenerse al día con las normativas legales es esencial para evitar sanciones y multas que podrían afectar negativamente la empresa. Cumplir con estos estándares demuestra el compromiso de la organización con la seguridad y protege su reputación.

Para medir el impacto de las acciones tomadas y determinar si están produciendo los resultados deseados, se realizan encuestas anónimas para obtener retroalimentación del personal sobre su percepción de la seguridad e higiene en el lugar de trabajo. Los empleados responden preguntas sobre su satisfacción con las medidas de seguridad, si se sienten seguros y si creen que se están tomando las medidas adecuadas. Las respuestas ayudan a identificar áreas de mejora. Es importante comunicar los resultados del programa a todas las partes interesadas, incluyendo la alta dirección y los empleados, y destacar los logros y mejoras alcanzados.

Integrar la metodología ágil a través del tablero Kanban en el ciclo PHVA

Para la integración de la metodología ágil se decidió establecer la implementación de un tablero Kanban mediante una herramienta digital. Se diseñaron dos tableros Kanban, uno para la fase de Hacer y otro para la fase Verificar, compuesto por cuatro columnas cada una: Pendiente, En progreso, Verificación y Completado. También, se estableció el límite WIP del tablero Kanban a una cantidad máxima de tres elementos de trabajo en cada etapa, para permitir identificar si existe algún retraso en el proceso de implementación del programa de seguridad.

En la Figura 1 se observa el diseño del tablero Kanban para la fase de Hacer. Se agruparon por colores las actividades que se relacionaban, por lo que se le asigno etiquetas azules a las tareas que componen el programa de capacitaciones, y etiquetas verdes a la campaña de sensibilización y concientización de trabajo seguro en alturas.

 ISSN: 2007 8102

Para marcar como completado una tarea debe cumplir con ciertos criterios. En el caso de los relacionados con las capacitaciones, se empieza con la comunicación del programa a los trabajadores para después iniciar con una evaluación inicial de los procedimientos y normas de seguridad relacionados con su puesto de trabajo. Una vez iniciada la capacitación se debe marcar en la check list, y cuando terminen las sesiones se recolectan las listas de asistencias para evaluar el porcentaje de participación de los trabajadores.

Para que cualquier tarea sea asignada como Completada, el coordinador de seguridad e higiene debe verificar y aprobar que el último paso se halla realizado correctamente, es decir, la documentación de evidencia, de lo contrario no se procede a la columna final, debido a que este procedimiento es primordial como evidencia de que se cumple con los requisitos legales con las normas de seguridad en una auditoría externa.

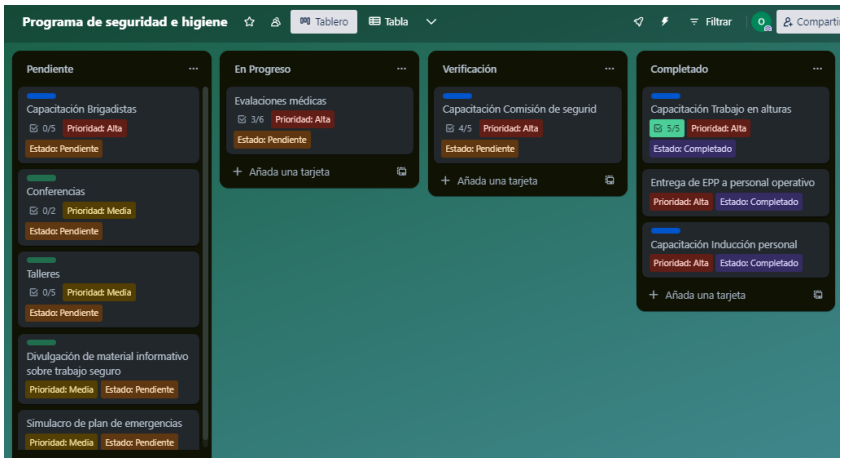


Figura 1. Tablero Kanban para la fase Hacer del Ciclo de Deming propuesto simulado con la herramienta digital Trello. Adaptado de [18].

El diseño del tablero Kanban para la fase Verificar se observa en la Figura 2, el cual es estructurado de la misma forma que el anterior con cuatro columnas. En esta fase se identifican con etiqueta morada las tareas que constituyen las inspecciones programadas, como son las inspecciones a instalaciones, equipo de EPP y sistemas de seguridad, inspección por dirección general y el recorrido de la Comisión de seguridad e higiene. Las dos primeas inspecciones antes mencionadas, deben cumplir con la check list donde se registra mensualmente que se llevo a cabo y se evidencia con el anexo de los formatos de inspección.

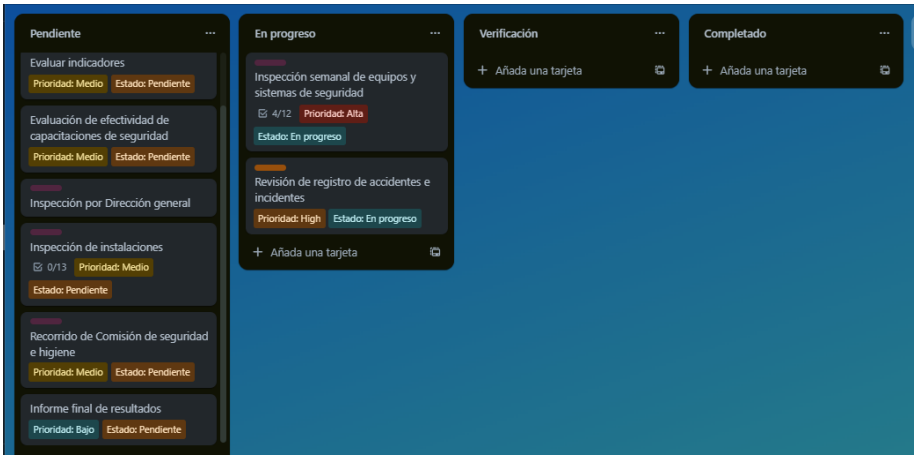


Figura 2. Tablero Kanban para la fase Verificar del Ciclo de Deming propuesto simulado con la herramienta digital Trello. Adaptado de [19].

En el caso del registro de investigación de accidentes e incidentes, su dinámica funciona por demanda. En la columna de pendientes se procesan todas las solicitudes de investigación de accidentes e incidentes que son de prioridad. Las solicitudes de mayor prioridad se pasan a la siguiente fase y es evaluado por el coordinador de seguridad y el personal involucrado, y una vez que se cumplen con los criterios, se verifica y al terminar, se cambia al estado final de completado. Para este procedimiento se debe anexar los formatos requeridos para su evidencia y documentación.

Analizar el rendimiento del tablero Kanban es indispensable para asegurar la eficiencia y el cumplimiento de objetivos, por lo tanto, los informes y métricas son herramientas clave en este proceso, ya que ofrecen información valiosa para identificar áreas de mejora. En este sentido, es esencial detectar las brechas de rendimiento, es decir, comparar los datos recopilados con los objetivos establecidos, de esta forma, se identifica las áreas donde el rendimiento del tablero Kanban no cumple con los objetivos. La clave radica en identificar cualquier discrepancia significativa entre los resultados anticipados y los resultados reales obtenidos a través del sistema Kanban, lo que proporciona una valiosa visión sobre los posibles cuellos de botella, ineficiencias o desviaciones que pueden estar afectando el desempeño general. Una vez que se hayan identificado se debe priorizar la implementación de acciones concretas destinadas a mejorar el rendimiento. Esto podría implicar ajustes en el proceso de trabajo, redistribución de tareas o incluso la capacitación del equipo para abordar áreas problemáticas específicas.

Discusión

El resultado de la investigación muestra que la causa principal de accidentes son las caídas desde alturas, este dato se relaciona con los registrados con el IMSS, en el cual indica un índice alto de casos en el sector de la construcción. Entre las principales causas se encuentran el exceso de confianza del trabajador, lo que conlleva que no use el EPP, lo que deriva de tener la falsa percepción de que están exentos a cualquier riesgo porque tienen experiencia en su trabajo, sin embargo, este comportamiento antecede a un incumplimiento de una norma de seguridad que genera un peligro innecesario tanto para el trabajador experimentado como para el resto de los trabajadores.

Por lo tanto, las estrategias propuestas como talleres de autocuidado y prevención de riesgos ergonómicos, así como dinámicas de sensibilización de accidentes de trabajo donde se fomenta el trabajo en equipo y la resolución de casos prácticos de situaciones reales de accidentes en el área de trabajo con la finalidad de sensibilizar la percepción de riesgos laborales, lo que permite cambiar el comportamiento y mentalidad con respecto a la situación de peligro en la que se exponen. Por lo anterior, es importante resaltar que el comportamiento de los trabajadores es crucial en la prevención de accidentes y en la mejora de la seguridad laboral, debido a que ellos se encuentran expuestos a los riesgos inherentes de su labor, es decir, pueden identificar inquietudes relacionadas las condiciones peligrosas o deficiencias en el programa que puedan desencadenar en accidentes.

Además, se encontró que la capacitación adecuada de los trabajadores es fundamental para garantizar un ambiente laboral seguro. Los trabajadores deben estar bien entrenados en el uso de equipos de protección personal y en las técnicas seguras para realizar trabajos en alturas. También se destacó la importancia del cumplimiento de las normativas de seguridad y la supervisión constante para garantizar que se sigan las prácticas seguras en el sitio de construcción.

La integración del tablero Kanban se decidió implementar durante la segunda y tercera fase del ciclo PHVA debido a que la visualización clara y transparente de las tareas ha permitido una mejor gestión y coordinación de las actividades de seguridad en trabajos de altura. Al proporcionar una visualización clara del flujo de trabajo de las comisiones de seguridad e higiene, ayuda a identificar la priorización y asignación de las tareas, fomentando la responsabilidad y el cumplimiento de los plazos establecidos. Además, esta metodología facilita la mejora continua del programa al permitir identificar oportunidades de mejora y tomar medidas correctivas de manera oportuna, contribuyendo al enfoque proactivo.

Trabajo a futuro

El análisis de los actos inseguros en el trabajo en alturas representa un enfoque importante en los programas de seguridad e higiene en la construcción de edificaciones comerciales. Aunque se han realizado avances significativos en la identificación de riesgos de seguridad en el subsector de edificaciones, es fundamental

continuar con investigaciones más exhaustivas en los actos inseguros para reducir los accidentes y mejorar la cultura de seguridad en el trabajo en alturas. Además, se requiere el desarrollo de estudios y análisis en el sector de la construcción comercial en México, debido a que el tipo de proyectos constructivos que más realizan, sin embargo, no existe una gran cantidad de investigación en materia de seguridad e higiene.

Uno de los caminos que se pueden explorar para el futuro, es la integración de la metodología ágil con el ciclo PHVA en los programas de seguridad e higiene ya que es un campo emergente y prometedor que requiere ser más estudiado por parte de la comunidad de seguridad y salud en el trabajo. A pesar de los beneficios que puede aportar el conjunto de estas metodologías, lo cierto es que aún quedan muchos desafíos por delante. Las áreas clave que se requieren trabajo es en el estudio de casos que examinen como se puede adaptar la metodología Kanban al ciclo PHVA en el área de seguridad e higiene, específicamente en la industria de la construcción, de esta manera de podría aportar evidencia empírica de los beneficios, desafíos y buenas prácticas para guiar la implementación efectiva.

Conclusiones

La propuesta del programa de seguridad e higiene para trabajos en alturas en la construcción de edificaciones comerciales, basado en el ciclo PHVA e integrando el tablero Kanban es una estrategia efectiva para prevenir accidentes y proteger a los trabajadores. La planificación cuidadosa, la capacitación adecuada y la supervisión continua contribuyen significativamente a reducir los riesgos y prevenir accidentes, creando un ambiente de trabajo más seguro y saludable, enfocado no solamente a un requerimiento legal, sino que muestra un verdadero compromiso por el bienestar de los trabajadores.

La mejora continua y la adaptación a las condiciones cambiantes del sitio de construcción son esenciales para mantener la eficacia del programa, por lo tanto, la adopción del ciclo PHVA junto con la metodología ágil permiten una gestión más dinámica y efectiva del programa de seguridad e higiene para trabajos en alturas en la construcción de edificaciones comerciales. La metodología ágil, conocida por su flexibilidad y enfoque iterativo, se complementa perfectamente con el ciclo PHVA, ya que ambos tienen como objetivo principal la mejora continua y la adaptación constante.

Referencias

[1] J. Quiroz Zamora, “Análisis del Sector Construcción”, Grupo Financiero Monex, 2020.
[2] INEGI, “Indicadores de empresas constructoras”, 2023.
[3] IMSS, “Memoria estadística 2018”, Capitulo VII Salud en el trabajo, 2019.
[4] IMSS, “Memoria estadística 2018”, Capitulo VII Salud en el trabajo, 2019.
[5] STPS, “Avisos de Accidentes de Trabajo registrados en la STPS”, Estadísticas del sector, 2022.
[6] IMSS, “Memoria estadística 2018”, Capitulo VII Salud en el trabajo, 2019.
[7] STPS, “Avisos de Accidentes de Trabajo registrados en la STPS”, Estadísticas del sector, 2022.
[8] STPS, “Avisos de Accidentes de Trabajo registrados en la STPS”, Estadísticas del sector, 2022.
[9] Zabaleta-Torres, R. P.-M.-M.-O. “Cumplimiento de los protocolos de trabajo seguro en alturas en la empresa MEXICHEN”, 2019
[10] G. Ustate Amaya. “Principales causas de accidentalidad del trabajo en alturas en empresas de construcción en Colombia”, Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías, 2020.
[11] G. Ustate Amaya. “Principales causas de accidentalidad del trabajo en alturas en empresas de construcción en Colombia”, Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías, 2020
[12] Ramos Reyes, A., & Roca Calderón, G. “propuesta de un plan de seguridad en el personal de construcción de una obra de edificación para disminuir riesgos laborales”, 2020
[13] Rozo Cruz, Y. “Formación para el Trabajador de alturas Analfabeta”, 2020
[14] Fuente propia.
[15] Fuente propia
[16] Fuente propia
[17] Fuente propia
[18] Fuente propia
[19] Fuente propia

 ISSN: 2007 8102

Evaluación ergonómica en panaderías artesanales mediante el cuestionario Quick Exposure Check (QEC) y el Diagrama de Corlett y Bishop (BPD)

G. Antonio Benito[1], B. Ávila Martínez[1], Y. Díaz Castillo[2], E. Franco Austria[1]*
[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale, División de Ingeniería Industrial, Km. 6.5. Carretera Tamazunchale – San Martín, C.P. 79987, San Luis Potosí, México
[2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale, División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Km. 6.5. Carretera Tamazunchale – San Martín, C.P. 79987, San Luis Potosí, México
Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

El presente trabajo de investigación hace referencia a la evaluación ergonómica de los trabajados en la industria panificadora artesanal en la zona sur del estado de San Luis Potosí, se tomaron como caso de estudio a doce grupos de panaderías de diversos municipios, se evalúan las posturas que realizan los operarios en el proceso de la elaboración de pan que pueden presentar un riesgo para la aparición de los Trastornos Músculo – Esqueléticos (TME) por esfuerzos físicos ejecutados. El método de evaluación ergonómica fue seleccionado en función del factor de riesgo identificado por los investigadores, siendo la postura y la repetitividad de las tareas amasado, cortado, diseño y horneado, los métodos empleados son QEC y BPD, de tipo cualitativo – cuantitativo por la ponderación con el que se interpretan, ambos métodos son aplicados antes y después de implementar las mejoras a fin de validar las acciones y fortalecerlas.

***Palabras clave**: Panaderías, TME, QEC, BPD*

Abstract

The present research work refers to the ergonomic evaluation of the workers in the artisan bakery industry in the southern zone of the state of San Luis Potosí, twelve groups of bakeries from various municipalities were taken as a case study, the positions that carried out by operators in the process of making bread that may present a risk for the appearance of Musculoskeletal Disorders (MSD) due to physical exertion. The ergonomic evaluation method was selected based on the risk factor identified by the researchers, being the posture and the repetitiveness of the tasks: kneading, cutting, design and baking, the methods used are QEC and BPD, accordingly. qualitative - quantitative type due to the weighting with which they are interpreted, both methods are applied before and after implementing the improvements in order to validate the actions and strengthen them.

***Key words**: Bakeries, TME, QEC, BPD*

Introducción

Existen actividades que requieren de cierta postura y esfuerzo ya que pueden representar riesgos ergonómicos ocasionados por la mala ejecución de tareas, afectando la integridad de las personas, estos riesgos están presentes en el ámbito laboral [1]. La ergonomía también se hace presente en el estudio de la adaptación de la sociedad al entorno, con el fin de evitar enfermedades o lesiones que podrían ser irreversibles en la salud del hombre [2]. Es de forma obligatoria para los responsables de los grupos de trabajo identificar peligros derivados de la presencia de elevados riesgos ergonómicos en los puestos de trabajo [3]. Asi pues en la presente investigación se aplican los métodos de evaluación ergonómica de las posturas [4] y la repetitividad de los movimientos [5] siendo factores de los TME.

El método QEC consiste en una evaluación rápida de la carga física en el puesto de trabajo basado en la utilización de un cuestionario en donde se requiere la participación del operario y del analista en la identificación de los riesgos presentes [6], el método se evalúa mediante dos categorías: segmentos corporales y otros factores, los segmentos corporales son: espalda B1-B2 (tipo de movimiento de la espalda), espalda B3-B5 (tareas prolongadas o levantamiento, transportes, empujes), hombro/brazo, mano/muñeca y cuello, la ponderación del 0

-20 bajo, 20 – 30 moderado y 30 en adelante alto riesgo ergonómico. La segunda categoría evalúa la conducción, vibración, ritmo de trabajo y estrés, la ponderación del 0 -3 bajo, 3 – 5 moderado y 5 en adelante alto riesgo ergonómico.

Un segundo método utilizado en el análisis es el Diagrama de Corlett y Bishop, el cual es un mapa corporal que divide el cuerpo en 24 segmentos [7]. Funciona como una prueba de confort basada en la inspección de las partes del cuerpo, dónde el trabajador localiza el lugar en que se manifiestan las molestias [8]. El método se evalúa mediante ponderaciones de los segmentos corporales los cuales son 0 ningún dolor, 0.5 dolor extremadamente ligero (apenas se nota), 1 dolor muy ligero, 2 dolor débil (ligero), 3 dolor moderado, 4 – 5 dolor fuerte (pesado), 6 – 7 dolor muy fuerte, 8 – 10 dolor extremadamente intenso (casi el máximo), 10 en adelante dolor máximo. Por otro lado, la industria panificadora mantiene tareas que implican riesgos ergonómicos los cuales pueden evaluarse mediante QEC y BPD ya que éstos recaban datos directamente de los operarios que realizan la tarea y son aplicables a un amplio rango de situaciones de trabajo [9], además permiten ser evaluadas y predecir la posible aparición de lesiones [10].

A propósito, en la zona sur del estado de San Luis Potosí existen empresas dedicadas a la elaboración de pan artesanal (nula tecnificación industrial) en las cuales se ejecutan diferentes actividades que implican un mayor esfuerzo, mantienen posturas inapropiadas por intervalos de tiempos largos, además de tener que ejercer fuerza y movimientos no recomendables para el cuerpo.

Metodología

Situación actual de las panaderías

El estudio se realizó en doce panaderías artesanales ubicados en la zona sur del estado de San Luis Potosí, cada panadería cuenta con un historial de producción que van desde los 10 años hasta los 30 años, poniendo a disposición un promedio de diez tipos de variedad de pan. La demanda semanal de producción varía debido a la temporada del año y al clima, según registros aproximadamente 2800 piezas son elaboradas semanalmente. Se manejan tres tipos de masa: masa para pan salado (pan tostado, granada, armadillo y rosca mestiza); masa para pan dulce: (pan armadillo, pan taco, pan rosca mestiza y chilindrina) y masa para pan de queso (pan liso y pan tipo conchas). Se visualizó que hay un promedio de seis trabajadores por panadería y cinco son mujeres, de acuerdo a entrevistas directas se sabe que los trabajadores presentan cansancio final de la jornada, con dolores de ligeros a fuertes en espalda, pies, manos y otras extremidades.

Análisis de la producción

El proceso de producción de pan comienza con la dosificación de los ingredientes (medir las cantidades de la materia prima) para ello se utilizan cucharas, tazas y básculas; posteriormente los materiales son transportados al área de amasado, en el cual sobre una mesa de madera se coloca la tina o recipiente de plástico en el que se realiza el mezclado de ingredientes (10 a 15 kg de masa). El amasado tiene una duración aproximada de 25 min a 60 min, en los cuales los trabajadores deben de ejercer fuerzas sobre la mezcla para que ésta vaya tomando una buena consistencia, una vez terminado el amasado, se coloca la masa en un espacio específico para su fermentado o bien, si la masa no lo requiere esta se lleva directamente al área de producción, en la cual se comienza con la división de la primera masa en cinco partes, esto con el fin de facilitar la siguiente actividad que es el moldeado, en el cual se utilizan herramientas como el rodillo y cuchillos, cabe mencionar que conforme se va moldeando, estas se van colocando en las charolas que con anterioridad deben de estar cubiertas de manteca, con el propósito de que al momento de ingresarlas al horno, no se peguen a la charola o se quemen. Posteriormente las charolas se colocan en espigueras o estantes para su correcto fermentado en un tiempo aproximado de 10 a 30 minutos, mientras que a la par de esta actividad se debe de encender el horno artesanal, el cual está hecho a base de piedra y de una mezcla entre lodo y zacate, el horno consume un apilamiento aproximadamente de 80 cm de diámetro de madera con cortes de 50 cm de largo y debe de estar encendido en un tiempo mínimo aproximado de 25 minutos y un máximo de 35 minutos.

Una vez transcurrido el tiempo de fermentado y el calentado del horno, se procede a comenzar con la cocción de los panes, la capacidad de los hornos varía desde 5 charolas hasta 9 charolas y son manipuladas por medio de una paleta, que es una herramienta hecha de madera ideal para ingresar y sacar las charolas del horno, el tiempo aproximado de cocción de los panes es de 2 a 5 minutos, los cuales una vez terminado pasan al área de reposo,

donde son colocados en estantes para su debido enfriado; el proceso termina con la colocación de los panes en canastillas de palma o bien en cajas de cartón, para su correcta transportación y entrega a los clientes.

Determinación de la tarea con mayor riesgo para el operario

A través del diagrama de flujo de proceso en combinación con los comentarios de los operadores mediante entrevistas se determinaron que las tareas repetitivas y/o más pesadas son el mezclado, horneado y boleado puesto que estas actividades implican que los operarios estén de pie y en posturas de trabajo no favorables. La pieza estrella en la producción de pan es la llamada “chilindrina” misma que para los trabajadores es más compleja producirla pues se debe de colocar una pasta previamente preparada sobre el molde, producir esta pieza genera ciclos repetitivos con tiempos prolongados y con una sola postura.

Aplicación de los métodos ergonómicos

Determinando los factores de riesgos ergonómicos presentes en los grupos de panaderías se procede a conocer el método ergonómico para conocer los riesgos. La evaluación de riesgos se realizó mediante la aplicación del método QEC, esto debido a que maneja información cuantitativa y cualitativa, lo que permite abarcar un mayor campo de aplicación y por ende mejores resultados, es importante tomar en cuenta que los cuestionarios aplicados a los operarios ya se encuentran establecidos, por lo cual los datos obtenidos facilitan su análisis para la aplicación de mejoras. La aplicación del método QEC se realizó mediante el siguiente procedimiento:

1. Diagnóstico y evaluación de riesgos ergonómicos por medio del método QEC, en las etapas de panificación con mayor grado de afectación sobre el operario, siguiendo los pasos: Seleccionar tareas; Presentación al trabajador; Cumplimiento cuestionario; Obtener puntuación QEC; Interpretar resultados; Propuestas de acciones y la Reevaluación.
2. Detección de Transtornos Músculo – Esqueléticos a través del diagrama de Corlett y Bishop, en el que los operarios señalaban la zona del cuerpo donde presentaban mayores dolores musculares.
3. Análisis de los datos obtenidos.

Otro método aplicado fue el BPD mediante el siguiente procedimiento:

1. Elaboración del material gráfico del BPD, capacitación previa a los operarios para el conocimiento del Diagrama y correcta ejecución.
2. Al finalizar el proceso de producción, se implementa el Diagrama de forma individual a cada operario.
3. Análisis de los datos obtenidos.

Implementación de mejoras

En la industria de la panadería se pueden presentar fatigas musculares debido a la frecuencia y duración de las actividades que se llevan a cabo, los principales riesgos ergonómicos en las panaderías incluyen desde la carga de objetos e ingredientes pesados, levantamientos frecuentes, movimientos repetitivos, giros, posturas incorrectas y mantenerse de pie por largos períodos de tiempo, a propósito [3] se afirma que trabajar durante varias horas en la misma posición causa una tensión que puede convertirse en un dolor crónico a largo plazo, es importante que el puesto de trabajo esté bien diseñado para evitar enfermedades relacionadas con las condiciones laborales deficientes, así como también asegurar que el trabajo sea productivo.

En esta investigación se diseñó, fabricó e implementó una mesa ergonómica (figura 1) para ayudar al operario de tal forma que pueda manipular fácilmente los materiales de trabajo, evitar malas posturas, mantenerse de pie por largos periodos de tiempo y a que sea más fácil el proceso de amasado. Además, se consideró que el espacio laboral tridimensional formado por el alcance del brazo, influenciado por la dirección del movimiento, la naturaleza de la tarea, la altura de trabajo y la ropa utilizada por el operador [11], la altura de trabajo para la tarea de amasado se clasifica como trabajo más exigente debido a que existe mayor aplicación de fuerzas por parte de las trabajadores, se recomienda una altura de la superficie de trabajo la cual deberá estar entre 20 y 40 cm por debajo del codo [12], se debe dejar un espacio de acción para las piernas que permita la libertad de movimiento de los pies, adelantar una pierna, poder doblar las rodillas hacia adelante [13], así como utilizar un apoya pie fijo o móvil para transferir el peso del cuerpo sobre una pierna (tabla 1).

 ISSN: 2007 8102

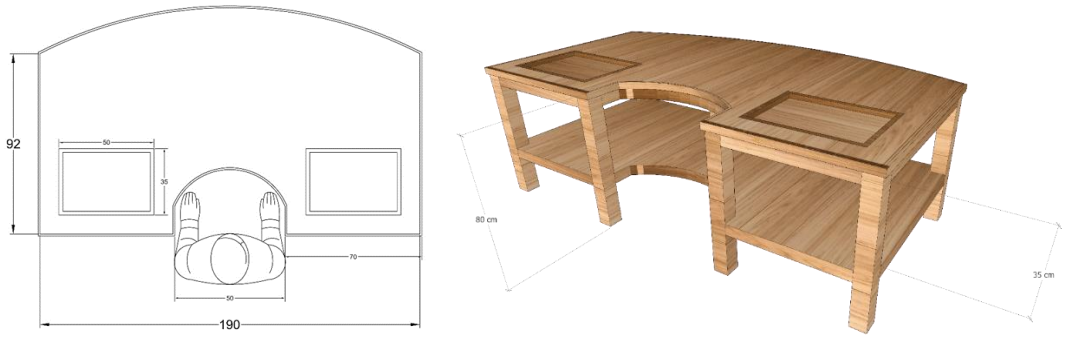


Figura 1. Mesa ergonómica de trabajo en plano 2D y 3D para panaderías a partir de percentiles.

Se implementó un tapete anti fatiga sobre el área de trabajo y en el proceso de horneado haciéndolo como un suelo alternativo, dirigido a mejorar la salud y seguridad de las personas que trabajan de pie o en contacto con el suelo de forma constante [14].

Se observó que hace falta una buena iluminación en el área de amasado y horneado ya que se contaba con focos incandescentes de pocos lúmenes, sin embargo, se sabe que la iluminación debe proporcionar precisamente la luz que se requiere para desempeñar con eficiencia las tareas específicas, manteniendo una proporción aceptable de luminancia [15], por lo que se optó por cambiar los focos con unos de mejor iluminación y con luz neutra (tabla 1), lo que contribuyó en la reducción de fatiga de visión y corporal entre los trabajadores.

Tabla 1. Evidencia fotográfica del antes y después al usar las mesas ergonómicas de trabajo, tapetes e iluminación adecuada en los puestos de trabajo de las actividades amasado, moldeado y horneado de las panaderías artesanales.

Actividad	Antes	Después	
Amasado Cortado Boleado Diseño			
Acomodo de charolas Horneado			

Resultados y discusión

Evaluación del método QEC

El método se implementó antes y después de ejecutar las mejoras en las áreas de trabajo, a fin de saber si las mejoras son suficientes y viables se hace el comparativo promedio de las doce panaderías, los resultados son de las actividades: amasado, cortado, diseño y horneado.

 ISSN: 2007 8102

Amasado

El análisis de la tarea indica un parámetro anormal en las zonas espalda con una puntuación de 28, hombro/brazo con 29, y mano/muñeca con una exposición de 32, perteneciente a un nivel de riesgo moderado, al aplicar las propuestas se encontró un nivel de riesgo bajo para las zonas corporales específicamente se logró la disminución de 6 niveles para mano/ muñeca que era la zona en donde se observa mayor afectación (figura 2).

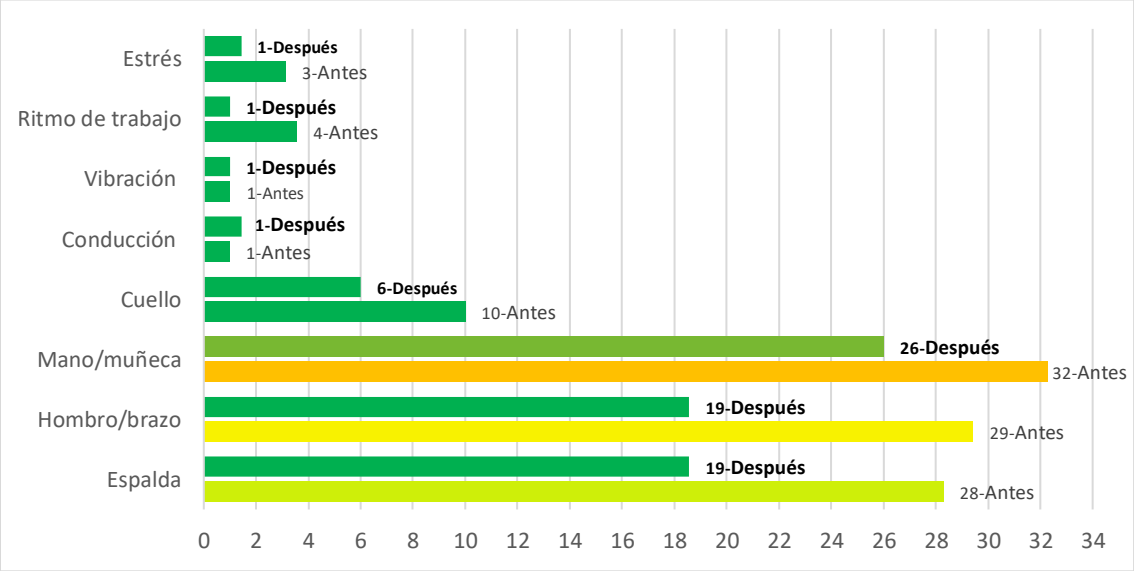


Figura 2. Comparación del antes y después de la actividad amasado al aplicar mejoras en las panaderías artesanales.

Cortado

En esta actividad, los niveles de exposición presentados en la figura 3 muestran un nivel más elevado en la zona de espalda con puntuación de 24, hombro/brazo con 20, mano/muñeca en 20 y cuello con puntuación de 8. Al implementar las mejoras los puntajes disminuyeron. Los factores de conducción, vibración, ritmo de trabajo y estrés, considerando que en la mayoría de las actividades no se utilizan herramientas de conducción y vibración, los resultados son bajos y se mantienen de forma igual, pero el ritmo de trabajo se mantiene igual debido a las respuestas de los operarios, para el factor de estrés se notó considerablemente la disminución de este mismo.

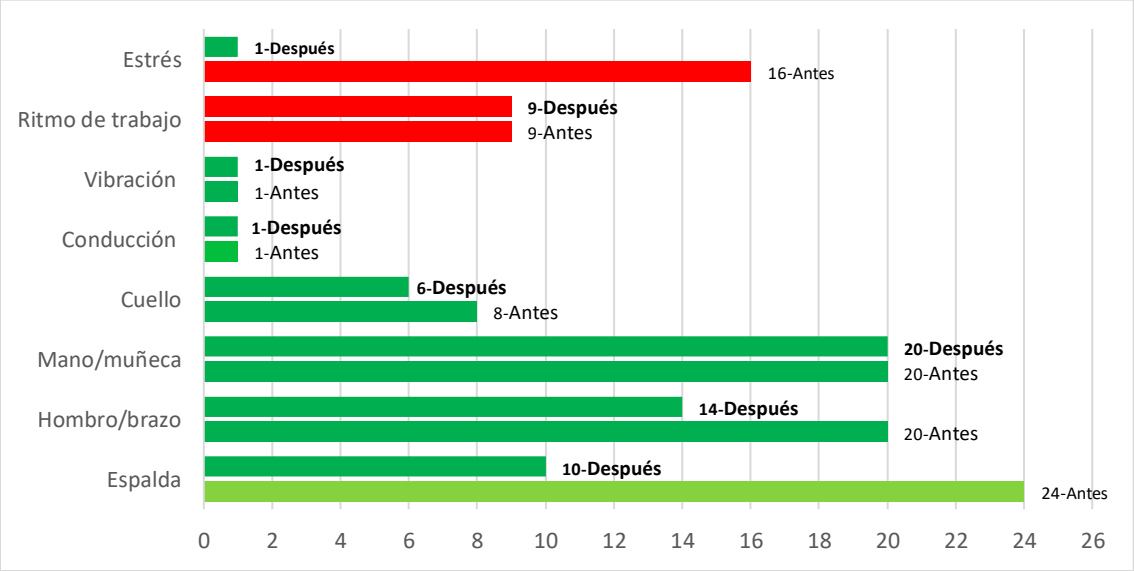


Figura 3. Comparación del antes y después de la actividad cortado al aplicar mejoras en las panaderías artesanales.

 ISSN: 2007 8102

Diseño

Las zonas más afectadas de acuerdo a la figura 4 pertenecen a espalda, hombro/brazo, mano/muñeca teniendo un nivel alto con 38 de puntuación para hombro/brazo esto es debido que toda la fuerza que se requiere para la elaboración de esta tarea se ocupa el apoyo de estas regiones, al aplicar las mejoras se analiza que para Hombro /brazo paso de 38 a 22 puntos considerándose una escala no riesgosa, así mismo para mano/muñeca disminuyo 7 parajes, cuello 1 punto, ritmo de trabajo y estrés 3 puntos todas estas zonas encontrándose en un nivel de riesgo bajo.

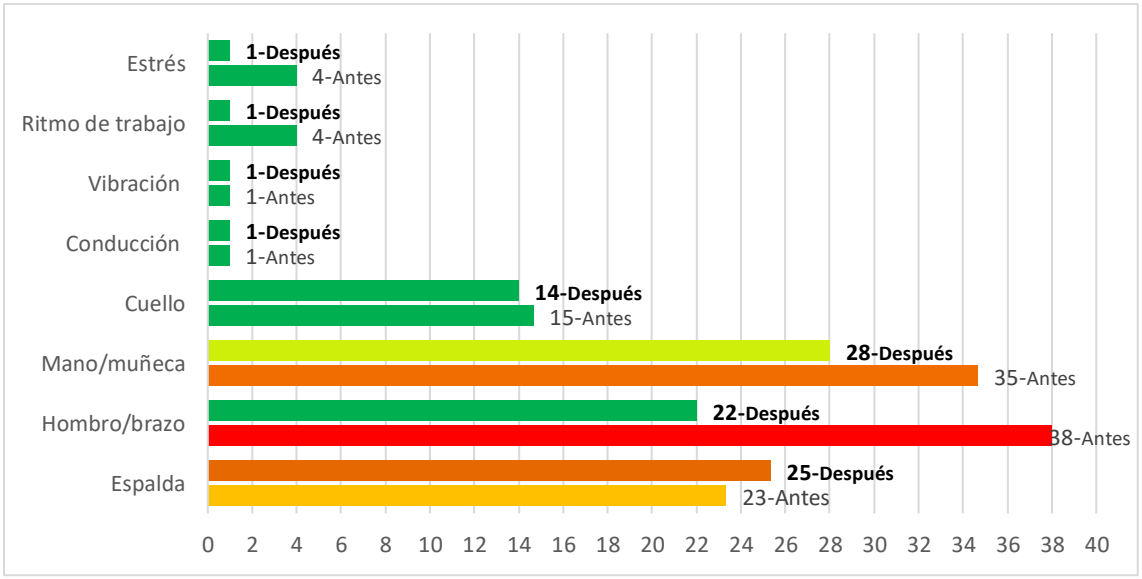


Figura 4. Comparación del antes y después de la actividad diseño al aplicar mejoras en las panaderías artesanales.

Horneado

Las evaluaciones indican la existencia de un nivel de riesgo moderado para espalda con una puntuación de 32 y 33 para hombro/brazo, para mano/muñeca un nivel de riesgo alto, mientras que para cuello, los factores de conducción, vibración ritmo de trabajo y estrés presentaron un nivel de riesgo bajo con diversas puntuaciones como se indica en la figura 5, después de la aplicación de las mejoras se aprecia la disminución con una puntuación de 23 para espalda, 23 para hombro/brazo y 27 mano muñeca pasando a un nivel de riesgo bajo.

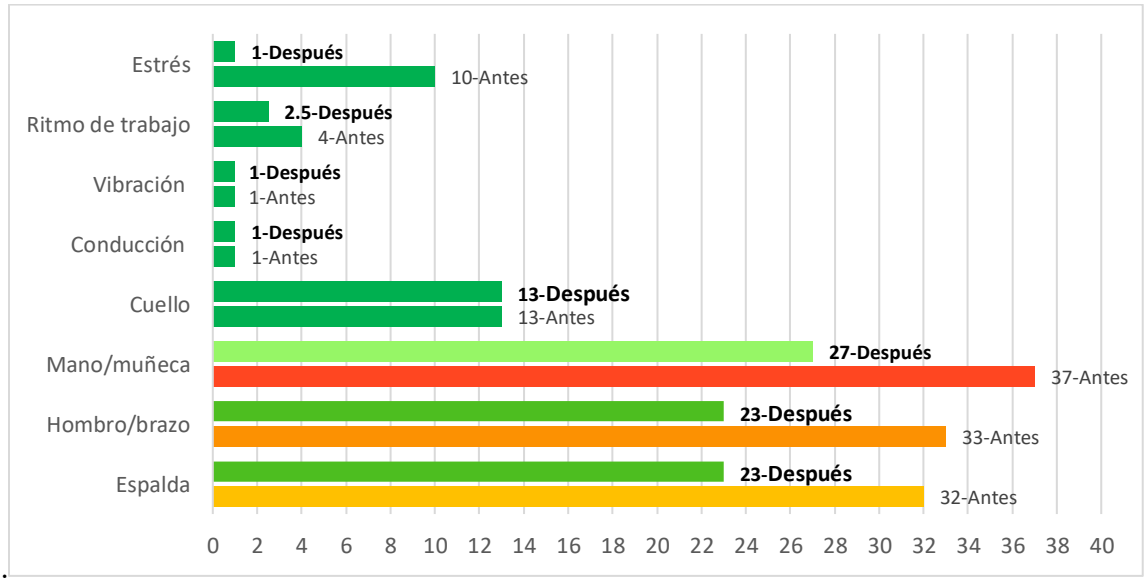


Figura 5. Comparación del antes y después de la actividad horneado al aplicar mejoras en las panaderías artesanales.

ISSN: 2007 8102

Evaluación del método BPD

El Diagrama se aplicó a cada operario al finalizar sus actividades, dividiendo a los trabajadores de acuerdo a sus funciones, el primer grupo fueron operarios que solo realizan de pesado de ingredientes, mezclado, amasado, cortado y boleado; el segundo grupo realizan actividades de boleado y diseño de las piezas; el tercer grupo de trabajadores hacen las funciones antes descritas aunado el acomodo de leños en el horno, el calentamiento constante en el horno, la limpieza del horno (retiro de brazas mediante barridos) y horneado (cocción del pan).

Los resultados que se presentan son datos promedios de las respuestas de los operarios según la clasificación de las funciones propuestas por los investigadores, se analiza la figura 6 donde los operarios incluyendo hombres y mujeres mencionaron que el dolor más presente al finalizar sus actividades es en la mano muñeca con un puntaje de 3 siendo este un dolor moderado, luego el antebrazo y codo con un dolor débil a moderado, se nota que la espalda se tiene un dolor débil. Después de la implementación de las mejoras en el sistema de producción de las panaderías artesanales se encontró que, en las partes corporales antes mencionadas, los niveles bajaron a nivel 1 muy ligeros, dolor extremadamente ligero y entre muy ligero a débil, respectivamente.

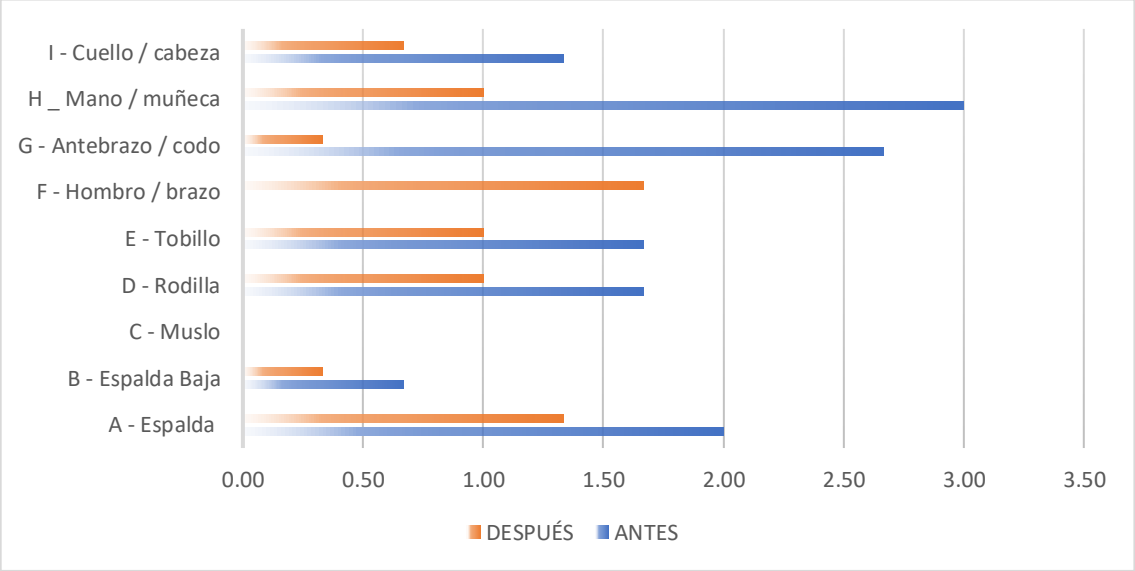


Figura 6. Comparación del antes y después del primer grupo de operarios(as).

En la figura 7 se muestra el segundo grupo de operarios donde el dolor más es en la mano muñeca con un puntaje de casi 3.5 llegando a ser un dolor muy fuerte, luego el antebrazo/codo y hombro/brazo mantienen un dolor casi moderado, se nota que la espalda se tiene un dolor débil. Después de la implementación de las mejoras se encontró que, en las partes corporales antes mencionadas, los niveles bajaron a nivel 2 dolor débil, antebrazo/codo dolor muy ligero, hombro/brazo y espalda dolor extremadamente ligero.

El tercer grupo de trabajadores incluyendo hombre y mujeres realizan funciones que bajo criterios de los investigadores son extremadamente pesados, donde los resultados tambien son datos promedios de las respuestas, en la figura 8 muestra que el dolor más presente al finalizar sus actividades es en la espalda baja con un puntaje de 4.56 siendo este según la clasificación un dolor fuerte, luego la espalda baja con un nivel de 4 siendo un dolor fuerte, la mano/muñeca y tobillo mantienen un nivel de 3.5 siendo un dolor moderado. Después de la implementación de las mejoras se evaluó que, la espalda baja bajó a 0.5 siendo este según la clasificación un dolor extremadamente ligero, luego la espalda baja con un nivel de 1.5 siendo un dolor muy ligero, la mano/muñeca a un nivel de 2 con dolor débil y tobillo a un nivel de 1 un dolor muy ligero.

 ISSN: 2007 8102

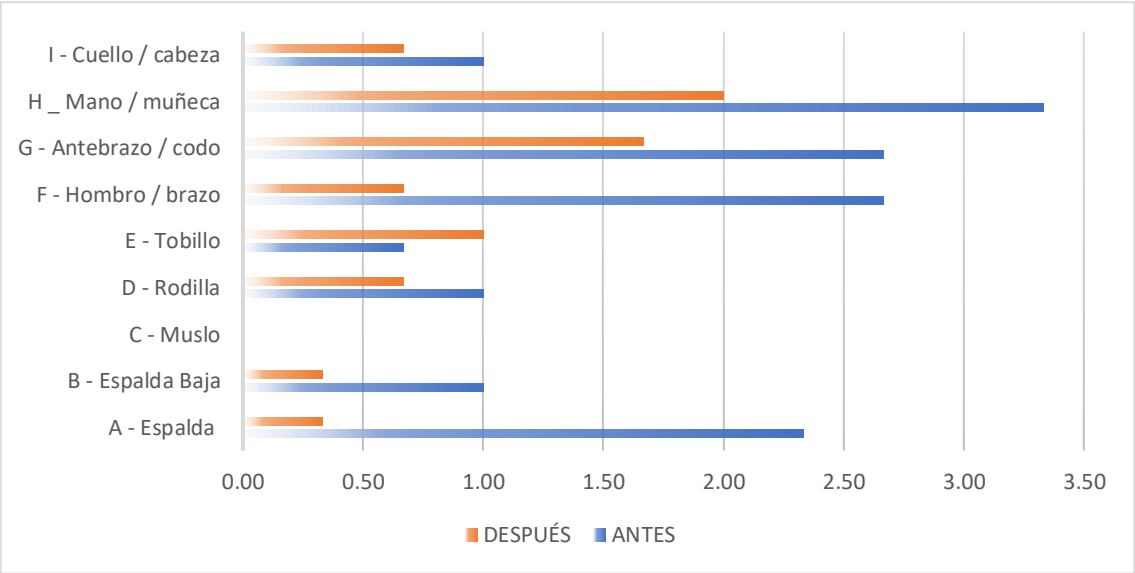


Figura 7. Comparación del antes y después del segundo grupo de operarios(as).

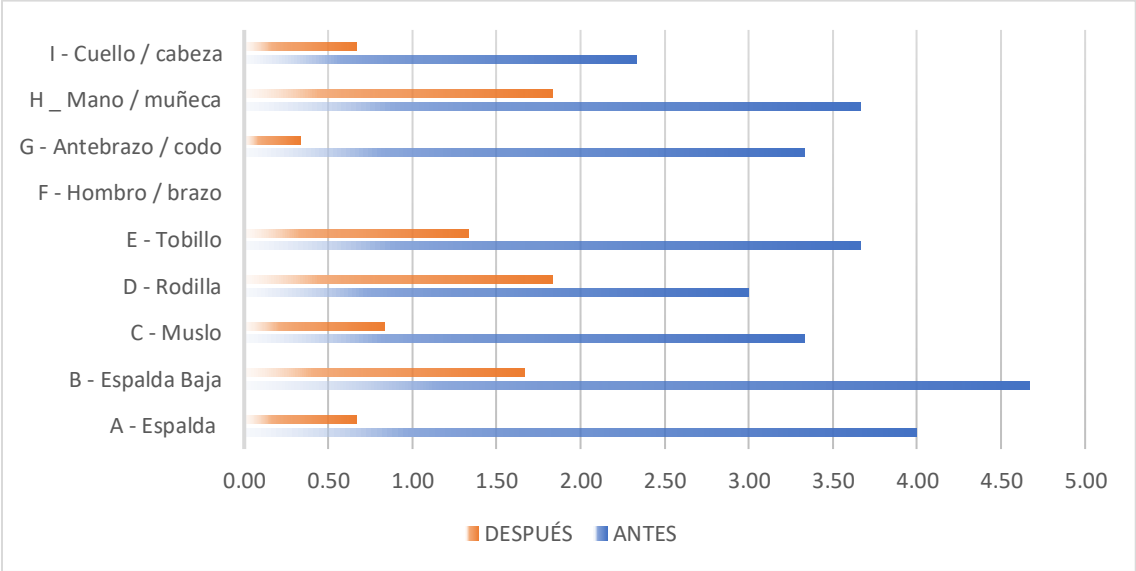


Figura 8. Comparación del antes y después del tercer grupo de operarios(as).

Trabajo a futuro

Para futuras investigaciones se recomienda que se evalúen los puestos de trabajo a través de la determinación de los TME más críticos en las panaderías, pero ahora con métodos ergonómicos distintas a las usadas en esta investigación, para evaluación de la postura con Rapid Upper Limb Assessment (Valoración Rápida de los Miembros Superiores), OWAS (Ovako Working Analysis System) y REBA (Rapid Entire Body Assessment), para evaluación de la manipulación manual NIOSH (Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacional), tablas de SNOOK y CIRIELLO y finalmente para la evaluación de trabajos con repetitividad el método JSI (Job Strain Index – Ergonautas) y Check List Ocra, en esta investigación se tomaron como caso de estudio a doce panaderías lo por lo que número es pequeño, para tener mayor asertividad de la investigación se recomienda tomar el cien por ciento de la panaderías artesanales consideradas ya como grupos de trabajo legalmente constituidas, donde el número de trabajadores sean entre 6 a 15, esto para tener datos más concluyentes y los resultados sean más efectivos.

ISSN: 2007 8102

Conclusiones

Los factores de riesgos ergonómicos que predominaron por su criticidad en el proceso de elaboración del pan en las panaderías de objeto de estudio son posturas forzadas, movimientos repetitivos y manipulación manual de cargas. Se determina que una de las principales fuentes de ingreso en la región se debe al emprendimiento artesanal de panificación por lo que el cuidado de la salud de las mujeres y hombres que trabajan es uno de los puntos críticos cuando se trata de pequeñas empresas en donde no se cuenta con un conocimiento amplio en cuestión de posturas y fuerza al aplicar en distintas actividades que el trabajo. Las panaderías son un objeto de estudio que cuentan con producción mixta por lo que sus actividades y tareas tienden a ser algo básicas con una serie de métodos y técnicas de elaboración tradicional, manuales y con escaso empleo de maquinaria. Durante el diagnóstico se destaca lo importante el desarrollo de prácticas de autocuidado y prevención para fortalecer los buenos hábitos que contribuyan a la salud y bienestar de los trabajadores, no sin antes brindar desde la empresa panadera los recursos necesarios y la formación para asegurar resultados positivos en cuanto a prevención TME.

Por otro lado, para las panaderías analizadas como caso de estudio, la duración de las actividades depende de la programación en producción de pan que se tenga, del número de empleados, la rotación de las tareas y las exigencias o requerimientos a última hora de clientes. Es por ello que se optó por utilizar métodos que permiten analizar los TME como lo es el método QEC el cual permitió evaluar las lesiones del cuerpo en donde se detectaron las causas de los tipos de posturas que adoptan en el área de trabajo, el método de producción y las horas de trabajo; el análisis fue realizado gracias a la base de puntuaciones establecidas en los niveles de exposición en mano, muñeca, espalda, hombro, brazo, cuello, todos presentando un nivel bajo y moderado después de la implementación de las mejoras. Con el Diagrama Corlett y Bishop se identificó que las tareas que presentan mayor fatiga al finalizar las tareas, son los hombros, brazos y muñecas, esto porque las actividades implican mayor esfuerzo físico, tambien las actividades previas y durante el horneado presentan afectaciones a nivel anatómico del tronco y las extremidades superiores, generando así estímulos de dolor y estrés; al aplicar capaciones en los trabajadores sobre ejercicios en las manos, faja anti fatiga, tapetes ergonómicos, iluminación y la mesa ergonómica, los resultados fueron favorables, bajando a niveles de 0.5, 1 y 1.5, ningún dolor, dolor extremadamente ligero y muy ligero, respectivamente.

Es importante que cualquier grupo de trabajo, del sector público o privado, artesanal o no artesanal, realicen evaluaciones de riesgos ergonómicos a fin de establecer mejoras en los puestos de trabajo, se entiende que estas prácticas aumentan la productividad de la empresa, generado indicadores favorables. La aplicación de fajas, tapetes, mesas adaptadas a los percentiles de los operarios, iluminación adecuada en las áreas de trabajo, favorecieron de forma sustancial en la diminución de TME en los operarios de las doce panaderías tomadas como caso de estudio en la zona sur del Estado de San Luis Potosí, se sugiere que las empresas con el mismo giro pueden mejorar sus índices de productividad si utilizan las mismas estrategias.

Agradecimientos

A la participación de los grupos panaderos de los municipios de Tamazunchale, Xilitla, Matlapa, San Martín Chalchicuautla y Tampacan, de las comunidades de Tlacoapa, Ixtacamel, El Carrizal, Ocuiltzapoyo, Papatlaco y Chalchocoyo, Coxotla, Barrio Progreso, Santiago Centro y Tancuilín, a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial noveno semestre (M2) del Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale, a los profesores Mtra. Cinthya Mildred Medina Lerma, Mtro. Bernardino Ávila Martínez y Mtra. Yoana Díaz Castillo que conforman el cuerpo académico.

Referencias

[1] N. D., Maya Huertas, Mercado Payares, M. C., & Mercado Payares, S. D. J. “Diseño de lineamientos para mitigar la incidencia del riesgo ergonómico en el área administrativa de la empresa Ortiz Construcciones y Proyectos SA ubicada en Remedios-Antioquia”, 2021.

[2] J. D., Chicaiza Herrera, “Estudio Ergonómico y Antropométrico de la prótesis en sus Miembros Superiores”, Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, 2019.

[3] S., Asensio Cuesta, M. J. Bastante Ceca y J. A. & Diego Más, *Evaluación ergonómica de puestos de trabajo*. Ediciones Paraninfo, SA. 2012.
[4] Rissén, D., Melin, B., Sandsjö, L., Dohns, I., & Lundberg, U., "Psychophysiological stress reactions, trapezius muscle activity, and neck and shoulder pain among female cashiers before and after introduction of job rotation", *Work & stress*, vol. 16, no 2, p. 127-137, 2002.
[5] Mossa, G., Boenzi, F., Digiesi, S., Mummolo, G., & Romano, V. A. "Productivity and ergonomic risk in human based production systems: A job-rotation scheduling model", *International Journal of Production Economics*, vol. 171, p. 471-477, 2016.
[6] O. F. Hernández-Lobo, "Propuesta de un Programa de Control de Riesgos Laborales en Seguridad para Trabajos en Alturas, Espacios Confinados y Manejo Manual de Cargas en el Departamento de Proyectos de Construcción, de la Empresa Durman by Aliaxis", 2021.
[7] N. G. Guevara Huillca, & J. Martinez Vilca, "Prevención de riesgos disergonómicos en el proceso de soldadura de tuberías metálicas de 24 en una empresa minera. Arequipa. 2018", 2019.
[8] L. Martínez Montaña, L., & L. Y. Pérez Bedoya, "Propuesta de intervención ergonómica en los puestos de trabajo de la empresa BBC Ingeniería SAS para minimizar los riesgos laborales", 2022
[9] M. García-García, A. Sánchez-Lite, A. Camacho, & R. Domingo, R., "Análisis de métodos de valoración postural en las herramientas de simulación virtual para la ingeniería de fabricación. Dyna, 2013", vol. 80, no 181, p. 5-15, 2013.
[10] Fuente propia.
[11] P. R. Mondelo, P. B. Bombardo, J. B., Busquets, E.G., Torada, Ergonomía 3: Diseño de puestos de trabajo (Vol. 3). Universitat Politecnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politecnica, 2004.
[12] G. L. Muñoz Salazar, N. A. Muñoz Salazar. "Identificación de peligros, valoración de riesgos biomecánicos, para establecer controles de ingeniera en el proceso de fabricación de pan en las pymes" *de bogotá dc (Doctoral dissertation).* 2018.
[13] M. P. García, & M. Paola, "Plan de higiene postural y tratamiento fisioterapéutico en dolor cervical y lumbar. Universidad Rafael Landivar", Guatemala, 2013
[14] S. L. Araujo Becerra, V. Chávez Román, & V. E. Llanos Navarrete, "Análisis de factores de riesgo por manipulación de cargas, orientado a establecer alternativas de mejora para disminuír la ocurrencia de accidentes de trabajo en la empresa Cliente de Colmena: Acción SA" (Bachelor's thesis, Universidad Autónoma de Occidente). 2012.
[15] C. González, "Importancia de los factores psicológicos en el diseño de sistemas de iluminación en centros hospitalarios", *Revista Digital de Investigación y Postgrado*, vol. 2, no 6, p. 5., 2012

ISSN: 2007 8102

Implementación de herramientas Lean Manufacturing en el área de corte de una Maquiladora textil

J. A. Hernández Ramos[1], L. A. Hernández Sánchez[1], A. Calderón Jiménez [1], A. C. Valdés Álvarez [1], C. Méndez Rivera[1]*
[1]Tecnológico Nacional de México/ ITS de Ciudad Serdán, Av. Instituto, Av. Tecnológico S/N, Col la Gloria, Cd Serdán Puebla, México, C.P 75520
[*]lhernandezs@cdserdan.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Industrial*

Resumen

En este trabajo de investigación se presentan problemas dentro del proceso de una maquiladora textil, esto se debe a que se está teniendo diversos desperdicios y la capacidad de producción no es la deseada, lo cual se busca mejorar, es por ello que se decidió utilizar un estudio de variable cuantitativa. Pueden influir muchos factores que no permitan que la empresa tenga un desempeño favorable, para resolver parte de las problemáticas, lo primero fue identificar las actividades en las que se pueda obtener una mayor área de oportunidad, y posteriormente realizar propuestas de mejora utilizando herramientas y técnicas de ingeniería industrial. Se decidió utilizar el enfoque del Sistema de producción Toyota, implementando herramientas de Lean *Manufacturing*. De acuerdo a los resultados del estudio se decidió trabajar en el Área de corte, enfocándose principalmente en el desorden y limpieza, flujo de materiales, generación de desperdicios y mala organización; lo que permitirá mejorar la capacidad de producción de la empresa.

***Palabras clave**: Desperdicios, Lean Manufacturing, Sistema de producción Toyota, Maquiladora, Área de corte.*

Abstract

In this research work there are problems within the process of a textile maquiladora, this is due to the fact that it is having various wastes and the production capacity is not the desired one, which is sought to be improved, which is why it was decided to use a quantitative variable study. Many factors can influence that do not allow the company to have a favorable performance, to solve part of the problems, the first thing was to identify the activities in which a greater area of opportunity can be obtained, and later make proposals for improvement using tools and techniques of industrial engineering. It was decided to use the Toyota Production System approach, implementing Lean Manufacturing tools. According to the results of the study, it was decided to work in the cutting area, focusing mainly on disorder and cleanliness, material flow, waste generation and poor organization; which will allow to improve the production capacity of the company.

***Key words**: Waste, Lean Manufacturing, Toyota Production System, Maquiladora, Cutting area.*

Introducción

La competitividad en la industria es un factor crucial en el mundo empresarial actual. Para mantenerse a flote y prosperar en un entorno competitivo, las empresas deben esforzarse por ofrecer productos y servicios de calidad a sus clientes. La satisfacción del cliente es una de las piedras angulares para lograr el éxito a largo plazo y construir una sólida reputación en el mercado. Sin embargo, el camino hacia la excelencia en la calidad y la productividad a menudo está lleno de desafíos y problemáticas. Estas dificultades pueden manifestarse en diversas áreas, como la gestión de la cadena de suministro, la optimización de procesos, el control de calidad y la eficiencia operativa. Enfrentar estas problemáticas de manera efectiva puede marcar la diferencia entre el éxito y el estancamiento en el mercado [2].

La maquiladora textil se enfrenta a una serie de desafíos que están afectando su eficiencia y rendimiento general. Uno de los problemas más evidentes es el desorden y la falta de limpieza en sus instalaciones, esto puede conducir a una disminución de la productividad y aumentar el riesgo de accidentes laborales, dificulta la localización de materiales y herramientas, lo que retrasa los tiempos de producción y aumenta los costos operativos. Además, se generan desperdicios como *scrap*, excesos de inventarios y esperas por un mal flujo de sus productos, esto en conjunto ocasiona un incremento del tiempo establecido para manufacturar los productos,

lo cual puede afectar la puntualidad en la entrega de los productos terminados, afectando la satisfacción del cliente y la reputación de la empresa. Finalmente, una mala organización de los procesos de producción puede afectar la eficiencia general de la maquiladora.
Su proceso de producción consiste en: Área de diseño y muestras, Corte, Bordado y estampado, Preparación y ensamble, Terminado, Almacén y Lavandería externa, el cual se explica a continuación:
Área de Diseño y Muestras: En esta área los diseñadores generan ideas, crean bocetos y desarrollan muestras de prendas. Los equipos de diseño trabajan en colaboración constante con los clientes para entender sus necesidades y preferencias, seleccionando tejidos y colores adecuados. Además, realizan pruebas de ajuste y comodidad para asegurarse de que los pantalones cumplan con los estándares de calidad y diseño.
Corte: En esta etapa, se toman los patrones diseñados y se cortan los tejidos de acuerdo con esas formas y tamaños. Es fundamental que el corte se realice con precisión para minimizar el desperdicio de material y garantizar que todas las piezas sean consistentes en tamaño y forma. El equipo de corte utiliza máquinas especializadas y herramientas precisas para lograr esto.
Bordado y Estampado: En estas áreas se agrega un toque que distinga a las prendas. El bordado considera la decoración de los pantalones con hilos de colores para crear diseños intrincados y logotipos. En la parte de estampado se aplican diseños, patrones o imágenes en la superficie de las prendas utilizando técnicas de impresión digital.
Preparación y Ensamble: En este punto, todas las piezas cortadas se ensamblan para crear las prendas terminadas. Los trabajadores de esta área cosen, unen y ensamblan las partes de las prendas de acuerdo con las especificaciones de diseño del cliente. La atención al detalle es muy importante para asegurarse que las costuras sean limpias y resistentes, y que todas las partes se ajusten perfectamente.
Terminado: Esta etapa es donde las prendas se someten a una serie de acabados finales. Esto incluye planchado, revisión de costuras, aplicación de botones y cierres, y cualquier otro detalle que mejore la calidad y la apariencia de los pantalones. Todo esto para que las prendas estén listas para su presentación y venta.
Almacén: Una vez que las prendas están listas, se almacenan en esta área hasta que sean enviadas a los clientes o distribuidores.
Lavandería Externa: En esta área se realizan procedimientos especiales de lavado, teñido o acabado que no pueden llevarse a cabo internamente, logrando efectos específicos en las prendas.

Metodología

Para mejorar el proceso de producción, se aplicó una metodología basada en *Lean Manufacturing*, una filosofía de gestión enfocada en eliminar el desperdicio y maximizar la eficiencia en los procesos industriales. Para comenzar este proceso de mejora, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la situación actual en la maquiladora textil. Con base en los hallazgos del análisis, se determinaron las herramientas de *Lean Manufacturing* más adecuadas para implementar y posteriormente se llevó a cabo una evaluación constante de los resultados obtenidos, recopilando datos para comparar con las métricas iniciales y medir el impacto de las mejoras.

Análisis de la situación actual

Dentro de la empresa se cuenta con el VSM del proceso en general (Ver Figura 1). Como se observa, el Área de Bordado y Estampado tiene un tiempo de ciclo mayor e inventarios, pero en el momento de iniciar el proyecto otros Ingenieros trabajaban en paralelo para implementar mejoras dentro de dicha Área, es por ello que se planteó junto con el equipo de Ingeniería Industrial que se trabajaría en el Área de corte, ya que es el segundo departamento con mayores áreas de oportunidad, debido a que cuenta con un tiempo de ciclo de 189 s.

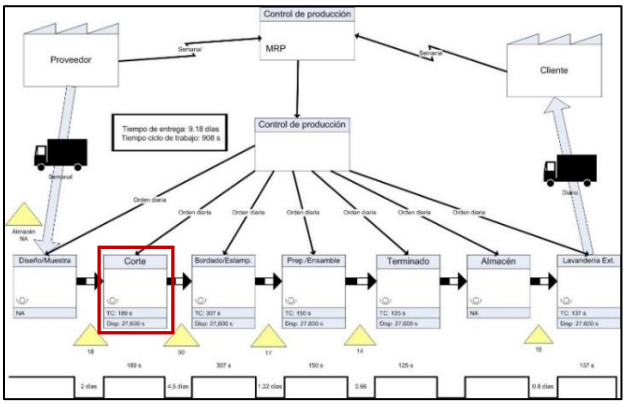


Figura 1. VSM general de la empresa textil.

El área de corte se subdivide en tres secciones clave: el Almacén de Telas, las Mesas de Corte y el Almacén de Suministros.

Determinación de productos

En la maquiladora, la producción de pantalones se divide en tres principales tipos de pantalones: UPS, GP002 y Multiestilos, la Tabla 1 muestra dicha demanda semanal. Aunque estos pantalones difieren en algunos aspectos, comparten muchas operaciones y procesos similares en su fabricación, como resultado, se tomó la decisión estratégica de agruparlos para aprovechar sinergias y mejorar la eficiencia en el proceso de producción.

Tabla 1. Demanda de los estilos de corte.

Cortes liberados por semana	
UPS	7,000
GP002	8,000
MULTIESTILOS	2,500
TOTAL	**17,500**

VSM del estado actual

Posteriormente, para poder identificar oportunidades de mejora dentro del área de corte, se elaboró un *Value Stream Mapping* (VSM) del estado actual, centrando la atención en los procesos de Teñido, Corte y Foleo. El VSM es una herramienta de análisis que permite visualizar de manera integral el flujo de valor en los procesos y determinar dónde se encuentran los cuellos de botella, desperdicios y demoras [4]. La Figura 2 muestra el VSM del estado actual del área de Corte.

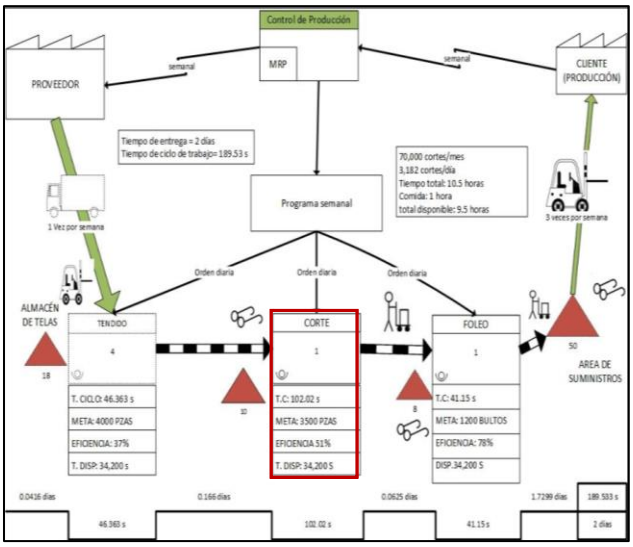


Figura 2. VSM del estado actual del área de Corte.

Al analizar el VSM, se identifica que la suma del tiempo de las operaciones por pieza llega a ser de 189.53 s, para lo cual la operación de corte de tela tarda 102.02 s, por lo que tarda más en realizarse y esto provoca que los tendidos de la tela se retrasen en esta, evitando pasarlo de manera continua al foleo, además se muestra el flujo que debería llevar los cortes y el inventario actual que tarda 2 días en ser entregados al cliente (producción).

Check list

Para continuar con la actividad, basado en el análisis del VSM, se elaboró un *check list* para generar un diagnóstico considerando los siguientes aspectos: medidas para ordenar, limpiar y prevenir riesgos, medidas para el flujo y almacenamiento de materiales y cortes, y medidas para el desempeño laboral. El *check list* fue aplicado a las mesas de corte, almacén de telas y almacén de suministros. Los resultados de la lista de verificación aplicada en el área correspondiente, ayudaron a identificar los siguientes problemas actuales: 1) La generación de *SCRAP* (retazos de tela), 2) Exceso de inventarios, 3) Desorden y limpieza en el área de corte, 4) Mala organización del trabajo y 5) Mal flujo de los materiales y cortes.

Gráfico de Pareto

De acuerdo con los problemas identificados, es necesario determinar la frecuencia con la que sucede las distintas problemáticas para determinar el impacto que generan y dar un orden de importancia a resolver con el objetivo de definir las acciones necesarias para reducir y eliminar en lo posible los inconvenientes presentados. Una herramienta que permite visualizar esta frecuencia es el Gráfico de Pareto, el cual sigue el principio de del 80-20, para determinar las causas de mayor y menor relevancia [5]. La Figura 3 muestra dicho gráfico.

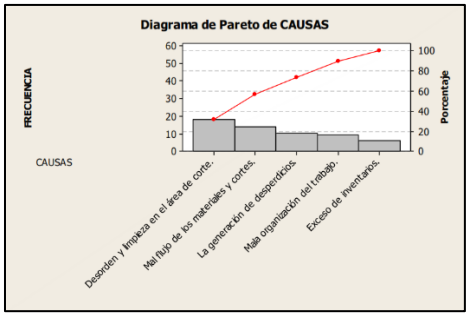


Figura 3. Gráfico de Pareto de causas.

Gracias a la representación gráfica del diagrama de Pareto, se puede concluir que el problema principal es el desorden y limpieza en el área de corte contando con una frecuencia de 18 y un porcentaje de 31.58%, situación que tiene la prioridad a resolver, también se observa que el mal flujo de los materiales tiene un porcentaje del 24.56%, quiere decir que al determinar soluciones de estas dos complicaciones se estarían resolviendo el 56.14% de los conflictos totales.

Determinación y planeación de las herramientas

Una vez teniendo el panorama de las causas en las que se debe enfocar, para tener un mayor impacto dentro del área de Corte, se procede a elegir las herramientas *Lean Manufacturing a utilizar*, por ello se indago sobre dichas herramientas que mejor se adapten a la problemática y aporten a dar una solución a esta. Las herramientas a implementar fueron: Eventos *kaizen*, Aplicación de 5s y Kanban. Antes de su implementación, se dio una capacitación a los trabajadores en base a las herramientas previamente mencionadas.

Implementación de las herramientas

Programación de 5s

La aplicación de la primer S (*Seiri*), empezó por clasificar los objetos existentes en el área, los objetos innecesarios se les coloco una tarjeta roja para tomar acciones para un resguardo, reciclaje o mantenimiento (Ver figura 4).



Figura 4. Aplicación de las tarjetas rojas.

La Figura 5 muestra la aplicación de la segunda S (*Seiton*), en esta etapa, se realizó la selección de un espacio específico para cada cosa, colocando etiquetas para señalar el lugar que le corresponde a cada objeto y de ser necesario delimitar el espacio a ocupar.

 ISSN: 2007 8102



Figura 5. Aplicación de la segunda s.

Para la tercer S (*Seiso*) se manejó con una primera jornada de limpieza para identificar las fuentes de contaminación que existen en el área de corte con el propósito de evitar que se vuelva a generar suciedad. Las acciones de limpieza se realizaron con apoyo del personal involucrado en mesas de corte y almacén para dejar libre el área de retazos de tela (*SCRAP*), conos de cartón, trazos de papel, bolsas plásticas, botellas o basura de alimentos y sacudiendo la borra de mesas y máquinas (Ver Figura 6).



Figura 6. Limpieza.

Para *Seiketsu*, de acuerdo con la Planeación *Kaizen*, se colocó el tablero de roles y responsabilidades para mantener el área limpia y ordenada, con el fin de que esta actividad se incluya como un hábito diario a sus tareas como trabajador. La Figura 7 muestra como evidencia una fotografía del tablero.

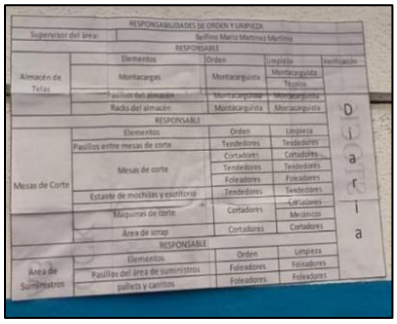


Figura 7. Tablero de responsabilidades.

Para la última etapa de *Shitsuke*, se evidencia con el tablero de resultados sobre las auditorías realizadas semanalmente para mostrar resultados sobre el esfuerzo obtenido para mantener el área limpia y ordenada (Ver Figura 8).

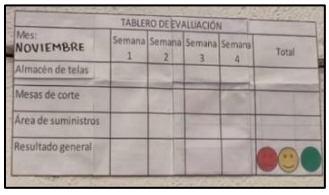


Figura 8. Tablero de evaluación.

ISSN: 2007 8102

Kanban

La implementación del kanban se inicia con la propuesta del buzón, en el cual se determinaron tres niveles de acuerdo con los equipos de mesa de corte para nivelar las cargas de trabajo de la semana. El buzón es llenado cada semana con la tarjeta kanban propuesta de acuerdo a la liberación de las órdenes de corte (Ver figura 9). El número de piezas va ir determinado por las prendas requeridas en cada liberación de corte. La orden de corte se estableció como tarjeta única de producción. De acuerdo con la cantidad de las ordenes de corte se definirá las piezas por kanban.
Los niveles usados en el buzón kanban, serán llenados con las tarjetas de producción por día, de acuerdo con los colores especificados (Ver figura 9), además se muestra en forma visual la tabla del sistema de tarjetas kanban, en los costados del buzón.



Figura 9. Buzón Kanban propuesto.

La señal utilizada para el kanban es un tablero de ayuda visual que proporcione información sobre el avance de cada uno de los cortes con el objetivo de que se lleve el control de los cortes en tiempo real y se consiga un aprovisionamiento eficiente a las líneas de producción. El avance de los cortes estará ligado con la liberación de cortes semanales y el uso de las tarjetas de producción por día. La Figura 10 muestra el tablero aplicado.

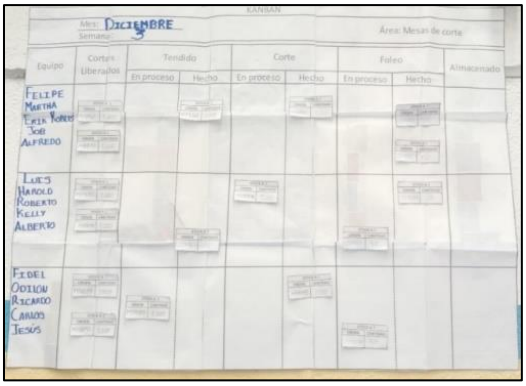


Figura 10. Tablero visual Kanban.

Los contenedores a utilizar para el manejo de los materiales son carritos con capacidad de 1,000 piezas, estos carritos serán usados a partir de que se realiza el corte de la tela para pasarlo a foliar y posteriormente resguardarlo en el espacio correspondiente en el stock. En total se requieren 18 contenedores (ver figura 11).



Figura 11. Contenedor de Kanban.

Para el seguimiento de los cortes, se delimitaron los espacios en el área asignada para el almacenamiento de los cortes, dentro del stock hay 3 líneas de almacenamiento y cuentan con un total de 10 espacios. Las líneas del

stock fueron señaladas a forma de identificar el almacenamiento de cada corte de acuerdo como lo muestra el tablero kanban. La Figura 12 muestra la señalización del stock.



Figura 12. Stock 1, 2 y 3.

Redistribución

El desglose de una prenda consiste en identificar las partes que la conforman y observar la manera en la que fue confeccionada con la finalidad de poder determinar una operación que lleve a realizar la transformación de la prenda. El desglose de operaciones funcionó para que el departamento de ingeniería realizará un balance de línea de producción con el estilo de pantalón GP002. Posteriormente, se me compartió el resultado para elaborar un *layout* de las operaciones para modificar la línea de producción dentro de la planta. La Figura 13 muestra el *layout* resultante de acuerdo con los datos proporcionados.

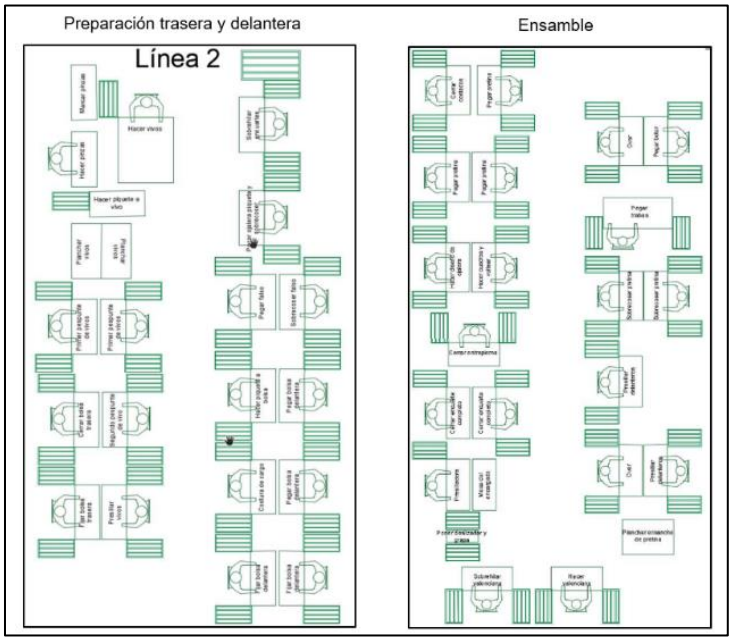


Figura 13. Layout de Preparación trasera y delantera y de ensamble.

Resultados

VSM del estado futuro

Se desarrolló un VSM del estado futuro (Ver figura 14) que al compararlo con el del estado actual, se representan las mejoras implementadas mediante la planeación de los eventos *Kaizen* identificando los cambios obtenidos, los cuales se explican a continuación:

Aplicación de 5'S en las mesas de corte, almacén de telas y el área de suministros. Gracias a esto se redujo el tiempo sumado de todas las áreas pasando de 189.53 s a 146.4 s. Para analizar si efectivamente se redujo el tiempo de ciclo, se realizó un análisis de varianza, con los tiempos de antes de implementar las herramientas de *Lean Manufacturing* y después de implementarlas, planteando la siguiente hipótesis:

- H_0: Las medias son iguales
- H_1: Las medias son diferentes

Como el comportamiento de los tiempos es consistente, se tomó un n=10 de los tiempos antes y después de implementar mejoras, y con un nivel de confianza del 95%, se obtuvo un F_{calc} 9.42 > F_{tablas} 3.49, por lo tanto, se rechaza H_0 y se concluye que las medias son estadísticamente diferentes, por lo que se confirma que si hubo una mejora en cuanto a los nuevos tiempos obtenidos.
Se disminuyó en un 30.45% el tiempo de la operación de corte de tela, considerada como el cuello de botella, pues ahora el paso de materiales de esta estación pasó de 102.02 s a 70.95s, pues de ella depende el ritmo de los cortes listos para producción.
Diseño e implementación de un sistema de flujo de los cortes de tela basado en la herramienta Kanban. La ayuda de producir lo requerido día a día y estandarizar un contenedor para transportar las piezas fue de ayuda para reducir el Lead time un 2% del tiempo total de entrega al área de producción, pasando de 2 días a 1.96 días.

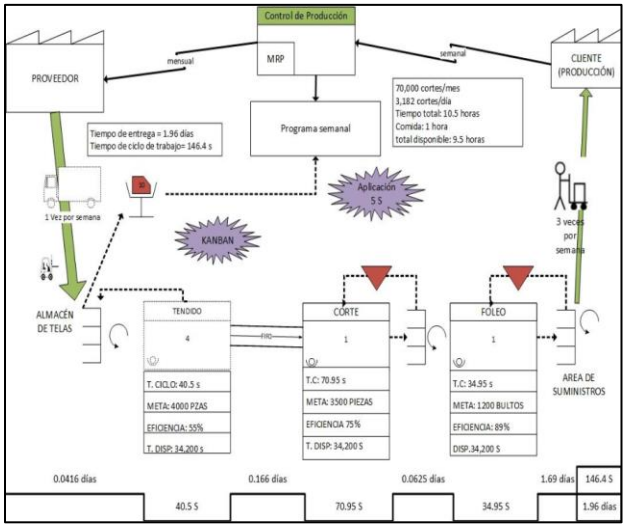


Figura 14. VSM del estado futuro del área de Corte.

Metodología 5’s

La metodología 5'S ayudo a mantener y controlar un área de trabajo más limpia y ordenada, las evaluaciones realizadas mediante el *check list* que se realizaron durante 4 semanas reflejaron resultados aceptables, siendo mesa de corte la que mayor se adaptó a esta herramienta y logrando mantener el área ordenada y limpia. La Figura 15 muestra el tablero de evaluación.

TABLERO DE EVALUACIÓN					
Mes: NOVIEMBRE-DICIEMBRE	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Total
Almacén de telas	76	78	80	80	314
Mesas de corte	80	78	80	80	318
Área de suministros	77	79	78	80	314
Resultado general	233	235	238	240	

Figura 15. Tablero de evaluación 5’s.

Además, 5's ayudo a controlar el manejo de *Scrap* aprovechando toda la retacería de tela sobrante que pudiera ser utilizada para amarres de bultos. Gracias a esto se logró disminuir la cantidad de tela desperdiciada, y también se controló la venta de *Scrap* realizándola dos veces a la semana para mantener los recipientes disponibles y no generar suciedad en este aspecto. La Figura 16 muestra la reducción en kilogramos de la retacería de tela.

 ISSN: 2007 8102



Figura 16. Gráfico de disminución de Scrap.

La cantidad de tela reutilizada en los últimos meses respecto a los meses agosto- octubre es un total de 343 kg lo que equivale a un ahorro de $14,292.

Kanban

Esta herramienta ayudó a controlar el flujo de los materiales basado en la prioridad de cortes solicitados por las líneas de producción, reduciendo inventarios al producir únicamente lo que se requiere, gracias a esto, se logró que la entrega de cortes para abastecer cada línea de trabajo fuera en la fecha solicitada y cada vez más reduciendo los faltantes. La Figura 17 muestra gráficamente las cantidades de cortes por semana del mes de noviembre y diciembre, destacando la reducción de piezas de faltantes.



Figura 17. Gráfico de cantidad de piezas faltantes o defectuosas.

Redistribución

En base al balanceo de líneas realizado y el layout actualizado, se logró liberar de tiempo en base a actividades realizadas por los trabajadores, ya que antes se les asignaban grandes cantidades de tiempo para realizar sus labores, logrando alcanzar un índice de desocupación por las actividades totales de un 663%.

Incremento de la productividad

El resultado más importante de la implementación de las herramientas definidas de *lean manufacturing* en el área de corte, donde se realiza el tendido, corte y foleo, se logró que el personal se concientizara de la importancia que tiene el trabajar ordenadamente y cumpliendo sus roles para mantener el área limpia y ordenada, producir a tiempo y controlar las piezas solicitadas. En repercusión a la implementación de dichas herramientas se logró disminuir el tiempo de ciclo total y el tiempo de entrega, derivado de dicha disminución aumentó la producción diaria, gracias a su compromiso de realizar estos cambios para mejorar, no solo la forma de realizar su trabajo, también la facilidad de hacerlo y además tener un lugar de trabajo seguro y limpio. La Figura 18 muestra un gráfico donde se visualiza el aumento de producción antes (junio-septiembre) y después (octubre-enero) de implementar las herramientas de *lean manufacturing*.

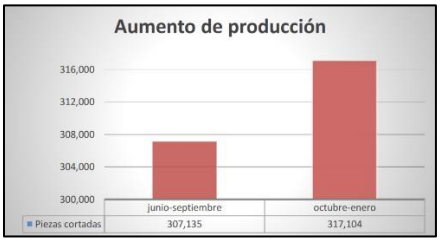


Figura 18. Gráfico de aumento de producción.

ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

La comunicación es una herramienta indispensable para el éxito de toda organización, por lo que cualquier desafío que se presente, si se tienen una buena relación entre departamentos se podría resolver cualquier inconveniente con éxito.
El seguimiento de las herramientas aplicadas es importante para obtener mayores beneficios al pasar del tiempo, obteniendo información verídica y en tiempo real de las complicaciones del área, por lo que se recomienda no perder de vista el objetivo con el que se desarrolló este proyecto.
Crear un círculo interno de proyectos encaminados hacia la mejora continua. Aplicando herramientas de calidad podría ser de gran éxito para la empresa, con el objetivo de planear e implementar nuevas herramientas que ayuden a aumentar la productividad de cada área y seguir creando hábitos de manera colaborativa entre todo el personal.

Conclusiones

Para cumplir con la Implementación de herramientas de *Lean Manufacturing* en el área de corte de una Maquiladora textil, se inició todo al compartir un mismo pensamiento hacia la mejora continua, ya que en la actualidad las empresas buscan innovación e impacto industrial para seguir posicionados en el mercado.
Las herramientas que pertenecen a *Lean manufacturing* tienen procedimientos para lograr que los resultados esperados sean alcanzados. Sin duda alguna, dichas herramientas al ser aplicadas exitosamente serán un pilar de expansión en todas las áreas de la empresa, creando conciencia y hábitos a todo el personal involucrado.
Dentro del área de corte, el proceso que se realiza para tender, cortar y foliar la tela es simple, pero al tener deficiencias de cómo controlar el flujo de materiales, organización del personal y cargas del trabajo, así como un espacio para realizar sus operaciones con fuentes de suciedad y escenarios de riesgos, puede llegar a crearse un proceso complejo.
Derivados de estos problemas, se derivó un análisis que representara la situación inicial del área de corte, para identificar y planear herramientas, técnicas o metodologías que cumplirían con lo necesario para mejorar al área mencionada. 5'S y Kanban tienen los principios necesarios para atender los problemas encontrados y así poder aumentar la eficiencia del área. La implementación ayudo a crear un ambiente laboral más seguro, limpio, ordenado y con reducción de tiempos para realizar el trabajo e incluso para entregarlo.
Las herramientas además de haber cumplido su propósito, influyeron directamente en la entrega de los cortes puntuales y con menos defectos, reduciendo las piezas faltantes para cada orden de corte, se redujo y controlo la generación de *scrap*, el cual se disminuyó al utilizar retazos de tela para amarrar cortes o sacar más piezas chicas, estas últimas muy pocas. El impacto más notable fue un aumento de productividad, satisfaciendo las necesidades de producción de acuerdo a su programación planeada. De igual manera ayudo al personal a comprometerse para mejorar su área y seguir aumentando la eficiencia día a día de su área de trabajo.

Referencias

[1] Alukal, G., & Manos, A. (2006). *Lean Kaizen*: *A Simplified Approach to Process Improvements: ASQ Quality Press.*
[2] Bellido, Y. et al. (2018). Modelo de optimización de desperdicios basado en Lean Manufacturing para incrementar la productividad en Micro y Pequeñas Empresas del Rubro Textil. In Memorias de la Octava Conferencia Iberoamericana de Complejidad, Informática y Cibernética (Vol. 1, No. 1, pp. 1-6).
[3] León, G. et al. (2015). Análisis de métodos y tiempos: empresa textil Stand Deportivo. p 120–139. https://doi.org/10.24267/23462329.77
[4] Meléndez, D. et al. (2021). Estudio de tiempos y movimientos en industria textil en hermosillo, Sonora/Time and motion study in textile industry in hermosillo, Sonora. Universidad & ciencia, 231-240.
[5] Oviedo, F. (2018). Análisis y propuesta de mejora del proceso de producción de polos camiseros en una empresa textil utilizando la manufactura esbelta. Arequipa: Universidad Católica de San Pablo.
[6] Quispe, R. et al. (2022). Aplicación de las 5s en las empresas textiles latinoamericanas. Qantu Yachay, 142-147.
[7] Strategos. (Abril de 2022). Value Stream & Process Mapping Visualizing Work Processes . Obtenido de https://strategosinc.com/RESOURCES/05-VSM-Processes-Workflow/value_stream_vs_process_mapping.htm

ISSN: 2007 8102

Aplicación de pronósticos y MRP al proceso de Servicios de mantenimiento a Locomotoras

V. Sánchez Vázquez[1], J. A. Hernández Morales[2], M. Hernández Cortez[3]*
[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca y viridiana.sanchez@itstb.edu.mx, [2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca y juan.hernandez@itstb.edu.mx, [3]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca y magdalena.hernandez@itstb.edu.mx

***Área de participación**: Ingeniería Industrial*

Resumen

La investigación que se presenta se realizó en el área de producción de una empresa prestadora de servicios de mantenimiento al transporte ferroviario, ubicada en Tierra Blanca, Veracruz. Con la finalidad de disminuir los transportes no programados de material en al menos 3% con la ayuda de la implementación de pronósticos de promedio móvil y la Planeación de Requerimiento de Materiales (por sus siglas en inglés, MRP). La muestra investigada se conforma por los servicios a Locomotoras realizados durante el mes de enero 2020 a marzo 2021 en el taller citado, un segundo grupo estudiado se registró de abril 2021 a septiembre 2021 mismo que sirvió para examinar los resultados de la utilización de las herramientas de ingeniería. La muestra es de tipo no probabilístico. Los resultados mostraron una disminución de 8% en los transportes no programados, superándose la meta planteada en el objetivo del trabajo.

***Palabras clave**: Transportes, Pronóstico, PRM, Ciclo Deming.*

Abstract

The research was carried out in the production area of a company that provides maintenance services to rail transport, located in Tierra Blanca, Veracruz. In order to reduce unscheduled transport of material by at least 3% through the implementation of moving average forecasts and Material Requirement Planning (MRP). The investigated sample is made up of the services to Locomotives carried out during the month of January 2020 to March 2021 in the aforementioned workshop, a second group studied was registered from April 2021 to September 2021, which served to examine the results of the use of the tools. engineering. The sample is of the non-probabilistic type. The results showed a 8% decrease in unscheduled transportation, exceeding the goal set in the objective of the work.

***Key words**: Transport, Forecast, MRP, Deming cycle.*

Introducción

Hoy en día la logística en las empresas se considera un factor estratégico del que depende su éxito. La cadena de suministro permite mayor competitividad, al generar valor añadido a los productos o servicios ofrecidos, además de reducir costos y optimizar tiempo. “En general, impacta en todos los procesos de gestión de la información en la empresa y es responsable de los cambios generados en el mercado [1]”. El transporte ferroviario es uno de los medios más seguros, es la mejor opción para el tráfico de grandes toneladas de productos y de larga distancia, es el transporte que menos contamina y ayuda a descongestionar las carreteras. “La red ferroviaria conecta entre sí las poblaciones con los principales puertos y fronteras del país, se identifica este medio como el segundo transporte más utilizado, lo cual tiene relevancia en los procesos y gastos dentro de las empresas mexicanas [2]”.

“La gestión de almacenes adquiere gran importancia dentro de la red logística ya que constituyen decisiones claves que definen en gran medida la estructura de los costos -servicios del sistema logístico de una empresa. Si pudiéramos definir con verdadera exactitud la demanda y lograr un suministro eficiente y efectivo, la razón de ser de esta actividad no sería necesaria, pero la realidad es otra [3]”. Parte de las utilidades de la empresa, específicamente en el Mantenimiento y Reparación de Locomotoras, se ven afectadas por los transportes no

programados, debido a que el taller de Tierra Blanca no cuenta con todo el material requerido para cubrir las necesidades de producción. En consecuencia, se deben de realizar en promedio 11 envíos extra a los 4 programados de manera mensual; de ahí la preocupación de la empresa por brindarle a su principal cliente: FERROSUR, un servicio de calidad que cumpla con los indicadores establecidos en el contrato, por lo tanto es relevante que la empresa considere la distribución de los recursos materiales y se permita llevar a cabo en el tiempo y lugar correcto la entrega de locomotoras con la empresa en convenio.

La implementación del sistema de pronósticos y MRP en el área de producción, permitirá alcanzar los objetivos pactados con el cliente, ya que a través de estas técnicas se elaborarán estrategias para el requerimiento de material para los servicios más demandados. Como en toda organización un inventario enorme requiere gran inversión de capital, por lo tanto se espera reducir dicha inversión en inventarios ya que únicamente se realizará la solicitud de compra de acuerdo con la demanda pronosticada.

Metodología

Identificación del problema

Para la implementación del proyecto se utilizó la metodología conocida como ciclo Deming. “La metodología PHVA contempla un ciclo planear, hacer, verificar y actuar, en el cual, a partir de una planeación original, la forma de operación, sus manifestaciones, recursos y potencial mejoran la efectividad en los resultados [4]”. En la organización bajo estudio cuando no se cuenta con el material y/o equipo necesario para cubrir la demanda, los envíos se realizan desde el taller de Xalapa, Veracruz, a la planta Tierra Blanca, lo cual implica, la subcontratación del servicio de transporte de una compañía externa. El costo del transporte depende del tipo de vehículo que utilizan para realizar dicho envió ya sea (automóvil, vehículo de plataforma, estaquita) y el tipo de vehículo que utilizan depende de la carga a transportar.

Tomando en cuenta que se generan en promedio 11 envíos extraordinarios de manera mensual, 4 son realizados en automóvil con un costo medio de $2,500.00, 2 en plataforma con un costo de $6,000.00 y 5 en estaquita con un costo de $4,000.00 lo que genera un costo de $42,000.00 al mes, aproximadamente, y por consiguiente un gasto anual de $504,000.00 por transporte no programado.

Otra afectación importante que sufre la empresa al no tener un buen suministro de material, es la pérdida de tiempo productivo del personal, el recorrido del transporte de Xalapa a Tierra Blanca se realiza aproximadamente en 4 horas más el tiempo que emplea el personal de almacén para reunir el material solicitado, se hace un total de 6 horas perdidas por cada trabajador y mínimamente se asignan dos personas para realizar la actividad por lo que en total son 12 horas-hombre improductivas en una jornada de 8 horas. Es por ello que se espera disminuir los transportes no programados de material en 3%, mediante la implementación de pronósticos y MRP en el área de mantenimiento a locomotoras a una empresa prestadora de de este tipo de servicios en la ciudad de Tierra Blanca, Veracruz.

Población y muestra

La población a considerar incluye todos los servicios a Locomotoras realizados en el taller de Tierra Blanca; por medio de un muestreo no probabilístico basado desde la experiencia del investigador, la primera muestra de estudio serán los servicios a Locomotoras realizados durante el mes de enero 2020 a marzo 2021 y una segunda muestra evaluativa la conformarán los servicios brindados de abril 2021 a septiembre 2021.

Etapa Planear

En esta etapa se programan las actividades que ayudarán a lograr los objetivos planteados, mismas que se enlistan enseguida:

- Actualizar inventarios semanalmente
- Identificar los servicios más solicitados por el cliente
- Planear las actividades programadas por el área de producción
- Realizar pláticas de concientización con el personal (operarios) para la entrega oportuna de las locomotoras
- Realizar pronósticos de los 4 principales servicios más solicitados en el cual padecen por falta de materiales.

- Realizar un plan de requerimientos de materiales de acuerdo con el servicio más solicitado en el cual presentan desabasto de material

Etapa Hacer

El personal de almacén realizó inventarios semanales de los materiales que tenían en existencia (véase ejemplo en la Tabla 1) y con base en ello se solicitaban los materiales faltantes o de mayor consumo para que fueran enviados en el transporte programado.

Tabla 1. Inventario semanal de materiales.

DTR_MATERIAL	NO_PARTE	DESCRIPCION_MATERIAL	UBICACIÓN	TOTAL	CONSUMO	EXIST_XAL	SOLICITUD
DTR0000510952-A	NLA-P-BM4OZ	BOTELLA 4 OZ/113ML ANALISIS ACEITE	ALMACENA01	0	622.2222222	1700	1000
DTR0009153940-A	P7183	FILTRO,MICHANA,ACEITE,LUBRICANTE,	TBV03A01A	228	176.6666667	1445	48
DTR0009143380-A	41B511452P23	ZAPATA,FRENO	TBG02A01B	0	170.5	238	200
DTR0009155093-A	41B511452P20	ZAPATA,FRENO,16"	TBG02A01A	54	158	172	120
DTR0009159501-A	GI-1228	GRASA,CRATER,BASE,SODIO,CORAZAS	TBG05A04D	0	98.71428571	0	100
DTR0009154173-A	41A210382P2	FOCO,50A19/RS,75V,NUMEROS,	TBV11A02A	15	94	204	120
DTR0009155593-A	41C625459P1	FILTRO,AIRE,CABINA,AUXILIAR	TBV01A01D	28	20	110	24
DTR0000465966-A	41A317993P1	ESPACIADOR CABLE,1/2X5/8,21/8 IN L	TBV04A04L2	1	12.4	9	3
DTR0009158279-A	84A203180P1	CARBON,GRADO 320,ALTERNADOR	TBV01A04F	18	12.2	258	40
DTR0009810611-A	AK-2	ELEMENTO,FILTRANTE,AIRE,COMPRESOR	TBV02A01C	4	11.33333333	90	12
DTR0009154181-A	41A210466P6	FAROLA,75VOLTS,350WATTS,PAR56	TBV09A01A	8	11.25	17	12
DTR0009152842-A	41A313392DAP2	CABLE,14AWG,19/27 600V	TBV06B03B	0	10	75	10
DTR0009155080-A	41B510580P2	FIRE-EXTINGUISHER,9KG,NEW	TBV04A05B	0	8.444444444	53	8
DTR0009156114-A	499A912AEP9	JUNTA,CONEX,RADIADORES,CONICA	TBV12A06A	0	8.181818182	0	8
DTR0009156711-A	8827914AFP1	FIRE-EXTINGUISHER-12KG,NEW	TBV04A05C	1	8.125	9	7
DTR0009158354-A	GI-30020	RECARGA,EXTINTOR,9KG	TBV04A05E	0	7.142857143	6	6
DTR0009154905-A	41A302690G1	COPLE,AHULADO(KIT),MONTAJE,FLECHA	TBV16A03C	8	6.909090909	71	2
DTR0009155949-A	482A444ASP7	RESISTENCIA,10,OHMS		0	6	4	6
DTR0009159829-A	GI-30030	RECARGA,EXTINTOR,12KG,GE/EMD	TBV04A05F	0	6	0	6
DTR0009154180-A	41A210466P1	FAROLA,30,VOLTS,200W,	TBV10A01A	0	4.666666667	18	12
DTR0009154189-A	41A210731P1	LAINA,0005",3-1/2",4",ACERO,1045	TBV11A01B	0	4.5	16	4
DTR0009154212-A	41A211183P2	VALVULA,DRENAJE,AUTOMATICO	TBV05A03L	2	4	19	2
DTR0009158231-A	84C615855P1	BOQUILLA,AARENAMIENTO,AC-4400	TBV03A04E1	3	3.416666667	4	3
DTR0009158490-A	121X1258-1	COLLAR,SOPORTE,ABRAZADERA,	TBV16A07A	0	3.285714286	0	3
DTR0000543935	5GDY19N1-TIX	MOTOVENTILADOR,PFD, REPARADO		0	3	17	1
DTR0009152835-A	579076	VALVULA,VENTEO,#8,DESCARGA,	TBV05A04O	3	2.857142857	14	1
DTR0009157955-A	2X6426	VALVULA,SOLENOI&DREN,COMPLETA	TBV05A04J	0	2.4	7	1

El área de producción identificó la frecuencia con que se realizó cada servicio; en la Figura 1 se observa que el servicio denominado “Conjunto de Potencia AC” es el que se encuentra en primer lugar.

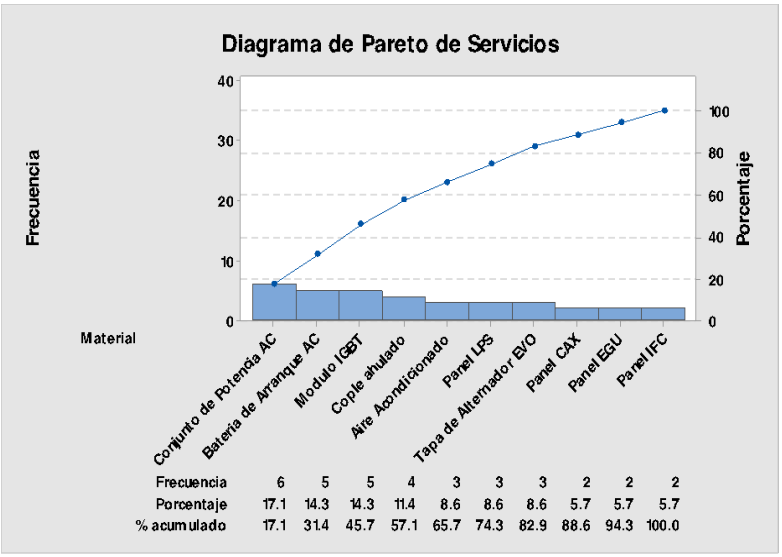


Figura 1. Identificación de servicios más solicitados en el Taller Tierra Blanca.

El primer paso para la implementación del programa MRP es el listado de materiales empleados en la realización del servicio más solicitado (Conjunto de Potencia AC), en el cual se asigna un código a cada componente y se indican las cantidades de piezas a utilizar. El producto obtenido es el que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Lista de materiales: Servicio Conjunto de Potencia AC.

Código del Padre	Código del Componente	Código del nivel	Descripción	Componentes necesarios por padre
	121X1284R	0	Conjunto de Potencia (Chaqueta-Anillos)	
121X1284R	B	1	Armado de Buzos y Guías	1
	O	1	Armado de anillos de pistón	1
	C	1	Armando de las varillas de empuje y juegos de B.A.P y válvulas	1
	P	1	Aplicación del múltiple de escape	1
	E	1	Armado del múltiple de admisión de aire	1
	A	1	Armado del múltiple de admisión de agua	1
	H	1	Armado del distribuidor de descarga de agua	1
B	115X1045-3	2	O-ring, Buzo, ID2.445, CS.210, OD2.859"	3
	115X2145-1	2	Anillo "O"	1
	115X2577	2	Sello, Tipo, Anillo, 2,1/16"DIA	3
O	150X1250	2	Kit, Anillos, Cromados	1
C	DE51036	2	Junta, Empaque, Push, Rod, Cover	1
	115X2729	2	O, ring, para, Tornillo	4
	115X2621-1	2	Anillo"O",1510"OD,0112, Inthick	1
	115X2622	2	Sello,2.792", DIA, INT, P/BAP, AC44	1
	115X2684	2	Junta, Cobre,0150"ESP,	1
	DE5474	2	Rondana, Sello, Planadia,1/2", C/Junto	2
P	128X1637	2	Empaque, Secciones, Transición, Doble	4
	128X1006-1	2	Junta, Codo, Múltiple, Escape, A	1
E	115X1268-1	2	Anillo "O",8,1/4"DIA, EXT,	4
	115X1266-2	2	Empaque, Montaje, Ducto, Admisión,	1
A	499A912AEP9	2	Junta, Conex, Radiadores, Cónica	4
	115X2559	2	Anillo, Sello, EPDM, Negro,1850"	2
H	115X2559	2	Anillo, Sello, EPDM, Negro,1850"	1
	499A912AEP5	2	Junta,1,1/4", Carrete, Drenado,	1

Después de tener el archivo de lista de materiales y cantidades a utilizar se contruye la estructura del servicio en la Figura 2, también conocida como explosión de materiales (por sus siglas en inglés, BOM) que se compone por distintos elementos con demanda dependiente, se asigna el plazo de entrega de cada uno, en semanas, de acuerdo con el estado de inventario.

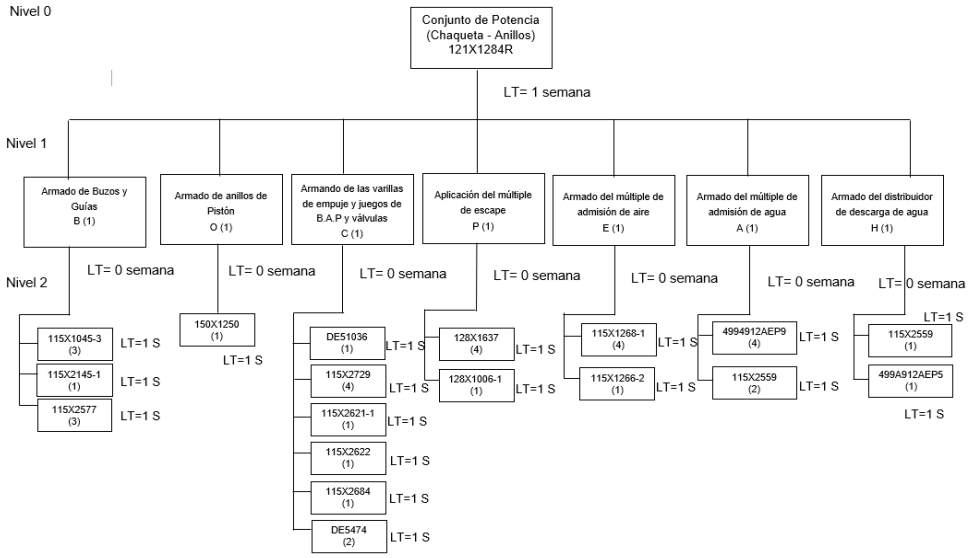


Figura 2. Estructura del servicio Conjunto de Potencia AC.

En la tabla 3 se elabora el reporte de estado de inventario esto es un registro completo de cada material que se tiene en inventario, incluye cantidades a la mano, existencia de seguridad, materiales asignados, tamaño de lote, plazos de entrega, recepción programada (cantidad y semana).

Tabla 3. Inventario de materiales del servicio Conjunto de Potencia AC.

Código de la pieza	A la mano	Existencia de Seguridad	Asignado	Tamaño de lote	Plazos de entrega (semanas)	Recepción Cantidad	Programada Semana
121X1284R	2	1	0	LFL	1	2	1
B	1	0	0	1	0		
O	1	0	0	1	0		
C	1	0	0	1	0		
P	1	0	0	1	0		
E	1	0	0	1	0		
A	1	0	0	1	0		
H	1	0	0	1	0		
115X1045-3	12	1	0	LFL	1		
115X2145-1	7	1	0	LFL	1		
115X2577	4	1	0	LFL	1		
150X1250	2	1	0	LFL	1		
DE51036	5	1	0	LFL	1		
115X2729	46	1	8	LFL	1		
115X2621-1	20	1	0	LFL	1		
115X2622	13	1	2	LFL	1		
115X2684	10	1	0	LFL	1		
DE5474	27	1	3	LFL	1		
128X1637	52	1	8	LFL	1		
128X1006-1	8	1	0	LFL	1		
115X1268-1	64	1	6	LFL	1		
115X1266-2	19	1	0	LFL	1		
499A912AEP9	17	1	0	LFL	1	8	1
115X2559	15	1	0	LFL	1		
499A912AEP5	16	1	0	LFL	1		

Etapa Verificar

Pronóstico para el servicio Conjunto de Potencia AC

A partir de registros reales en el área de operaciones se muestran los servicios realizados por cambio de Conjunto de Potencia AC del mes de enero 2020 a marzo 2021 y en la Tabla 4 se realiza un pronóstico con un periodo móvil de dos meses, por tal motivo se inició a partir del mes de marzo 2020, es decir, para el primer cálculo se tomó en cuenta los meses enero y febrero.

Tabla 4. Tabla de promedio móvil del servicio Conjunto de Potencia AC.

Mes	Servicios	Pronostico n= 2 meses	Valor Absoluto n=2 meses
Enero 2020	2		
Febrero 2020	2		
Marzo 2020	1	2	1
Abril 2020	2	1.5	0.5
Mayo 2020	3	1.5	1.5
Junio 2020	5	2.5	2.5
Julio 2020	1	4	3
Agosto 2020	2	3	1
Septiembre 2020	0	1.5	1.5
Octubre 2020	0	1	1
Noviembre 2020	1	0	1
Diciembre 2020	1	0.5	0.5
Enero 2021	1	1	0
Febrero 2021	4	1	3
Marzo 2021	3	2.5	0.5
Desviación absoluta total			17
Desviación absoluta media			1.3

Como se puede observar en la figura 3 se asegura un 95 % de que los servicios de Conjunto de potencia AC para los meses de abril y mayo del 2021 serían desde 0 a 7 con un pronóstico de 3.5 servicios.

 ISSN: 2007 8102

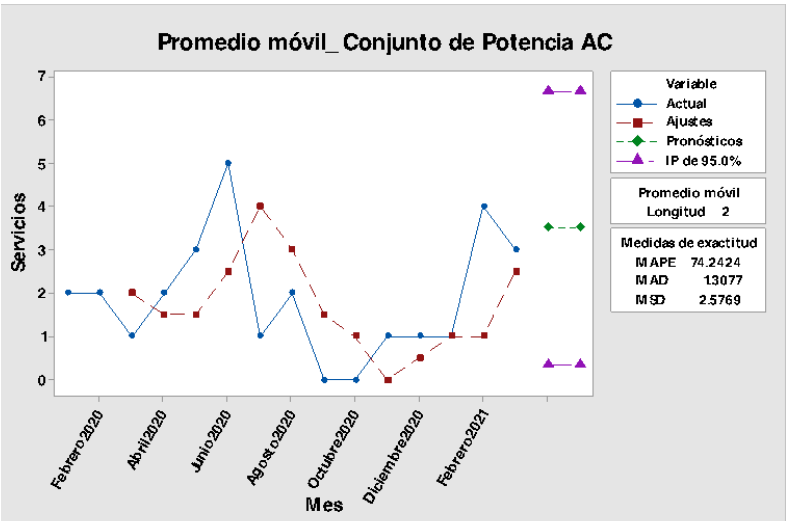


Figura 3. Serie de tiempo de promedio móvil del servicio Conjunto de Potencia AC

Plan de Requerimiento de materiales para el servicio Conjunto de Potencia AC

"El MRP es casi universal en las empresas de fabricación, incluso para las más pequeñas. La razón es que MRP es un método lógico fácil de entender para determinar la cantidad de piezas, componentes y materiales necesarios para producir el producto final completo [5]". Después de haber obtenido los datos del estado de inventario y la evaluación del pronóstico de la demanda, se inicia el programa MRP, cuyo desglose se evidencía en la Tabla 5.

Tabla 5. Programa de Requerimiento de materiales del servicio Conjunto de Potencia AC.

Código del articulo	Código de nivel	Tamaño del lote	Plazo de entrega	A la mano	Existencia de seguridad	Asignados		MESES					
								1	2	3	4	5	6
121X1284R	0	LFL	1	2	1	0	Requerimientos brutos	2	1	2	3	2	1
							Recepciones programadas	2					
							Disponible	1	1	0			
							Requerimientos netos			2	3	2	1
							Recepción de pedidos planeados			2	3	2	1
							Liberación de pedidos planeados		2	3	2	1	
B	1	1	0	1	0	0	Requerimientos brutos		2	3	2	1	
							Recepciones programadas		2	3	2	1	
							Disponible	1	1	1	1	1	1
							Requerimientos netos						
							Recepción de pedidos planeados						
							Liberación de pedidos planeados						
O	1	1	0	1	0	0	Requerimientos brutos		2	3	2	1	
							Recepciones programadas		2	3	2	1	
							Disponible	1	1	1	1	1	1
							Requerimientos netos						
							Recepción de pedidos planeados						
							Liberación de pedidos planeados						
C	1	1	0	1	0	0	Requerimientos brutos		2	3	2	1	
							Recepciones programadas		2	3	2	1	
							Disponible	1	1	1	1	1	1
							Requerimientos netos						
							Recepción de pedidos planeados						
							Liberación de pedidos planeados						
P	1	1	0	1	0	0	Requerimientos brutos		2	3	2	1	
							Recepciones programadas						
							Disponible	1	1				
							Requerimientos netos		1	3	2	1	0
							Recepción de pedidos planeados		1	3	2	1	
							Liberación de pedidos planeados	1	3	2	1		

Programa de pedidos

Al finalizar el programa MRP se obtienen resultados que proporcionan el programa de pedidos planeados para el futuro. En la Tabla 6 se aclaran los materiales y cantidades que se van a solicitar de acuerdo con la demanda de los servicios en las fechas mencionadas en el programa.
De esta manera se estará solicitando el material en la fecha indicada para evitar ocasionar transportes no programados por la falta de material, es así como se llevara el control de las solicitudes de material para el servicio Conjunto de Potencia AC.

Tabla 6. Programa de pedidos planeados: Conjunto de Potencia AC.

Código del				Meses		
articulo	1	2	3	4	5	6
121X1284R		**2**	**3**	**2**	**1**	
B	**1**	**3**	**2**	**1**		
O	**1**	**3**	**2**	**1**		
C	**1**	**3**	**2**	**1**		
P	**1**	**3**	**2**	**1**		
E	**1**	**3**	**2**	**1**		
A	**1**	**3**	**2**	**1**		
H	**1**	**3**	**2**	**1**		
115X1045-3		**6**	**6**	**3**		
115X2145-1			**1**	**1**		
115X2577	**5**	**9**	**6**	**3**		
150X1250	**1**	**3**	**2**	**1**		
DE51036		**1**	**2**	**1**		
115X2729						
115X2621-1						
115X2622						
115X2684						
DE5474						
128X1637						
128X1006-1				**1**		
115X1268-1						
115X1266-2						
499A912AEP9			**7**	**4**		
115X2559		**3**	**6**	**3**		
499A912AEP5						

Etapa Actuar

Esta etapa permitió plantear acciones de mejora, las propuestas de trabajo son las que se resumen en la Tabla 7, se inició estableciendo la acción requerida, luego se estableció la forma en que se iba a recolectar la información, cómo se controlaría la acción y la persona responsable de dirigir el trabajo (en todos los casos fue el supervisor de producción).

Tabla 7. Plan de acción para acciones de mejora.

Requerimiento	Medición	Método de control	Responsable
Supervisa áreas de trabajo	Registro de incidencias	Retroalimentación al MRP	Supervisor de producción
Contacto con proveedores	100% pedidos completos	Cumplimiento de programa de mantenimiento.	Supervisor de producción
Reforzar pláticas a equipos de trabajo	Evaluación de desempeño	Auditoría Interna	Supervisor de producción

Resultados y discusión

Comparación de resultados

En la Tabla 8 se presentan los transportes no programados realizados por semana antes de la aplicación de pronósticos y MRP del mes de septiembre 2020 a febrero 2021 y posteriormente los transportes no programados generados después de la implementación de las herramientas mencionadas.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 8. Datos antes y después de aplicación de pronósticos y MRP.

Antes de aplicación de Pronósticos y MRP		Después de aplicación de Pronósticos y MRP	
Sep 2020- Feb 2021	Transportes No Programados	Abril-2020 Sep-2021	Transportes No Programados
Semana 1	0	Semana 1	2
Semana 2	2	Semana 2	3
Semana 3	3	Semana 3	2
Semana 4	1	Semana 4	2
Semana 5	4	Semana 5	4
Semana 6	2	Semana 6	2
Semana 7	1	Semana 7	1
Semana 8	1	Semana 8	2
Semana 9	0	Semana 9	2
Semana 10	3	Semana 10	2
Semana 11	3	Semana 11	4
Semana 12	5	Semana 12	3
Semana 13	2	Semana 13	2
Semana 14	3	Semana 14	1
Semana 15	5	Semana 15	3
Semana 16	3	Semana 16	4
Semana 17	2	Semana 17	0
Semana 18	3	Semana 18	2
Semana 19	1	Semana 19	3
Semana 20	2	Semana 20	2
Semana 21	2	Semana 21	2
Semana 22	1	Semana 22	1
Semana 23	4	Semana 23	4
Semana 24	3	Semana 24	2
Semana 25	5	Semana 25	3
Semana 26	5	Semana 26	2
Total:	66	Total:	60

La figura 4 muestra que los transportes no programados disminuyeron, tomando en cuenta que antes de la aplicación fueron 66 transportes generados siendo este dato el punto de comparación (100%) y al término de la aplicación fueron 60 transportes siendo este un 92% del valor inicial. Por lo tanto, la diferencia de los viajes entre antes y después de la aplicación de los pronósticos y MRP es de un 8%, superando el objetivo planteado en un inicio del 3%.

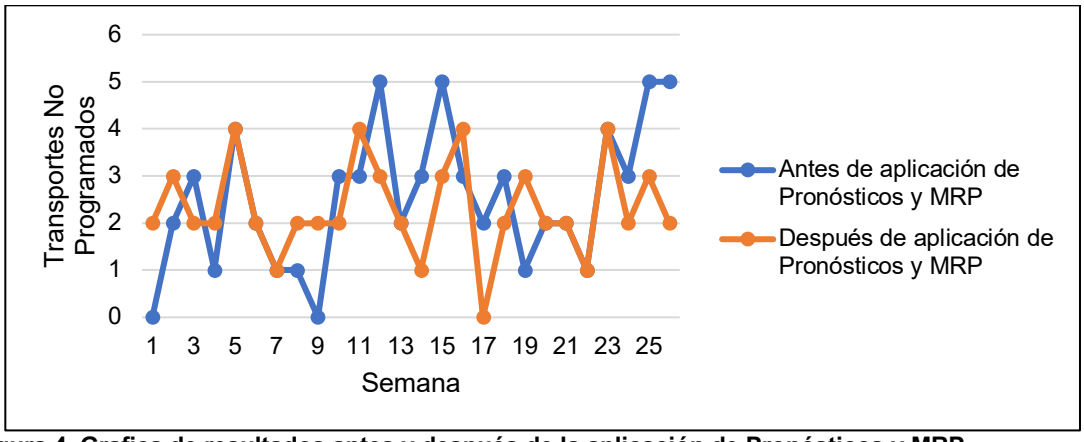


Figura 4. Grafica de resultados antes y después de la aplicación de Pronósticos y MRP

Discusión

La realización de pronósticos de la demanda y la programación del requerimiento de materiales es un tema extenso debido a las múltiples técnicas de pronóstico que pueden ser aplicadas y la incertidumbre que rodea a todas las actividades de la organización. En el trabajo realizado por Bermudes y otros, “para garantizar la máxima satisfacción del cliente el inventario se gestiona para equilibrar los costos propios de mantener un inventario y los costos de no poder satisfacer una demanda [6]”, tal como se propone en este trabajo para disminuir el costo ocasionado por absorber faltante de inventarios.

La aplicación del principio de Pareto para identificar una demanda preponderante y posteriormente ser pronosticado también ha sido aplicado por Madariaga y demás “con el agregado de resolver problemas de

clasificación de ítems del inventario, basados en ABC y el proceso de análisis jerárquico; la metodología constó de tres fases, la primera encargada de la clasificación de los inventarios, la segunda del pronóstico, y la tercera del análisis integrado de los resultados [7]".

En una investigación a una cadena de suministro de productos perecederos se obtuvieron conclusiones similares a las identificadas en este caso de estudio, como que "se demuestra la utilidad que tienen los pronósticos para la toma de decisiones en diversas áreas y la planeación de actividades en empresas de almacenamiento y movilidad de productos; así como que la planeación y administración de los inventarios pueden realizarse de una forma más eficiente y confiable [8]".

Trabajo a futuro

Deben realizarse los pronósticos de la demanda y todas las actividades del MRP para los otros servicios con mayor contribución obtenidos en este análisis, éstos fueron Batería de Arranque AC, Módulo IGBT y Cople ahulado (verifíquese esta información en el diagrama de Pareto de la Figura 1).

Adicionalmente, se pudiera realizar un análisis de serie de tiempo por el método de regresión lineal o con variaciones estacionales para evaluar la calidad de las predicciones y elegir aquella técnica que reduzca la incertidumbre; del mismo modo, si los administradores de las operaciones de la instalación ayudan a establecer niveles de servicio se podría diseñar un sistema de inventarios por demanda probabilística para establecer puntos de reorden a cada clasificación de productos.

Conclusiones

La implementación de pronósticos y MRP ayudan a reducir los transportes no programados de material y equipo de reparación en el área de producción (manteniemiento a locomotoras) de la Empresa. Donde la diferencia de los transportes generados antes y después de la aplicación de las herramientas es del 8% disminuyendo 6 transportes. "Los principales problemas de las empresas en este ámbito se encuentran directamente relacionados con el tema del adecuado abastecimiento o planificación de recursos, pues la mayoría de las empresas utilizan productos que no tienen tanta demanda, generando con ello existencia de inventario que ocupa espacio en almacenes [9]".

Los servicios más solicitados al área de producción con respecto a su porcentaje o grado de importancia en los cuales destacan entre los 4 servicios más solicitados cambio de Conjunto de potencia AC, Batería de arranque AC, Modulo IGBT y Cople Ahulado. Con la realización del pronóstico para el servicio principal se tiene noción sobre los servicios en el futuro y así se puede solicitar el material en tiempo y forma.

Mediante el Plan de Requerimiento de Materiales se obtiene el programa de pedidos planeados que ayudará a realizar las solicitudes de materiales para el servicio más demandante en el área de producción (Conjunto de Potencia AC).

Referencias

[1] M. A. L. Manrique Nugent, J. Teves Quispe, A. M. Taco Llave y J. A. Flores Morales, «Gestión de cadena de suministro: una mirada desde la perspectiva teórica,» *Revista Venezolana de Gerencia,* vol. 24, nº 88, pp. 1136-1146, 2019.

[2] I. G. Claire Torres, A. I. Barocio Torres y M. C. Saldaña Meza, «Factores de riesgos financieros en empresas de logística (transporte ferroviario): zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco,» *Revista Activos,* vol. 19, nº 2, pp. 9-24, 2021.

[3] A. Rizo León, «Los sistemas logísticos y las cadenas de suministros,» *Anuario Ciencia en la UNAH,* vol. 16, nº 1, 2018.

[4] P. A. Verástegui León, Diseño de la metodología del Ciclo de Deming (PHVA) de mejora continua para elevar el nivel de servicio al usuario en el departamento de registro y orientación del SAT Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte, 2018.

[5] M. A. Jave Correa, Implementación de un sistema de Planificación de Requerimiento de Materiales (MRP) y Mantenimiento Productivo Total (TPM) en las áreas de producción y logística para reducir los costos operativos en la empresa Molino Paquito EIRL, Perú: Universidad Privada del Norte, 2021.

ISSN: 2007 8102

[6] A. Bermudes Del Sol, N. Sablon Cossio, E. Escobar Barroso, R. Castro Coello y R. Suarez Mella, «Diseño de un sistema de control de inventario de una tienda de juguetes,» *Ingeniería Industrial,* nº 43, pp. 61-79, 2022.

[7] C. Mandariaga Fernandez, Y. Lao Leon, D. Curra Sosa y R. Lorenzo Martin, «Metodología para pronosticar demanda y clasificar inventarios en empresas comercializadoras de productos mayoristas,» *Retos de la Dirección,* vol. 14, nº 2, pp. 354-373, 2020.

[8] A. Contreras Juarez, C. Atziry Zuñiga, J. L. Martinez Flores y D. Sanchez Partida, «Análisis de serie de tiempo en el pronóstico de la demanda de almacenamiento de productos perecederos,» *Estudios Gerenciales,* vol. 32, nº 141, pp. 387-396, 2016.

[9] J. Chávez Medina, N. A. Santiesteban López y V. G. Luna Fernández, «Desarrollo metodológico de aprovisionamiento de materiales a través de MRP: caso de una proveedora del sector automotriz,» *Estudios de Administración,* vol. 27, nº 2, pp. 113-133, 2020.

 ISSN: 2007 8102

Optimización de logística de transporte a través del método "secuencia de rutas" y una Power App.

S. J. Santaman Montoya[1], M. E. Maceda Rodríguez[2], R. López Arroyo[2]*, F.H. Fontes Medina[2], M. G. Aguilar Uscanga [3]
[1]Estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Veracruz. L18020732@veracruz.tecnm.mx[1], [2]Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Veracruz, maria.mr1@veracruz.tecnm.mx, [3]Departamento de Química-Bioquímica

Área de participación: Ingeniería Industrial.

Resumen

La logística de transporte es una función esencial en la gestión eficiente de la cadena de suministro. En la actualidad, uno de los principales objetivos de las empresas es optimizar sus procesos para aprovechar de manera eficiente sus recursos, con el fin de reducir tiempos y costos.
El presente trabajo se desarrolla en el área de Logística Doméstica, encargada de brindar servicio diario de transporte terrestre a los trabajadores de una empresa prestadora de servicios. Se busca lograr, con el uso del método de secuencia de rutas una optimización en el proceso de asignación de transporte y del ruteo que tiene que seguir, reduciendo tiempos y costos. Además, se complementa con el uso de una Power App con el fin de brindar una atención más completa y rápida a los trabajadores que reciben el servicio.

Palabras clave: *Logística, power app, secuencia de rutas, transporte.*

Abstract

Transportation logistics is an essential function in efficient supply chain management. Currently, one of the main objectives of companies is to optimize their processes to efficiently use their resources, in order to reduce time and costs.
This work is developed in the area of Domestic Logistics, responsible for providing daily ground transportation service to the workers of a service provider company. The aim is to achieve, with the use of the route sequence method, an optimization in the transport assignment process and the routing that must be followed, reducing time and costs. In addition, it is complemented with the use of a Power App in order to provide more complete and faster attention to the workers who receive the service.

Key words: *Logistics, power app, route sequence, transportation.*

Introducción

La logística puede definirse como la ciencia que estudia cómo las mercancías, las personas o la información superan el tiempo y la distancia de forma eficiente. Así, la logística se contempla como envolvente natural del transporte, y es posible aplicar principios comunes a la concepción de un sistema de transporte colectivo en una ciudad, a la definición de una red de carreteras, o en el sistema de distribución de una empresa fabricante de productos [1].

ISSN: 2007 8102

Actualmente en las industrias uno de los principales objetivos es optimizar sus procesos para aprovechar de manera eficiente sus recursos, sean estos humanos, físicos, virtuales, entre otros, con el fin de reducir tiempos y costos, lo que genera mayores ganancias para la empresa y si de logística de transporte de personal se habla, la actividad se refleja en la empresa como un gasto puesto que esta no le suma valor ni ingresos, por tal motivo es sumamente beneficioso atacar los gastos que este proceso consume.

Los procedimientos para medir la productividad en el transporte se basan en la construcción de distintas razones de salidas con respecto a entradas, dada la diversidad de medidas de oferta y demanda [2]. Entonces bien, la actualización y el balanceo de rutas dependiendo a la oferta y demanda que se tenga en la zona, variantes por temporadas altas o bajas, es crucial para una correcta utilización y asignación de recursos.

En este artículo, se expondrá en el área de logística que brinda servicio de transporte terrestre dentro de una empresa prestadora de servicios, en particular de personal humano, así también se observará la mejora que contrajo establecer rutas, balancearlas por el método de “secuencias de ruta” y posteriormente aterrizar el trabajo y los datos a una aplicación, donde los demandantes del servicio solicitan sus viajes conforme sean sus necesidades de transporte, para posteriormente hacer la programación y la asignación de las unidades en las rutas y horarios correspondientes, hacer un uso totalmente eficiente de estas.

El transporte es una actividad económica básica formada por tres elementos fundamentales: infraestructuras, vehículos y empresas de servicios de transporte. El objetivo básico de la actividad de transporte es el traslado de personal y material en el menor tiempo y con la mayor seguridad posible [3]. Es por ello por lo que si se realiza el balaceo de las rutas y las mejoras en la aplicación el objetivo anteriormente mencionado se cumplirá en su totalidad, reduciendo tiempos y haciendo el recorrido de los vehículos más seguras y eficientes.

Metodología

Un balance de rutas se refiere a una técnica utilizada para distribuir el tráfico de manera equitativa y eficiente entre varias rutas o caminos hacia un mismo destino. El objetivo principal del balanceo de rutas es optimizar el uso de recursos de red, mejorar la tolerancia a fallos y evitar la congestión en enlaces específicos [4].

Lo primero que se realizó fue el balanceo de rutas, estableciendo rutas nuevas y eliminar las que estaban obsoletas, para poder balancear las rutas se llevó a cabo un análisis del ruteo actual, después de ella se estableció el método a seguir puesto que este fue el que cubría las necesidades y los aspectos clave que se tenían para la logística de transporte del personal que hacia sus movimientos diarios.

1. Definir los horarios haciendo uso del método secuencia de rutas.
2. Definir las escalas y nombrarlas.

Estas actividades fueron sumamente exhaustivas, puesto las rutas debían cumplir con los horarios de los trabajadores y aprovechar al máximo el recurso de las unidades, basándose en los folios promedio que se tenían en historial, aumentó el nivel de complejidad debido a la integración de las carpetas en la base de datos

ISSN: 2007 8102

en la nube, en este paso se realizaron pruebas para que en la aplicación se vieran reflejadas la opción de rutas, horarios y escalas, así que esta etapa fue, prueba, error y mejora, se presentaron distintas problemáticas, debido a que hay locaciones con un mayor volumen de trabajadores las rutas hacían viajes dobles en distintos horarios para poder transportar a todos los trabajadores, pero en la aplicación se revolvían los horarios, así que la solución fue agregar rutas de regreso para hacer un señalamiento y que esto no pasara.

Una vez solucionada esa confusión, en pocas semanas se logró que en la aplicación se reflejara correctamente los horarios, las escalas y los nombres de las rutas

Secuencia de las rutas

Si la ruta es de corta duración, el vehículo está subutilizado para el resto del tiempo disponible. En la práctica, sin embargo, si otra ruta comienza después que se complete la primera, el vehículo estará disponible para ser asignado a esa segunda ruta. Por lo tanto, el número de vehículos necesarios es determinado por asignación continua de las rutas de extremo a extremo, de tal manera que el vehículo tenga un mínimo de tiempo de reposo. Organizar de esta manera minimiza el número de camiones requerido para cubrir todas las rutas. Una variante popular de este problema de secuencias se aplica a camiones que hacen los repartos en paradas con diferente frecuencia sobre un periodo amplio. Una asignación cuidadosa de las paradas y de las cargas de la semana, por ejemplo, equilibrando las cargas cada semana, ayuda a minimizar el número de camiones necesarios en la flota [6].

A continuación, en la Tabla 1 se puede observar los límites de tiempo de las rutas, ejemplificando la teoría anteriormente descrita.

Tabla 1. Límites de tiempo en las rutas.

Ruta	Hora de salida	Hora de regreso
1	8:00 A.M.	10:25 A.M.
2	9:30 A.M.	11:45 A.M.
3	2:00 P.M.	4:53 P.M.
4	11:31 A.M.	3:21 P.M.
5	8:12 A.M.	9:52 A.M.
6	3:03 P.M.	5:13 P.M.
7	12:24 P.M.	2:22 P.M.
8	1:33 P.M.	4:43 P.M.
9	8:00 A.M.	10:34 A.M.
10	10:56 A.M.	2:25 P.M.

Fuente: [6].

Posterior al balanceo de rutas se procedió a la optimización de la Power App (aplicación tecnológica de poder), la cual ya estaba obsoleta pues tenía 3 años sin tener una mejora o actualización de escalas, horarios etc. La investigación que se obtuvo fue la siguiente:

¿Qué es Power Apps?

Power Apps es un conjunto de aplicaciones, servicios y conectores, así como una plataforma de datos que proporciona un entorno de desarrollo de aplicaciones ágil para crear aplicaciones personalizadas para las necesidades de la empresa. Al usar Power Apps, se puede crear aplicaciones empresariales de forma rápida

ISSN: 2007 8102

que se conectan a los datos del negocio almacenados en la plataforma de datos subyacentes (Microsoft Dataverse) o en varios orígenes de datos locales y en línea (como SharePoint, Microsoft 365, Dynamics 365, SQL Server, etc.) [7].

Share Point

SharePoint y OneDrive en Microsoft 365 son servicios basados en la nube que ayudan a las organizaciones a compartir y administrar contenido, conocimiento y aplicaciones para:

- Capacitar el trabajo en equipo.
- Búsqueda rápida de información.
- Colaborar sin problemas en toda la organización.

Los recursos de esta página están diseñados para empezar. En función de las necesidades de la organización, es posible leer sobre las opciones de migración y gobernanza antes de empezar a lanzar SharePoint y OneDrive a los usuarios.

Migración para la implementación de SharePoint y OneDrive

Una tarea clave en la implementación de SharePoint y OneDrive para una organización es un plan para migrar los archivos existentes de los usuarios. Dependiendo de dónde se conservan los archivos, hay varias opciones, que se describen a continuación. Se puede elegir una o varias de estas opciones en función del número y de la ubicación de los archivos que necesita migrar.

Los siguientes tipos de datos se pueden migrar con herramientas de Microsoft:

- Archivos y carpetas (desde el entorno local u otros proveedores de nube).
- Contenido y sitios de SharePoint Server.
- Flujos de trabajo de SharePoint Server 2010.

Se recomienda que los usuarios de la organización revisen el contenido que planean migrar a SharePoint y OneDrive. Puede haber contenido antiguo que ya no sea necesario y que se pueda eliminar o archivar. Esto puede ayudarle a ahorrar tiempo de migración y espacio de almacenamiento en Microsoft 365 [7].

Con la información recabada se procedió a la parte de mejora y optimización de la aplicación, agregando escalas, nombres de rutas, rutas nuevas, horarios etc.

Reacomodo de unidades

Seleccionar un medio de transporte para la cadena de suministro es una decisión tanto de planeación como de operación [5]. Los coordinadores que se encargan de realizar estas planeaciones tienen el conocimiento necesario para balancear e incluso establecer rutas nuevas las cuales impulsaran el óptimo recurso de las unidades, así como el definir qué tipo y que cantidad de unidades son necesarias para cubrir la operación acorde a la demanda que haya en la región.

ISSN: 2007 8102

Por último, se realizó también la evaluación de las unidades y con el conocimiento de las personas encargadas de programar se hizo el reacomodo de las unidades con las que se trabaja, las cuales son de los siguientes tipos:

- SEDAN (con una capacidad de 3-4 pasajeros dependido el modelo y tipo de la unidad).
- SUV (con una capacidad de 4-8 pasajeros dependiendo el modelo y tipo de la unidad).
- VAN (con una capacidad de 9 a 14 pasajeros dependiendo el modelo y tipo de la unidad).

De esta manera en las locaciones que se movía un mayor volumen de personal se asignaban las unidades correspondientes a la demanda.

En la Figura 1 que se muestra a continuación se pueden observar un ejemplo de ellas:



Figura 1. Tipo de unidades.

Resultados y discusión

Rutas balanceadas

A continuación, se muestra en la Tabla 2, un ejemplo de cómo quedaron balanceadas la rutas conforme el método secuencias de rutas.

Tabla 2. Ruta balanceada.

Parada	Horarios Ruta
Hotel Galerias Plaza	07:25
Parada Farmacia Guadalajara	07:30
Parada Santa Maria	07:35
Hotel AC Marriott	07:40
Hotel Camino Real	07:45
Hotel Fiesta Inn Boca del Rio	07:50
Hotel Holiday Inn Boca del Rio	07:55
Casa Staff Boca Tower	08:00
Parada Home Depot	08:15
Hotel Yes Inn	08:30
Base	18:20

ISSN: 2007 8102

Se estableció un total de 18 rutas con la ayuda del método, las cuales serán parte importante de la optimización de la aplicación que se verá a continuación.

Optimización de la aplicación

Lo primero que se optimizo fue el agregar los nombres de las rutas, así como las escalas definidas y los horarios establecidos.

En la Figura 2 que se muestra a continuación se pueden observar las rutas:

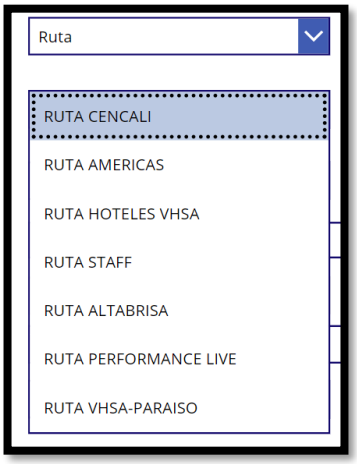


Figura 2. Rutas.

En la Figura 3 que se muestra a continuación se observan las escalas definidas.

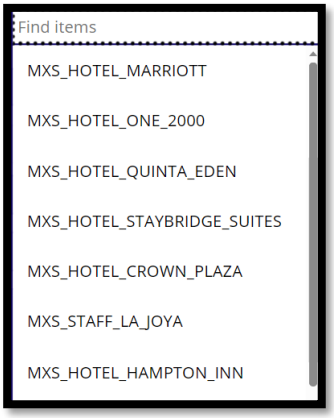
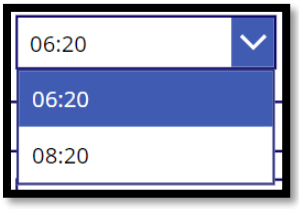


Figura 3. Escalas

A continuación, en la Figura 4 se observan los horarios definidos.



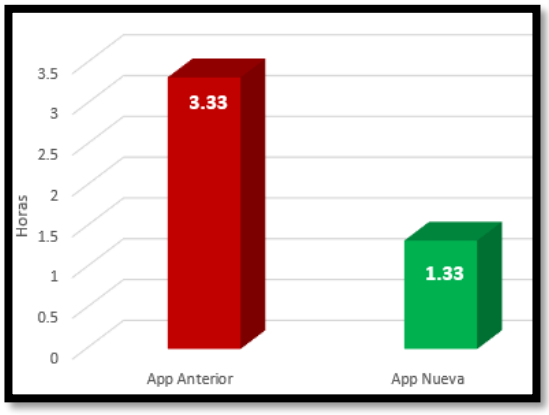
ISSN: 2007 8102

Figura 4. Horarios definidos.

Estos fueron los resultados donde se encuentra un antes y después expresado en horas en tiempo invertido en el proceso de la programación de unidades, estos datos se o tuvieron a través de 2 encuestas realizadas a las personas involucradas en esta tarea, realizadas en pre y post optimización, antes cuando no había rutas establecidas y el tiempo que invertían en cuadrar la ruta era de aproximadamente 3.33 horas del tuno, ahora toma solamente 1.33 horas, lo que se traduce a una disminución de 2 horas invertidas en esta actividad.

A continuación, en la Tabla 3 se observa gráficamente.

Tabla 3. Balanceo de rutas.



A demás de estas optimizaciones se agregaron unas pequeñas mejoras a la aplicación lo que permitirá hacerla más eficiente y ahorrar tiempo en el proceso de programación de las unidades que fueron la siguiente:

- Cancelación y confirmación de folios masivamente.

En la Figura 5 que se muestra a continuación, se observan las mejoras anteriormente mencionadas.

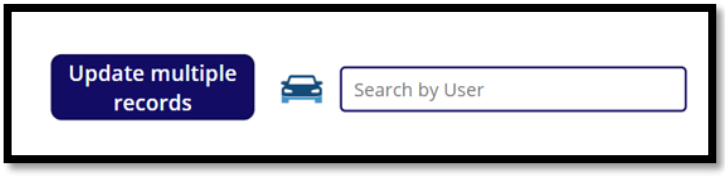


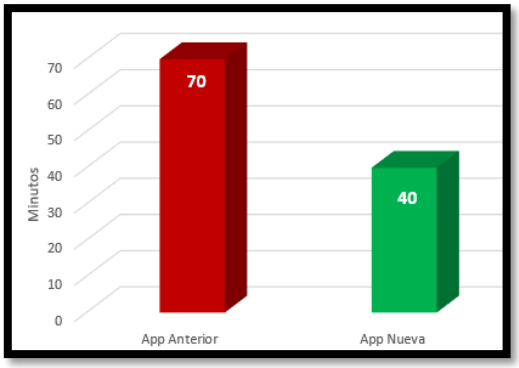
Figura 5. Mejoras extra de la App.

En cuanto al impacto de las cancelaciones y confirmaciones masivamente, antes de la mejora se invertía un total de 70 minutos cancelando folio por folio, después de la optimización de la aplicación se invierten un total de 40 minutos, lo que redujo un total de 30 minutos en esta actividad.

A continuación, en la Tabla 4 se observa gráficamente.

ISSN: 2007 8102

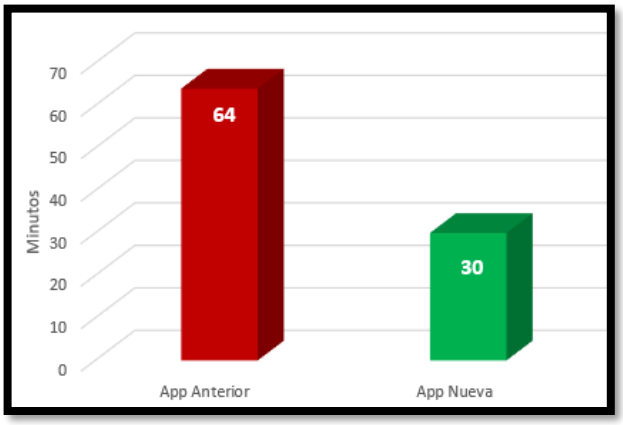
Tabla 4. Cancelación de folios masivamente.



Así mismo con la confirmación de folios, se invertía un aproximado de 64 minutos en esta actividad y después de la mejora de la App se invierten 30 minutos en esta actividad, lo que se traduce a 34 minutos de ahorro.

En la Tabla 5 se puede observar esta información.

Tabla 5. Confirmación de folios.

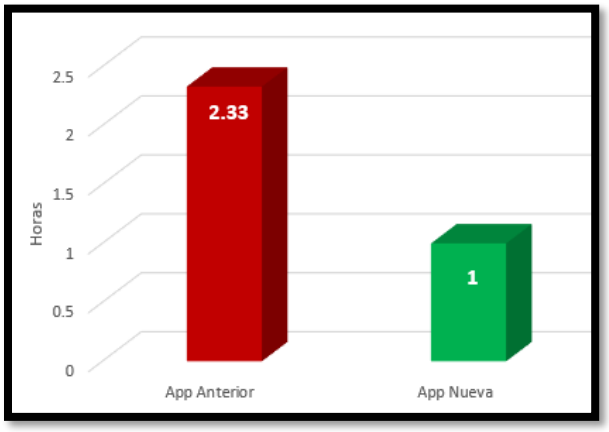


Para finalizar los resultados, de la misma manera que se tomaron los tiempos aproximados se hizo igual con las horas de trabajo extra que le tomaba a las personas a cargo de este trabajo terminar por completo el mismo, los números arrojados fueron los siguientes: antes de la optimización de la aplicación y del balanceo de rutas se invertía un promedio de 2.33 horas extras del turno laboral de 8 horas, posterior a las mejoras las horas extras invertidas para el desempeño de la tarea es de 1 hora, lo que impacta en un ahorro de 1.33 horas.

En la Tabla 6 que a continuación se muestra se pueden observar los resultados gráficamente.

ISSN: 2007 8102

Tabla 6. Horas extra de trabajo.



Trabajo a futuro

Actualizar las rutas, escalas, horarios etc., según sea la demanda que se requiere en cada locación.

Conclusión

Balancear las rutas , establecer horarios y escalas definidas en la logística de transporte de personal, que tiene una demanda de estos mismos fluctuante es de suma importancia para la optimización de los recursos tanto humanos, físicos y el tiempo, al hacer este balanceo y la mejora de la aplicación se obtuvieron resultados cuantificables reflejados en ahorro de tiempo lo que tare consigo ahorro de dinero a la compañía, también la correcta optimización del recurso físico, una optimización en los kilometrajes y en las unidades que presentaban tiempos muertos de servicio, así como un servicio de mejor calidad hacia los usuarios del transporte y no se puede pasar por alto drástica disminución de tiempo en los procesos de coordinación de las unidades, lo que beneficia a las personas involucras en este trabajo, lo que proporciona una mejor calidad de rendimiento en el trabajo del coordinador y por ende beneficia a la empresa.

Referencias

[1] F. Robusté Antón, Logística del transporte, Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2015, p. 12.

[2] G. D. Rus, Economía del transporte, Barcelona: Antoni Bosch, 2002.

[3] S. H. C. A. y. A. d. l. F. F. Truyols Matéu, Ingeniería del transporte: teoría y práctica., Madrid: Delta Publicaciones, 2007, p. 24.

[4] L. Chappell, 2007. [En línea]. Available: https://www.chappell-university.com/.

[5] M. Chopra, Logística, México: Trillas, 2010.

[6] R. H. Ballou, Logística: Administracion de la cadena de suministro., Edo. de México: Pearson Educacion, 2004.

[7] Microsoft, «Documentacion tecnica,» 2023. [En línea]. Available: https://learn.microsoft.com/es-es/docs/.

ISSN: 2007 8102

Implementación de seis sigma transaccional para reducir desfases de tiempos en una empresa de software

F. A. Bielma López 1[1], M. S. Flores Serrano 2 [2], L. Fuentes Rosas 3[3], L. G. Tobón Galicia 4[4]
[1]Tecnológico Nacional de México/Maestrante del Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca y farid.bielma@intekel.com, [2]Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca y maria.flores@itstb.edu.mx, [3]Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca y liliana.fuentes@itstb.edu.mx, [4]Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca y lucila.tobon@itstb.edu.mx.

***Área de participación**: Ingeniería Industrial*

Resumen

Cuando los proyectos se salen del tiempo programado ocasiona a una empresa mexicana de software problemáticas como sobrecostos por pagos de nóminas y de recursos extras, afectaciones a otros proyectos por no asignar a tiempo al personal necesario, mala reputación y limitaciones para atender nuevos clientes y proyectos, algunas de esas causas no siempre son internas, sino también son originadas por los propios clientes, quiénes quieren obtener el máximo rendimiento a sus inversiones (ampliando el alcance de su requerimiento sin incrementar el presupuesto). Con la aplicación de la metodología DMAIE, se obtuvo el objetivo de reducir de 54 a 21 días los desfases de tiempo en la entrega de servicios de software (reducción del 61%). Al final, se concluyó que con la aplicación de herramientas cuantitativas y cualitativas de Seis Sigma Transaccional se logró reducir los desfases de tiempos a 14 días.

***Palabras clave**: seis sigma transaccional, DMAIE, desfases, sobrecostos*

Abstract

When projects go beyond the scheduled time, it causes a Mexican software company problems such as cost overruns for payroll payments and extra resources, affectations to other projects due to not assigning the necessary personnel on time, bad reputation and limitations to serve new clients and projects. , some of these causes are not always internal, but are also originated by the clients themselves, who want to obtain the maximum return on their investments (expanding the scope of their requirement without increasing the budget). With the application of the DMAIE methodology, the objective of reducing time lags in the delivery of software services from 54 to 21 days was achieved (61% reduction). In the end, it was concluded that with the application of quantitative and qualitative tools of Transactional Six Sigma it was possible to reduce the time lags to 14 days.

***Key words**: transactional six sigma, DMAIE, lags, cost overruns*

Introducción

En el periodo comprendido del 2017 al 2021, la empresa registró pérdidas económicas aproximadas del 23% de su facturación anual, los desfases en las entregas de los proyectos de software promediaron 54 días después de la fecha estipulada en cada contrato, éstas pérdidas mermaron la rentabilidad de la empresa, sus inversiones, pago de pasivos y su crecimiento en un mercado muy dinámico.

Para que la empresa pueda aprovechar la creciente tendencia post-COVID de compañías de automatizar procesos y digitalizar sus operaciones, es fundamental atacar el problema de raíz de los desfases de tiempos de entrega en los proyectos de software que sus clientes le contratan, para para ello se tiene que determinar si las causas son amputadas a los clientes, a la eficiencia de los trabajadores o al propio procedimiento de desarrollo de software con el que se cuenta.

Dentro de los problemas detectados para que los proyectos no se entreguen a tiempo se encuentran:

- La falta de un procedimiento estándar para los contratos y requisitos que citen con claridad las condiciones técnicas del proyecto a ejecutar, ya que al no quedar claras se producen malas interpretaciones en la definición del mismo, las cuáles van desde que el cliente solicita agregar nuevas funciones pensando que están dentro del alcance, siendo que estás ocasionan que el tiempo de planeación inicial se incremente y se paguen salarios extras no considerados en el presupuesto económico. También, al suministrar alguna información se retrasan días o incluso semanas para proporcionarla, esa espera genera gastos extras para la empresa. Según [1], "el 82% del esfuerzo necesario para corregir un producto de software está enfocado en corregir defectos en los requisitos, el 13% es dedicado a arreglar errores de diseño, y sólo el 1% es dedicado a arreglar errores en el código".

- Otro de los problemas es en la etapa de diseño, en la cual el cliente recibe un prototipo funcional de una parte del proyecto para que pueda revisarlo y dar su retroalimentación, se ha detectado que el cliente no lo realiza o lo realiza de manera muy superficial, al momento de la entrega final del proyecto se pone a revisar actividades, procesos, fórmulas, cálculos, reportes, interfaces, etc., que en su momento pudo haber revisado en etapas iniciales del ciclo del desarrollo del software. Investigaciones realizadas en [2], concluyeron que "la corrección de los defectos ocasionados durante la fase de ingeniería de requisitos puede costar hasta 200 veces más cuando se corrigen en fases posteriores".

Seis Sigma es una estrategia innovadora que se utiliza para mejorar la calidad y los procesos mediante el uso de un conjunto de herramientas estructuradas y medidas estadísticas para evaluar los procesos [3]. En [4] se define Seis Sigma como "la búsqueda de casi la perfección en el cumplimiento de los requisitos del cliente". La metodología Seis Sigma generalmente se representa en los sectores industriales y de manufactura en un enfoque llamado "Operacional"; sin embargo, existe otro enfoque llamada "transaccional" [5]. Los proyectos de Seis Sigma Transaccional están orientados a la industria de servicios, áreas de soporte y proceso administrativos, el DMAIC tradicional se cambia por DMAIE (Definir, Medir, Analizar, Innovar, Estandarizar) en el que las fases de Analizar e Innovar carecen de herramientas que se puedan aplicar a procesos [6]. Mientras Seis Sigma Transaccional separa las actividades que no agregan valor, analiza el flujo y los retrasos del proceso, y aumenta la velocidad del proceso, Seis Sigma busca la eliminación de defectos, disminución de la variación y requiere decisiones basadas en datos [7].

Con la aplicación de la herramienta seis sigma transaccional y de la metodología DMAIE enfocado al proceso de fabricación de software se busca el poder recabar datos históricos para encontrar tendencias, analizar las principales causas del problema de desfases de tiempos de entrega y buscar soluciones, así también, mediante estadísticas se pueda medir la eficacia de esas soluciones para saber si están dando resultados a través del tiempo o si necesitan ajustes para que se reflejen en beneficios para el proceso y para toda la empresa. Según [8] "dentro de las organizaciones de Servicio, del 30% al 50% de los costos son causados por una baja velocidad y re-trabajos".

Metodología DMAIE

Definir

Con datos históricos de la empresa mostrados en la Tabla 1 se relacionan los proyectos contratados entre el periodo del 2017 a 2021, la fecha planeada de terminación, la fecha real terminado y los desfases de días en cada proyecto. De acuerdo a la relación mostrada, el promedio de desfases es de 54 días. En la Tabla también se puede observar que entre más grande (tiempo de ejecución) sea el proyecto más tiempo de desfases ha tenido la empresa en esos tipos de proyectos. La empresa no tiene considerado en su cotización los días de desfases; por lo que, cada día de atraso representa para la empresa una pérdida económica que directamente afecta la utilidad por proyecto.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 1. Relación de proyectos ejecutados de 2017 a 2021 por la empresa. Fuente propia

Nombre del Proyecto	Año	Fecha contratada		Fecha real		Desfases de días
		Inicio	Fin	Inicio	Fin	
Sistema de control de pesajes de básculas	2017	13/01/2017	12/07/2017	13/01/2017	11/09/2017	61
Sistema web de fletes	2017	21/02/2017	11/11/2017	21/02/2017	07/02/2018	88
Plataforma de comercio electrónico	2017	21/03/2017	19/09/2017	21/03/2017	05/10/2017	16
Portal para proveedores	2017	12/10/2017	22/03/2018	12/10/2017	06/06/2018	76
Sistema de almacenes y stocks con código de barras	2018	07/02/2018	08/12/2018	07/02/2018	24/01/2019	47
Aplicación de lectura y carga de archivo de lote	2018	24/05/2018	17/07/2018	24/05/2018	24/07/2018	7
Aplicación de monitoreo de neumáticos	2018	9/10/2018	07/02/2019	9/10/2018	15/02/2019	8
Aplicación de gastos	2019	3/05/2019	30/08/2019	3/05/2019	24/10/2019	55
Software bajo demanda	2019	17/07/2019	17/10/2019	17/07/2019	14/12/2019	58
Administración de proyectos	2020	4/05/2020	2/10/2020	4/05/2020	07/12/2020	66
Sistema de procura	2020	03/08/2020	01/03/2021	03/08/2020	01/06/2021	92
Sistema de cuentas por pagar	2020	02/10/2020	22/01/2021	02/10/2020	15/04/2021	83
Plataforma de mantenimiento	2021	18/01/2021	19/06/2021	18/01/2021	09/08/2021	49

Promedio de desfases de días de entrega: 54.3076

Con la relación de datos, se realizó el cálculo del objetivo sigma (ver Tabla 2). Los proyectos de Seis Sigma tienen una métrica principal para mejorar. En Seis Sigma Transaccional existen 2 métricas principales: desempeño del negocio y satisfacción del cliente; la primera se refiere a los procedimientos y actividades realizadas por el proveedor de servicios; la segunda se enfoca a lo que los clientes perciben durante su tiempo en la organización y puede referirse al servicio real, al tiempo de espera o a ambos [5].

Tabla 2. Cálculo del objetivo del proyecto

Concepto	Indicador	Resultado
Línea base (días)	Promedio de los datos	54.31
Mejor resultado (días)	Menores mermas	7.00
Brecha (días)	Resultado	47.31
Objetivos (días)	Línea base – (0.7 * Brecha)	21.19
Objetivo (porcentaje)	Porcentaje	60.98

De estos datos fue que se obtuvo el objetivo del proyecto de mejora para la reducción de desfases en tiempos de entrega de los proyectos de software en un 61%.

Para profundizar en encontrar el problema de raíz, es importante que se defina cómo, cuándo, dónde y por qué se está presentando el problema de los desfases de tiempos, la Tabla 3 define las respuestas con apoyo de la herramienta 5W+1h.

Tabla 3. Herramienta 5W+1h

Qué, Cómo, Cuál, Cuándo, Dónde, Quién
¿Qué está sucediendo? Los servicios de desarrollo de software que realiza la empresa están teniendo desfases de tiempos de, en promedio, 54 días, esto genera sobrecostos, no conformidades de los clientes y reducción de las utilidades de los proyectos. **¿Cómo es diferente del estado actual? ¿Cómo sucede?** Sucede cuando los proyectos se salen de su planeación inicial y de su presupuesto original, se puede identificar con los cronogramas del proyecto y con las herramientas de monitoreo de proyectos que tiene la empresa. **¿Cuál patrón se observa? (¿Sucede del lado derecho, izquierdo, abajo, arriba, enfrente, aleatoriamente?)** Los patrones que se visualizan son: - Proyectos de más de 4 meses de duración (entre más tiempo más probabilidad de qué suceda) - Cuando la planeación del proyecto se hace muy rápida - Cuando el cliente no tiene un líder del proyecto, sino muchos líderes - Cuando el software tiene procesos con los que la empresa nunca ha trabajado **¿Cuándo ocurrió el problema?** En el periodo comprendido de los años del 2017 al 2021. **¿Dónde sucede?** El problema ocurre en la gerencia de operaciones de la empresa. **¿Quién está relacionado con el problema?** Puede haber una relación con la experiencia de los ingenieros que interactúan con el cliente, esa relación se intensifica cuando el proceso para diseñar un software es demasiado técnico o muy especializado a las necesidades solicitadas por el cliente final.

Las áreas de planeación y diseño del software que pertenecen a la gerencia de operaciones juegan un papel vital para entender y documentar los requisitos completos que solicita el cliente final, así como el establecer los criterios de aceptación con los que el cliente se sentirá satisfecho con el servicio solicitado.

Medir

En reuniones con los distintos roles que integran la gerencia de operaciones, se tuvieron entrevistas para detectar causas de primera mano, estas entrevistas tuvieron preguntas como: nombre, rol dentro de la empresa, experiencia en el área, causas de desfases de tiempos imputables a los clientes y a la empresa, así como sugerencias de mejoras, los resultados de esas entrevistas se mencionan a continuación:

Causas determinantes de la empresa:

- La planeación se hace de manera general y con periodos cortos de tiempo (no da la oportunidad de planear y validar tareas complejas con los clientes).
- Las tareas documentadas no están completas, hace falta más detalle para que el programador comprenda todo el contexto.
- El cliente no está incluido en el proceso de análisis y diseño del software.

Causas determinantes de los clientes:

- Falta de información del cliente como formatos, fórmulas, cálculos, documentos, procesos, etc., lo que puede ocasionar que se generalicen muchos temas y no se mencionen aspectos que son verdaderamente críticos.
- El cliente, por su falta de tiempo o por inexperiencia contratando servicios de software, no realiza una validación de los materiales que entrega la empresa en cada fase del desarrollo del sistema como la planeación, el análisis, el diseño, la entrega de partes del software, la entrega del software completo y la implementación del software en sus servidores.

Con los datos presentados en la Tabla 1 sobre los proyectos ejecutados de 2017 al 2021, se presenta en la Figura 1 una gráfica con la que podemos analizar los siguientes datos:

 ISSN: 2007 8102

- De los 13 proyectos relacionados, 5 de ellos (39%) están por debajo de la línea base que es de 54 días.
- 8 proyectos (61%) de los 13 relacionados, están por encima de la línea base.
- 4 de los 8 proyectos que están por arriba de la línea base tuvieron una duración mayor que 8 meses.

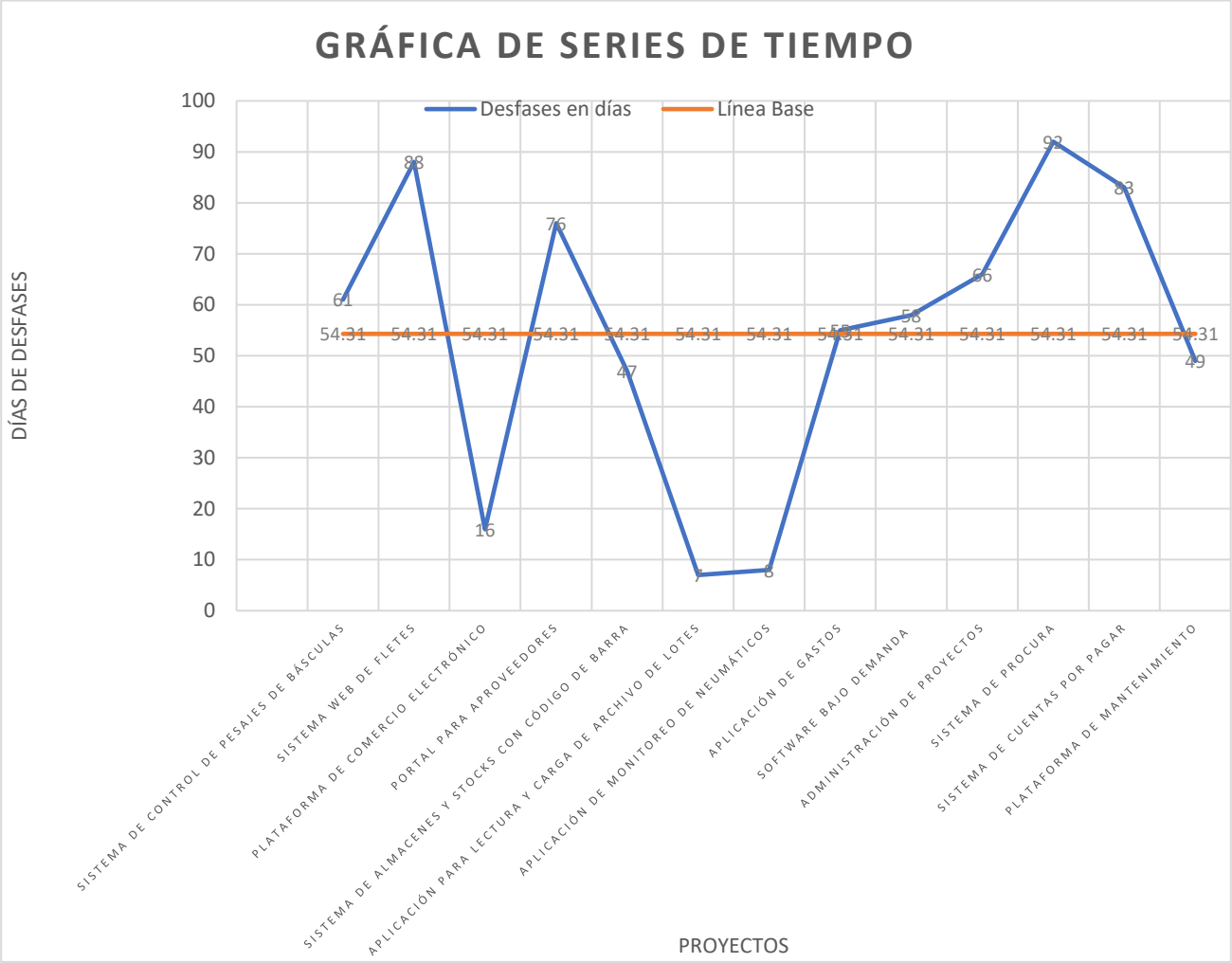


Figura 1. Gráfica que describe la línea base (marcada en azul) y los proyectos que están por arriba o debajo del promedio de los 54 días de desfases de tiempos de entrega.

Con los datos históricos de los 13 proyectos analizados, se recabó la información de las pérdidas económicas que tuvo la empresa con cada causa interna o externas (clientes) de los proyectos que tuvieron desfases de tiempos de entrega. Los datos concentrados de mayor a menor se visualizan en la Tabla 4.

Tabla 4. Causas de desfases de tiempos de entrega y relación de costos asociados con cada causa.

Causa	Costo (MXN)	Porcentaje Acumulado	Monto acumulado (MXN)
Interna: La planeación se hace de manera general y con periodos cortos de tiempo	$291,420	23.76%	$291,420
Externa: El cliente solicita ampliaciones a sus requerimientos iniciales y quiere que se consideren dentro del presupuesto original	$262,592	45.17%	$554,012

ISSN: 2007 8102

Externa: Falta de información del cliente como formatos, fórmulas, cálculos, documentos, procesos, formatos, etc.	$208,320	62.15%	$762,332
Externa: Retrasos del cliente en suministrar información valiosa para el proyecto o para explicarla	$157,440	74.98%	$919,772
Interna: Las tareas documentadas no están completas, hace falta más detalle para que el programador comprenda todo el contexto	$114,400	84.31%	$1,034,172
Interna: Interna: Falta de personal para analizar proyectos complejos	$81,280	90.94%	$1,115,452
Externa: El cliente, por su falta de tiempo o por inexperiencia contratando servicios de software, no realiza una validación de los materiales que entrega la empresa en cada fase del desarrollo del sistema	$67,968	96.48%	$1,183,420
Interna: El cliente no está incluido en el proceso de análisis y diseño del software	$43,200	100.00%	$1,226,620

Analizar

Tomando como referencia la Tabla 4, dónde se muestran los sobrecostos relacionados con cada causa, se ha diseñado un diagrama de Pareto para identificar aquellas causas que representan el 80% de las problemáticas más comunes para que los proyectos se desfasen en tiempos de entrega. El Diagrama de Pareto resultante se puede ver en la Figura 2. Con el diagrama de Pareto se determina las causas que se debe poner más énfasis para reducir los desfases de tiempos de entrega, para poder mitigar esas causas, se propone lo siguiente:

Empresa:

- Reuniones diarias y semanales con el equipo de trabajo, exponiendo la tarea que se está realizando en ese momento y los obstáculos para desarrollarla.
- Los administradores del proyecto deben cerciorarse que todo el alcance del proyecto esté definido, que no haya ambigüedades ni información faltante, también deben validar que el equipo de trabajo comprenda el objetivo del proyecto de software a desarrollar.

Cliente:

- Debe definir con toda claridad el alcance del proyecto de software, los reportes que espera, que datos son de entradas y cuáles serán las salidas. Debe indicar cómo hace el proceso en la actualidad y si tiene procedimientos de cómo debe trabajar el proyecto de software
- El cliente debe ser proactivo y participar en todas las reuniones de planeación y avances que se tengan, además de dar retroalimentación oportuna para saber si el equipo de trabajo va por buen camino o está teniendo una desviación en el proceso.

 ISSN: 2007 8102

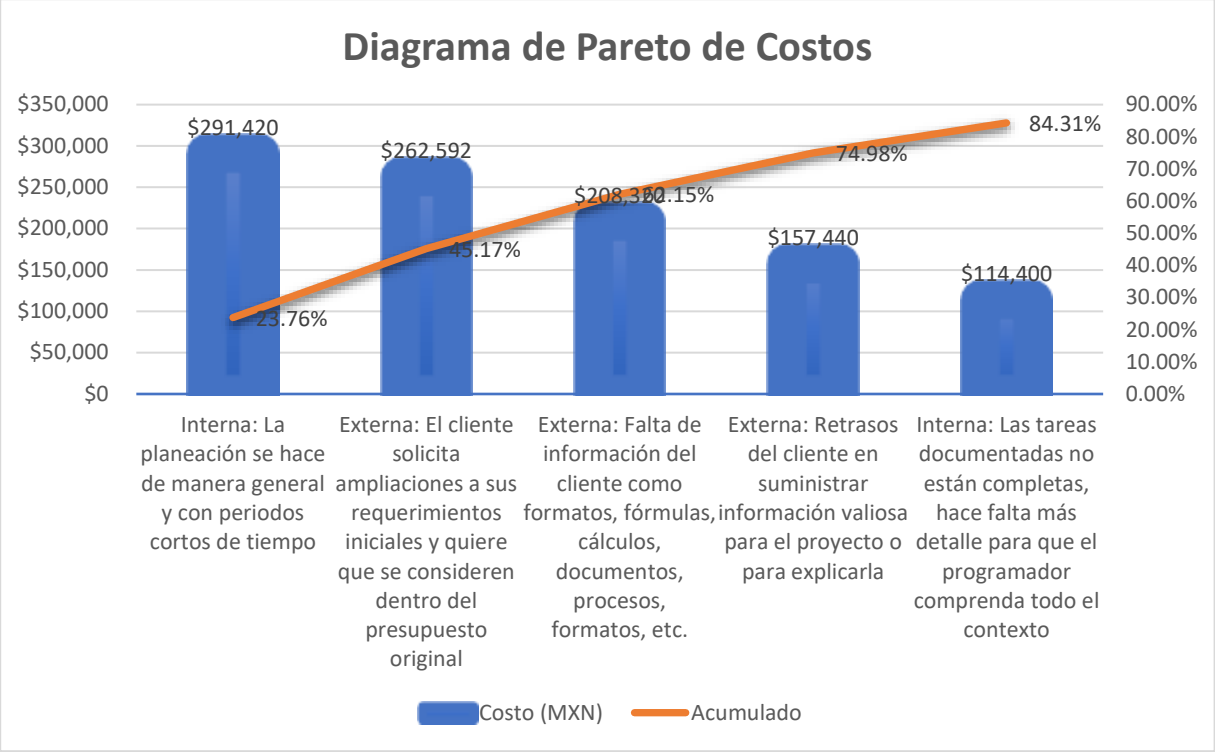


Figura 2. Diagrama de Pareto de las causas que representan el 80% de las problemáticas para que los proyectos de software se desfasen en tiempos de entrega.

De acuerdo a la información analizada, se presenta en la Figura 3 un diagrama de espina de pescado ilustrando las causas del problema analizado en su raíz.

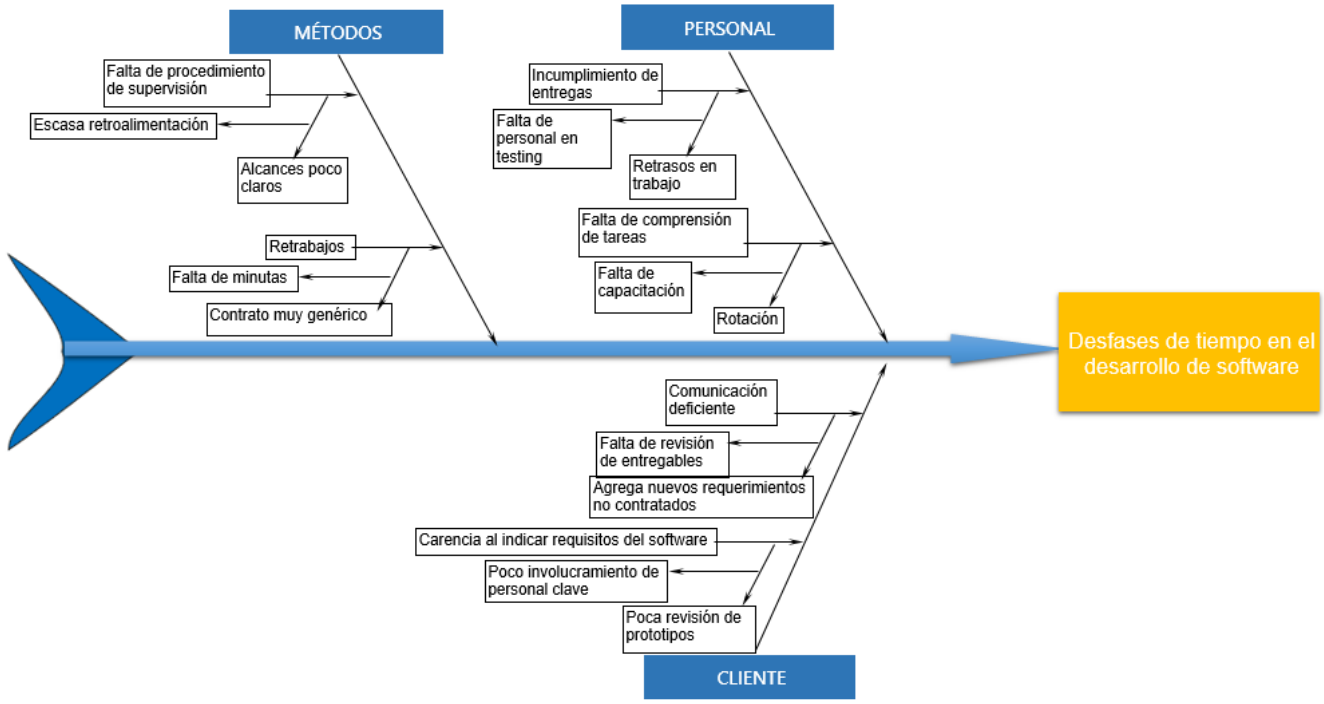


Figura 3. Diagrama de espina de pescado.

ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Innovar

Con la identificación de las causas origen, se realizaron varias lluvias de ideas con las áreas de análisis de sistemas, pruebas de software, programadores, implementadores, administradores de proyectos y las gerencias de la empresa, así como investigaciones de buenas prácticas en empresas internacionales de software, ello para revisar con el equipo de trabajo alternativas de solución exitosas a cada causa. Los resultados se pueden observar en la Tabla 5.

Tabla 5. Lluvia de ideas para soluciones a las causas principales de desfases de tiempos de entrega

Causa	Soluciones aceptadas
Interna: La planeación se hace de manera general y con periodos cortos de tiempo	- Implementar el formato IEEE 830 como estándar para documentar proyectos de software. - Adoptar el formato de tiempos suplementarios de la Organización Internacional del trabajo (OIT) para considerar imprevistos en la planeación y desarrollo de software.
Externa: El cliente solicita ampliaciones a sus requerimientos iniciales y quiere que se consideren dentro del presupuesto original	- Especificar en el contrato el alcance completo del sistema, así como cláusulas que indiquen que cualquier cambio adicional generará costo extra. - Realizar entregas y reportes de avances de manera formal a través de minutas que deberán ser firmadas por los actores de ambas partes. - Cuando se entregue el software, se ofrecerá una cotización para el mantenimiento del software, dicho mantenimiento involucrará una bolsa de horas, para que se puedan hacer ajustes finos que puedan salir de último momentos después de haber implementado el software.
Externa: Falta de información del cliente como formatos, fórmulas, cálculos, documentos, procesos, formatos, etc.	- El área de ventas debe validar que antes de comenzar cualquier proyecto de software se debe tener la información completa para ejecutar el proyecto, desde la cotización debe haber una nota que indique que el proyecto se iniciará cuando se reciba un anticipo, cuando se firme el contrato, pero también cuando se tenga toda la información disponible del proyecto. - En el caso de los formatos, fórmulas, cálculos, procesos, cuando el cliente los suministre se documentarán en el Acta del Proyecto, si el cliente decide cambiar se documentará un archivo de Control de Cambios con cambios en el alcance y con el cobro de un monto extra por el cambio.
Externa: Retrasos del cliente en suministrar información valiosa para el proyecto o para explicarla	- Establecer en el contrato de servicios una cláusula que indique que todo retraso ocasionado porque el cliente tarde en suministrar información o explicar un proceso que se requiera, generará ampliación en el tiempo de entrega del proyecto y generará un costo extra que el cliente deberá asumir.
Interna: Las tareas documentadas no están completas, hace falta más detalle para que el programador comprenda todo el contexto	- Al inicio, en lugar de que en el día 1 el programador comience a programar, se le compartirá la información del proyecto para que la revise y se harán reuniones de explicación del alcance del proyecto. - Implementar la metodología ágil SCRUM para supervisar el avance diario y semanal del proyecto. - Se utilizará el software Jira para documentar cada tarea del proyecto y asignar actividades a cada programador (midiendo la productividad de cada integrante del equipo). - Implementar Microsoft Project para medir el avance general del proyecto y la ejecución del presupuesto.

ISSN: 2007 8102

Estandarizar

Con los resultados obtenidos mostrados en la Tabla 5, la empresa estableció un programa de actividades para capacitar al personal por rol en la organización, a pesar que se buscó que la mayoría de las personas conocieran los cambios implementados, lo cierto es que cada capacitación estaba orientada a roles específicos dentro de la organización (quiénes se convirtieron en dueños de sus procesos). Así, el programa de capacitación fue enfocado de la siguiente manera:

- Implementar los Formatos IEEE 830 y de tiempos suplementarios de la OIT para analistas de sistemas de información.
- Nuevas cláusulas en los contratos para el gerente de administración y para los administradores de proyectos.
- Documentación de minutas para reportar entregas y avances, y documentos de controles de cambios para nuevos alcances que soliciten los clientes para la gerencia de ventas y para los administradores de proyectos.
- Nuevo proceso de cotizar el mantenimiento del software y bolsas de horas mensuales cuando el proyecto haya sido entregado para la gerencia de ventas.
- Implementar metodología SCRUM para todo el equipo de operaciones.
- Uso de la herramienta JIRA y Microsoft Projects para administradores del proyecto, analistas de sistemas de información e implementadores de software.

Además de ello, se diseñó una lista de verificación de herramientas implementadas para hacer un checklist periódico que verifique que en cada proyecto se están siguiendo las buenas prácticas implementadas.

Primeros resultados

La metodología seis sigma transaccional se implementó en la empresa en enero de 2022, desde ese entonces se han obtenido los resultados mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6. Relación de proyectos ejecutados de 2022 a 2023 por la empresa.

Nombre del Proyecto	Año	Fecha contratada		Fecha real		Desfases de días
		Inicio	Fin	Inicio	Fin	
Sistema de lectura de txt y proceso de archivo de lotes	2022	21/02/2022	27/02/2022	21/02/2022	15/03/2023	16
Migración de proyecto CFDI 3.3 a 4.0 con ERP	2022	22/04/2022	28/11/2022	22/04/2022	10/22/2022	-18
Aplicación de reporte semanal con datos de ERP	2022	03/05/2022	14/07/2022	03/05/2022	14/07/2022	0
Sistema de servicios	2022	09/12/2022	30/03/2023	09/12/2022	22/06/2022	84
Sistema de control de Andamios	2023	09/01/2023	18/06/2023	01/01/2023	18/06/2023	0
Sistema de Scraping de base de datos. Primera etapa	2023	03/04/2023	30/06/2023	03/04/2023	03/07/2023	3

Promedio de desfases de días de entrega: 14.1666

El objetivo sigma inicial era de reducir los desfases de tiempo de 54 a 21 días, esto representa un objetivo del 61%, con los datos mostrados en la Tabla 6 se puede apreciar que se están obteniendo los primeros resultados positivos, a pesar de tener un proyecto con un desfase de tiempo de 84 días, el resto de proyectos se ha comportado de buena manera y en promedio se ha logrado reducir los desfases de días de entrega de todos los proyectos a 14 días, esto significa que se está superando el objetivo de reducir en un 61% los desfases de tiempos de entrega de los proyectos que ejecuta la empresa.

Trabajo a futuro

A pesar de que se han empezado a visualizar resultados positivos, la realidad es que la implementación de la metodología DMAIE es un proceso de mejora continua, las herramientas que se han emprendido han funcionado en algunos casos, pero en casos como la del proyecto de la Tabla 6 que tuvo un desfase de 84 días se tienen que abordar nuevas soluciones a problemas no detectados previamente, en el área de implementación de software han nacido nuevos problemas derivados del cliente como:

- Los directores o gerentes de la empresa no involucran a los usuarios finales desde un inicio, esto hace que los usuarios finales den comentarios sobre cómo debe trabajar el software justo en la etapa final del proyecto (en la implementación) y no en el diseño del software.
- Cuando no hay un líder de proyecto claro por parte del cliente, hay muchas personas haciendo opiniones de cómo se deben hacer las cosas pero ningún responsable, eso afecta la dirección del proyecto de software y sus alcances.
- Cuando se capacita a los usuarios se debe dejar constancia que se harán “n” capacitaciones, los clientes suelen confundir esos términos y solicitan capacitaciones “sin costo” cada vez que cambian de empleados o simplemente porque los usuarios olvidan cómo usar el software.

Conclusiones

Para la empresa objeto de este estudio ha sido muy interesante el poder detectar y mitigar las causas principales que afectan a qué los proyectos se alarguen en sus tiempos de entrega, el conocerlas resulta por si solo en una gran ventaja, pero si a eso se le suma la aplicación de las herramientas revisadas en este artículo, el resultado se convierte en una gran arma que la empresa puede emplear en el presente y en futuros proyectos.

Es importante mencionar que las problemáticas comentadas en este artículo son genéricas para muchas empresas desarrolladoras de software, eso genera un profundo deseo de conocer e implementar las mejores prácticas que desarrollan empresas exitosas y para ello es vital el uso de estándares, buenas prácticas, documentación oportuna y detectar cualquier desviación del proceso apenas se tengan los primeros síntomas.

Tal como se menciona en el apartado de trabajo a futuro, un proyecto seis sigma transaccional nunca está terminado, siempre habrá nuevos aspectos que poder medir, controlar y mejorar, los cambios no son fáciles, pero si en el camino habrá una mejoría para los empleados, clientes, accionistas y la empresa bien vale la pena hacerlo.

Referencias

[1] J. Martin, An Information Systems Manifesto, Englewood Cliffs N.J: Prentice-Hall, 1984.

[2] T. S. N. Mead, «Security Quality Requirements Engineering (SQUARE),» Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 2005.

[3] A. S. M. K. K. M. D. M. J. Antony, «Application of Six Sigma DMAIC methodology in a transactional environment,» *International Journal of Quality & Reliability Management,* vol. 29, pp. 31-53, 2012.

[4] R. N. R. C. P. Pande, The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies are Honing Their Performance, New York, NY: McGraw-Hill, 2000.

[5] J. R.-G. M. B. C. Temblador, «Transactional Six Sigma, Addressing Services,» de *Industrial Engineering Research Conference*, 2011.

[6] G. C. M. B. C. Temblador, «The Use of Systems Approach at the Analyze Phase in Transactional Six Sigma Projects,» de *Industrial Engineering Research Conference*, 2011.

[7] S. Rodriguez, Mapa de ruta para el desarrollo y seguimiento de proyectos lean seis sigma transaccionales, Monterrey, Nuevo León: Tecnológico de Monterrey, 2011.

[8] M. George, Lean Six Sigma for service: how to use Lean Speed and Six Sigma Quality to improve services and transactions, McGraw-Hill Professional, 2003.

ISSN: 2007 8102

Optimización de mano de obra directa aplicando la metodología DMAIC

M. M. Cruz Rentería[1], R. H. Félix Jácquez[2], M. D. Delgado Celis[3], T. J. Muñoz Robles[4]
[1,2,3,4]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Av. Tecnológico s/n, U.P.A, C.P. 78437, Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P., México
[1]maria.cr2@slp.tecnm.mx, [2*]rosa.fj@slp.tecnm.mx, [3*]ma.dc@slp.tecnm.mx,*
[4]l18180748@ slp.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Industrial*

Resumen

Este proyecto se realizó en una empresa de manufactura de estufas en la unidad de negocio (UDN) Esmalte. Debido a la reciente contracción del mercado, se originó un excedente en la capacidad de los procesos con un gasto mayor al proyectado. Se tomó la decisión de reducir específicamente la mano de obra directa (MOD) mediante un plan de ahorro del 30%. El objetivo se concentró en el proceso Aspersión de tapas para quemadores que estaba operando con dos turnos para reducirlo a uno, aplicando la metodología DMAIC. Con un turno no era posible cubrir la demanda de producción, por lo que se hizo un análisis de todo el proceso y medición de su eficiencia, luego se identificaron los elementos necesarios para rebalanceo del proceso y, por último, se hicieron las modificaciones y rediseño de herramentales y equipos que garantizaran la capacidad necesaria. La optimización al máximo rendimiento en un solo turno, permitió elevar la capacidad productiva, disminuir la utilización de MOD en un 22%, así como un consumo menor de recursos energéticos como electricidad, gas y agua en un 49%.

***Palabras clave**: DMAIC, Productividad, Capacidad de producción*

Abstract

This project occurs in a stove manufacturing company in the enamel business unit (BU). The market's recent contraction created a surplus in the process's capacity, with an expense in resources higher than projected. The decision explicitly reduces direct labor (DL) through a 30% savings plan. The objective focused on the Spraying process for burner caps that were operating with two shifts to bring it to a single shift, applying the DMAIC methodology. With one shift, it was impossible to cover the production demand, so the entire process was analyzed, and its efficiency was measured. Then the necessary elements were identified to rebalance the process and were made to modify and redesign tools that will guarantee the necessary capacity. The optimization of the performance in a single shift allowed to increase in the productive capacity, reduced the use of DL by 22%, and lowered the consumption of energy resources by 49%.

***Key words**: DMAIC, Productivity, Production capacity*

Introducción

Las organizaciones se enfrentan cada día con el desafío de producir más a un menor costo. Para mantenerse en el mercado o crecer, deben optimizar el uso de recursos en sus procesos. La optimización se basa en la reducción o eliminación de desperdicios, mientras se logra el objetivo de producción.

Debido a que el mercado se ha contraído, el nivel de requerimiento de productos terminados ha disminuido en los últimos años. La empresa tomó la decisión de realizar acciones para disminuir el uso de recursos productivos, por lo que estableció el objetivo de disminuir el costo de MOD en un 30%. Se eligió la unidad de negocio (UDN) Esmalte, área conformada por varios procesos, entre ellos, Aspersión, Color, Pirolítico gas, Serigrafía y Pinturas. El proyecto se realizó en el proceso de Aspersión, que operaba con dos turnos, el primero al máximo de su

 ISSN: 2007 8102

capacidad y el segundo a un tercio, para satisfacer la demanda de producción de tapas que se envían al proceso de ensamble. Con los dos turnos se estaba subutilizando la capacidad del segundo que estaba trabajando a un tercio, lo cual no quiere decir que el costo de operación fuera proporcional, ya que los equipos se usan a toda su capacidad independientemente de que la cantidad de piezas que se procesan sea pequeña. La utilización en promedio de ambos turnos estaba en 78%.

El proceso de Aspersión requiere que las piezas sean montadas, trasladadas y procesadas en racks especialmente diseñados para cada operación. El proceso comienza con el lavado de las tapas para desengrasarlas y enviarlas al esmaltado electrostático. El siguiente paso es llevarlas al horno de curado y, por último, pasan por la inspección de calidad para verificar que estén dentro de las especificaciones. Las piezas una vez terminadas se envían al área de Ensamble.

DMAIC

Seis Sigma es una estrategia para promover la mejora de la calidad que puede ayudar a las organizaciones a lograr la excelencia operativa y la mejora de procesos [1]. Se considera una iniciativa de toda la organización para lograr cero defectos y disminuir las variaciones en las industrias de fabricación. Esto ayuda a las organizaciones a revisar sus procesos, eliminar cuellos de botella y ofrecer una calidad uniforme [2]. La metodología utilizada en proyectos Seis Sigma consta de cinco fases conocidas como DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Consiste en la aplicación de un proceso estructurado, proyecto a proyecto. En la fase de Definición se identifican los proyectos que serán evaluados y priorizados para evitar el uso innecesario de recursos; en la fase de Medición se caracteriza el proceso, se identifican los requisitos clave de los clientes, las características clave del producto y los parámetros que afectan los procesos y las variables clave. Se establece el sistema de medición y se mide la capacidad del proceso; en la fase de Análisis se aplican herramientas estadísticas para analizar datos históricos y recientes, se establecen relaciones de causa y efecto y se generan hipótesis; en la fase de Mejora se establece la relación entre las causas y los efectos para predecir, mejorar y optimizar los procesos; en la fase de Control se diseñan y documentan los controles que aseguren que las mejoras implantadas se mantengan con el tiempo [3] [4].

Esta metodología ha sido utilizada con éxito en diferentes industrias: como mejorar el proceso de fabricación de reguladores en la industria automotriz, en el que se redujo el 77.5% el modo de falla Alarma 130 [5]; para controlar un proceso que producía fuera de especificaciones logrando que la capacidad de proceso aumentara 4000% de un 0.19 a 3.8 sigma [6]; para reducir el tiempo ciclo de los procesos en una compañía de servicios de mantenimiento de locomotoras logrando incrementar la eficiencia en un 7.52% [7]; incluso en la industria textil, resolviendo problemas como desperdicios de materia prima o fallas en la simetría del corte de tela, logrando incrementar la productividad de la empresa en un 12% con relación a las horas hombre y en 25% en lo referente al costo de materia prima e insumos [8].

Productividad

Dentro de las organizaciones, varios factores son fundamentales para llevar a cabo los procesos y satisfacer la demanda del mercado. Algunos de los más importantes incluyen el recurso humano, capital, tecnología y la materia prima [9]. Recurso humano: el personal y su habilidad para llevar a cabo tareas y funciones en la empresa. La productividad del recurso humano se relaciona con su capacidad para generar resultados y su eficiencia en el uso del tiempo y recursos. Capital: los recursos financieros y activos con los que cuenta la organización para llevar a cabo sus operaciones. La productividad del capital se refiere a cómo se utilizan esos recursos financieros para obtener rendimientos y beneficios. Tecnología: el uso de herramientas y tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y eficacia en los procesos de la empresa; su uso apropiado contribuye a mejorar el rendimiento general de la organización. Materia prima: los insumos necesarios para la producción de bienes o servicios. La productividad de la materia prima se refiere a cómo se utilizan estos insumos para obtener el máximo valor y rendimiento.

Cuando la organización logra obtener más resultados con una menor cantidad de recursos, se considera que ha mejorado su productividad. Por otro lado, si se utilizan muchos recursos para obtener resultados insuficientes, la productividad se considera baja [10]. Por lo tanto, la productividad es un objetivo estratégico de las empresas, debido a que sin ella los productos o servicios no alcanzan los niveles de competitividad necesarios en el mundo globalizado [11].

Capacidad de producción

Es el volumen máximo de productos que puede generar una fábrica o empresa de manufactura, utilizando los recursos disponibles en un periodo de tiempo determinado [12]. Una capacidad insuficiente generará entregas

ISSN: 2007 8102

deficientes de productos al cliente o al siguiente proceso, incrementando el inventario en proceso. El no cumplimiento de las entregas afecta la rentabilidad y la satisfacción del cliente. Por el contrario, un exceso de capacidad genera gastos innecesarios y hace más costoso el proceso de fabricación.

La capacidad se clasifica en instalada o diseñada, efectiva o disponible y real. La capacidad instalada se refiere a la producción máxima teórica, que solo sería posible alcanzar si se le asignaran los recursos suficientes. La capacidad efectiva o disponible es la que se puede alcanzar dado su diseño y los recursos disponibles. Es la producción máxima posible que considera las restricciones como los requisitos de calidad, mezcla de productos, mantenimiento de los enseres de producción (línea, proceso, máquina o dispositivo) y condiciones de programación. La capacidad real es el porcentaje de uso de la capacidad disponible; es la tasa de producción alcanzada, y está afectada por la calidad de los productos y los problemas de funcionamiento y mantenimiento de las máquinas [12]. La capacidad de producción puede incrementarse para dar respuesta a un aumento inmediato o futuro de la demanda. Un aumento inmediato se logra por varias vías: usar los equipos existentes por más tiempo agregando turnos o tiempo extra o subcontratar los servicios de otra empresa. Un aumento de capacidad a futuro puede hacerse con un uso más efectivo de los equipos que existen o si se adquieren nuevos equipos. Antes de tomar cualquiera de estas decisiones debe hacerse un análisis exhaustivo del potencial sin explotar existente, como la capacidad perdida porque los equipos trabajan por debajo de su potencial o por problemas relacionados con la programación del trabajo [13][14].

Metodología

Se aplicó la metodología DMAIC (Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar).

Fase Definir

La decisión de optimizar la MOD en un 30% en el proceso de Aspersión de la UDN Esmalte planteó algunas alternativas de solución, por lo que el equipo responsable hizo la evaluación de cada una con base en criterios de factibilidad y viabilidad financiera, y les asignó un valor ponderado. Con una prioridad alta (ver la Tabla 1), se tomó la decisión de hacer primeramente los análisis de capacidad de producción de los equipos y herramentales de acuerdo con la demanda proyectada.

Tabla 1. Proyectos evaluados priorizados

Proyectos	Alta	Media	Baja
Análisis de capacidad de los equipos y herramentales	X		
Análisis de demanda de producción	X		
Análisis de estaciones de trabajo			X
Presupuesto para cambios o modificaciones		X	
Modificación de equipos y herramentales		X	
Estandarización de operaciones de proceso			X

Fase Medir

Se recolectaron los datos de procesamiento como la velocidad a la que los transportadores de los racks con piezas pasan por cada operación, así como la cantidad de piezas que entran en cada ciclo. Se obtuvieron los tiempos de procesamiento en horno de curado, esmaltado y lavado, así como la cantidad de unidades que ingresan en cada rack, con lo que se pudo calcular la capacidad máxima en piezas por hora de esmaltado (5,616), horno de curado (6,216) y lavado (4,200).

El cambio de cualquiera de los parámetros, como la velocidad de los transportadores o la cantidad de unidades que se procesan por hora, son variables que pueden producir defectos en las piezas que se esmaltan, como variación de color, baja adherencia de esmalte, grumos, quemadas y piezas que no lograron el curado. En el diseño de la propuesta, el área de mejoras de manufactura trabajó con el área de calidad a fin de asegurar el cumplimiento de requisitos y estándares de calidad bajo condiciones de operación adecuadas. En el caso de horno de curado, en la Tabla 2 se pueden ver los diferentes tipos de esmalte que se aplican y sus condiciones específicas de temperatura y velocidad.

ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Condiciones específicas para horno de curado

Tipo de tapa	Esmalte	Horno			
			Zona 1 (°C)	Zona 2 (°C)	Vel (m/min)
XL extra grande 3 pulgadas 4 pulgadas Visión chica, mediana y grande 4381 4382 Oval gris y Taupé	RM 45 (Gris) RM 23 (Negra)	Set Point Real	820 +/- 20 790 +/- 20	840 +/- 20 830 +/- 20	2.2 +/ 0.3

Tipo de tapa	Esmalte	Horno			
			Zona 1 (°C)	Zona 2 (°C)	Vel (m/min)
XL extra grande Oval 4 pulgadas 3 pulgadas Visión chica, mediana y grande 4381 4382	GSV094 (Mate)	Set Point Real	815 +/- 20 832 +/- 20	840 +/- 20 840 +/- 20	1.2 +/ 0.1

Tipo de tapa	Esmalte	Horno			
			Zona 1 (°C)	Zona 2 (°C)	Vel (m/min)
5932 6299 7303 7306	PM1/36/7438/7 (Negro Mate Rugoso)	Set Point Real	880 847	880 882	1.96

En la Tabla 3 se muestran las condiciones de operación de lavado de las piezas: temperatura del agua, la concentración de químico desengrasante y la presión con la que se aplica, además del tipo de químico y de agua, entre otras cosas.

Tabla 3. Condiciones específicas para lavadora

Tina	Concentración	Temperatura	Presión
1	4 - 5 %	50 -70 °C	15 lb/in2 -20lb/in2
2	4 - 3 %	50 -70 °C	15 lb/in2 -20lb/in2
3	3 - 2 %	50 -70 °C	15 lb/in2 -20lb/in2

Notas:

Producto N Clean 8130 para líneas 1,2, y 3
Temperatura especificada del secador 95 - 125 °C
Velocidad del trasportador de 0.8 - 1.2 m/min
Tinas de la 4 a la 7 se utilizan como enjuagues
Tinas 4, 5 y 6 utilizan agua natural. Tina 7 utiliza agua desmineralizada

Fase Analizar

Se hizo un análisis de saturación de las operaciones del proceso de Aspersión, que es el análisis de la capacidad de producción disponible utilizada con base en el requerimiento proyectado semanalmente, a uno y dos turnos. En la Tabla 4 se puede ver que en la última fila se representa el porcentaje total de utilización con dos turnos, el primero a su máxima capacidad con el uso de racks con 18 piezas que entran a Esmalte; el segundo turno tiene una utilización menor con racks que ingresan con 6 piezas; como se puede apreciar, la utilización es del 78%, que indica que se tiene la capacidad de producción necesaria para cumplir con los requerimientos de producción,

 ISSN: 2007 8102

pero también da como resultado una subutilización del 22%. El análisis de saturación con un turno sobrepasa el 100% que es el máximo disponible, por lo que será necesario crecer la capacidad de producción para satisfacer la demanda de piezas.

Tabla 4. Capacidad utilizada actual con dos turnos vs propuesta a un turno

Piezas por turno				Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Total
1er	2do	3er	Programado	12,524	12,584	12,524	12,543	12,555	11,150	12,544
			Proceso / Volumen	11,773	11,829	11,773	11,790	11,802	10,481	11,791
18			Aspersión tapas	117.2%	114.7%	116.7%	119.4%	117.9%	85.0%	117.0%
18	6		Aspersión tapas	78.4%	77.0%	77.8%	80.0%	77.9%	56.6%	78.3%

Análisis de saturación con dos turnos

Análisis de saturación de horno de curado: los racks del horno tienen capacidad para 70 tapas y se procesan 1.48 racks por minuto, por lo que en una hora se pueden curar 6,216 piezas (ver Tabla 5). La Tabla 6 muestra la saturación del horno de curado de esmalte por encima del 100%.

Tabla 5. Capacidad de producción de horno de curado

Tapas por rack	Velocidad de transportador	Tiempo
70	1.48 Racks / Min	60 minutos
Total de tapas por hora		6,216

Tabla 6. Saturación de horno de curado

Descripción piezas	Peso/Pza Kg	Pzas/Rack Aplic	Vel Aplic	Vel/Hno Racks/Min	Vel/Hno M/Min	Pzas Kgs/Min	Total Kgs/Hr	% Cap. Horno	Pzas/Rack Horno
Tapa 4172	0.235	6	5.2	1.48	1.80	7.33	2,093.20	101.3%	90.6%
Tapa 3327	0.124	6	5.2	1.48	1.80	3.87			
Tapa 5932	0.044	6	5.2	1.48	1.80	1.37			
Quemador 1488	0.130	1	30	1.48	1.80	3.9			

Análisis de saturación de aplicación de esmalte: los racks tienen 18 espacios para las tapas y la velocidad del transportador es de 5.2 racks por minuto, por lo que en una hora se pueden procesar 5,616 piezas (ver la Tabla 7). El primer turno hace uso de la máxima capacidad, mientras que en el segundo la utilización es de una tercera parte, con 6 piezas por rack.

Tabla 7. Capacidad de producción de aplicación de esmalte

Tapas por rack	Velocidad de transportador	Tiempo
18	5.2 Racks / Min	60 minutos
Total de tapas por hora		5,616

Análisis de saturación de lavadora: el proceso de lavado tiene cuatro espacios disponibles para canastillas y cada una de éstas tiene capacidad de alojar 14 tapas. La velocidad del transportador es de 1.25 racks por minuto, así que en una hora se pueden lavar 4,200 piezas (ver la Tabla 8).

Tabla 8. Capacidad de producción de lavadora

Tapas por rack	Velocidad de transportador	Tiempo
4 canastillas 14 tapas por canastilla	1.25 Racks / Min	60 minutos

ISSN: 2007 8102

Total de tapas por hora	4,200

Fase Mejorar

La propuesta para cerrar el segundo turno se basó en el aumento de la capacidad del primer turno, según el análisis de saturación de los procesos. Aumentar la capacidad de las diferentes operaciones del proceso de Aspersión bajo especificaciones de variables controladas. El rediseño y modificación de los racks permitieron aumentar las piezas que se procesan por unidad de tiempo en cada una de las operaciones.

Aplicación de esmalte: considerando que en el primer turno se utilizaba la capacidad máxima con 18 tapas por rack (Figura 1), se propuso la colocación de 4 espacios más para tener 22 tapas por rack (Figura 2).



Figura 1. Rack con capacidad de 18 piezas



Figura 2. Rack con capacidad modificada a 22 piezas

También se aumentó la velocidad del transportador de 5.2 a 6.3 racks por minuto, con lo que la cantidad de piezas subió a 8,316 por hora (Tabla 9).

Tabla 9. Capacidad aumentada en aplicación de esmalte

Tapas por rack	Velocidad de transportador	Tiempo
22	6.3 Racks / Min	60 minutos
Total de tapas por hora		8,316

Horno de curado: los racks tenían capacidad para 70 piezas (Figura 3) y se les hizo un aumento para llegar a 98 espacios (Figura 4). Debido esto, aumentó el peso considerablemente y como se hace una operación de transferencia de piezas del proceso anterior, el prototipo fue probado ergonómicamente con el personal asignado para asegurarse que no fuera a perjudicarles por los movimientos y peso.

ISSN: 2007 8102



Figura 3. Rack con capacidad de 70 piezas



Figura 4. Rack con capacidad modificada a 98 piezas

La velocidad del transportador se dejó igual, quedando la capacidad en 8,702 piezas por hora (Tabla 10).

Tabla 10. Capacidad aumentada en horno de curado

Tapas por rack	Velocidad de transportador	Tiempo
98	1.48 Racks / Min	60 minutos
Total de tapas por hora		8,702

Lavado: parte fundamental del proceso de esmaltado de tapas es el lavado de éstas, ya que provienen del proceso de fabricación y traen residuos de lubricante, mismo que debe ser eliminado en su totalidad para evitar defectos en el acabado final. La capacidad de los racks de lavadora era de 4 canastillas (Figura 5). Para crecer la capacidad de lavado, se decidió aumentar los espacios en los racks poniendo más canastillas. Hay tapas redondas y ovaladas; en el caso de las redondas sí fue posible duplicar el número de canastillas, de 4 a 8 (Figura 6), pero en las de forma oval, no, por las dimensiones, por lo que permanecieron sin cambio.



Figura 5. Rack con capacidad de 4 canastillas

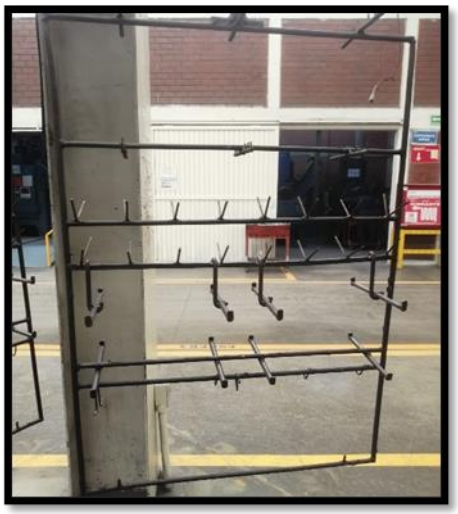


Figura 6. Rack con capacidad modificada a 8 canastillas

Cada canastilla alberga 14 piezas y considerando que en su mayoría son de forma redonda, la capacidad de lavado prácticamente se duplicó a 8,400 piezas por hora (Tabla 11)

ISSN: 2007 8102

Tabla 11. Capacidad aumentada en lavadora

Tapas por rack	Velocidad de transportador	Tiempo
8 canastillas 14 tapas por canastilla	1.25 Racks / Min	60 minutos
Total de tapas por hora		8,400

Para lograr trabajar un solo turno se tuvo que invertir en aumentar la capacidad productiva. Se asignó presupuesto en el rediseño y fabricación de nuevos racks y la modificación de los existentes. Se determinó la necesidad de contar con 210 canastillas para lavado de tapa redonda en medidas mediana y grande y 90 canastillas para tapa oval, así que se hizo la requisición de las que faltaban, 200 y 80, respectivamente. También se requirieron algunas adecuaciones menores en las áreas de trabajo (ver la Tabla 12). El desarrollo de todas las mejoras se realizó en un periodo efectivo de cuatro meses una vez que el proyecto fue aprobado y se liberó el recurso económico.

Tabla 12. Inversión en las mejoras propuestas

Requerimientos de inversión	Cantidad	$/UN	USD
Modificación de racks de lavadora	78	22	1,617
Fabricación de canastillas redondas	200	19	3,700
Fabricación de canastillas oval	80	24	1,880
Fabricación de racks de 22 tapas	80	274	21,944
Fabricación de racks de horno	20	340	6,800
Modificación de transferencia de tapas	1	3,616	3,616
Modificación de racks de horno	38	136	5,149
Inconel 601	1	37,352	37,352
Total			82,118

Antes de los cambios, la plantilla del área de Esmalte tenía 20 operarios en el primer turno y 11 en el segundo. Con el cierre del segundo turno, quedaron 24 operarios. En la Tabla 13 se muestra el número de operarios necesario para cada operación, antes y después de la propuesta.

Tabla 13. Mano de obra directa (MOD) antes y después de la propuesta de mejora

Operación	Puesto	Turno Actual		Turno propuesto	
		1er	2do	1er	2do
Carga, descarga y transferencia	Carga lavadora	3	1	3	0
	Trasferencia aplicación	3	1	3	0
	Trasferencia horno	3	1	4	0
	Chequers / retrabajos / retoque	3	1	4	0
Controladores	Lavadora	1	1	1	0
	Cabinas	1	1	1	0
	Horno	1	1	1	0
	Horno / etiquetador	1	1	1	0
Movedor	Facilitador de proceso	1		1	0
	Granallador	1	1	2	0
	Kan ban	1	1	1	0
	Preparador esmalte / nv gancho	1	1	2	0
Total		20	11	24	0

ISSN: 2007 8102

Fase Control

Una vez implementadas las mejoras para incrementar la capacidad del proceso de Aspersión en un turno, se hizo una revisión de los resultados. Los cambios permitieron un mejor balanceo de las cargas de trabajo en las tres operaciones: lavado 8,400, esmalte 8,316 y curado de esmalte 8,702, lo que facilita un mejor flujo de las piezas al evitar cuellos de botella. El concentrar la producción en un turno permite una mejor administración de la producción y del uso eficiente del recurso humano, así como una menor variabilidad en la calidad de las piezas ocasionada por los cambios de turno y personal.

Resultados y discusión

Se logró cerrar el segundo turno y aumentar en un 63% la capacidad del proceso Aspersión de la UDN Esmalte para trabajar solamente un turno y asegurar el cumplimiento de la demanda de producción proyectada. La Tabla 14 muestra la capacidad anterior y la resultante de los cambios.

Tabla 14. Capacidad operativa antes y después de las mejoras

Subproceso	2 turnos	1 turno
Lavadora de tapas	4,200	8,400
Aplicación de esmalte	5,616	8,316
Curado de esmalte	6,216	8,702
Total (%)	100%	163%

Si se estima que cada trabajador representa un costo de 9,000 USD (dato proporcionado por la empresa), la reducción de 7 operarios equivale a 63,000 USD y representó 23% de ahorro en MOD. La reducción de un turno de trabajo generó también ahorros en el consumo de electricidad, gas para el horno y agua para el lavado; el dato proporcionado por la empresa fue que gastaba 290,302 USD trabajando dos turnos y con uno, se redujo a 149,074 USD, lo que representó un 49% de ahorro. En el balance final, sumando los ahorros de MOD (63,000 USD) y uso de energéticos (141,228 USD), menos la inversión en las mejoras de dispositivos y herramentales (82,118 USD), se tuvo un ahorro neto de 122,110 USD.

Trabajo a futuro

Dar seguimiento al OEE (Overall Equipment Effectiveness) para medir integralmente el aprovechamiento de los equipos que fueron modificados, considerando su disponibilidad y rendimiento, así como la calidad de la producción. También se puede realizar un análisis ergonómico en la carga y descarga de las tapas que hacen los operarios, ya que se aumentó la cantidad de piezas por rack. La empresa tiene además las UDN de Fabricación y Ensamble, que generan una gran variedad de los procesos empleados en cada producto, por lo que la metodología DMAIC podría aplicarse con fines de optimizar los recursos productivos utilizados actualmente. Por último, las propuestas mencionadas podrían ser generadas inicialmente mediante modelos de simulación, pues se cuenta con conocimiento y herramientas para ello.

Conclusiones

Las mejoras propuestas para aumentar la capacidad del proceso de Aspersión demuestran que se puede cumplir con la demanda proyectada utilizando de manera óptima la capacidad en un 95% con un OEE del 87%. Los resultados obtenidos en la MOD de la UDN Esmalte no alcanzaron el objetivo propuesto por la gerencia de manufactura de reducirla en 30%, pero el 23% (63,000 USD) puede considerarse satisfactorio puesto que solamente se incidió en uno de los varios procesos que tiene la UDN. Un beneficio concurrente sin duda es el ahorro en gastos de consumo de la electricidad, el gas y el agua, equivalente a 141,228 USD. Además, la inversión que se hizo fue aplicada a crecer lo que ya se tenía, así que no representa ningún riesgo de que se vaya a perder o que más adelante no sirva. El aumento de la capacidad productiva en un primer turno fue del

 ISSN: 2007 8102

63% en comparación con lo que se venía utilizando en ambos turnos, lo que representa un uso eficiente de los recursos y un efecto positivo en la productividad.

Agradecimientos

Se agradece a la empresa por las facilidades dadas para la realización de este proyecto.

Referencias

[1] I. Daniyan, A. Adeodu, K. Mpofu, R. Maladzhi, and M. G. Kana-Kana Katumba, “Application of lean Six Sigma methodology using DMAIC approach for the improvement of bogie assembly process in the railcar industry,” *Heliyon*, vol. 8, no. 3, p. e09043, 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e09043.

[2] A. Mittal, P. Gupta, V. Kumar, A. Al Owad, S. Mahlawat, and S. Singh, “The performance improvement analysis using Six Sigma DMAIC methodology: A case study on Indian manufacturing company,” *Heliyon*, vol. 9, no. 3, p. e14625, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14625.

[3] E. Navarro, V. Gisbert, and A. I. Pérez, “Metodología e Implementación de Six Sigma,” *3C Empresa: Investigación y pensamiento crítico*, vol. 6, no. 5, pp. 73–80, 2017, doi: 10.17993/3cemp.2017.especial.73-80.

[4] L. A. Pérez-Domínguez, J. J. Pérez-Blanco, L. A. García-Villalba, and P. I. Gómez-Zepeda, “Aplicación de metodología DMAIC en la resolución de problemas de calidad.,” *Mundo FESC*, vol. 10, no. 19, pp. 55–66, 2020, [Online]. Available: https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/508

[5] J. Varela, A. G. López, A. Franco, and B. Y. García, “Aplicación de la metodología DMAIC para mejorar el proceso de fabricación de reguladores en la industria automotriz,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, no. 1, pp. 3885–3902, 2023, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i1.4699.

[6] O. Gracia, F. Estrada, and F. Hermosillo, “Aplicación de la metodología Lean-Sigma en la solución de problemas en procesos de manufactura: Caso de Estudio,” *Culcyt Manufacturera*, vol. 2, no. 57, pp. 199–211, 2015, Accessed: Sep. 03, 2023. [Online]. Available: https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/848

[7] R. H. Félix-Jácquez, M. M. Cruz-Rentería, and Ma. D. Delgado-Celis, “Implementación de herramientas de manufactura esbelta en una empresa de mantenimiento y servicio de locomotoras,” *Revista de Operaciones Tecnológicas*, vol. 4, no. 14, pp. 32–39, 2020, doi: 10.35429/jto.2020.14.4.32.39.

[8] F. A. Guimarey, L. L. Hernández, and M. H. Vasquez, “Mejora De La Productividad Empleando La Metodología Dmaic,” *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, vol. 8, no. 2, pp. 77–91, 2021, doi: 10.26495/icti.v8i2.1907.

[9] T. Fontalbo, E. De la Hoz, and J. Morelos, “Productivity and its factors: impact on organizational improvement,” *Dimensión Empresarial*, vol. 16, no. 1, pp. 47–60, 2017, doi: 10.15665/dem.v16i1.1897.

[10] R. Y. Sumba, P. Moreno, and N. Villafuerte, “Clima Organizacional Como Factor Del Desempeño Laboral.,” *Dialnet*, vol. 8, pp. 1–28, 2022, [Online]. Available: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8383360

[11] L. J. Ramírez, “Impacto de factores del desarrollo cultural organizacional, en la rentabilidad empresarial,” *Revista Científica Orbis Cognita*, vol. 4, no. 2, pp. 140–157, 2020, doi: https://doi.org/10.48204/j.orbis.v4n2a8.

[12] I. Quinto, “Propuesta de diseño de línea de producción de estructuras metálicas en la empresa Construcciones y Cubiertas Klaere-Durán,” Universidad de Guayaquil, 2021. [Online]. Available: http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/52460?mode=full

[13] G. P. Quiroga, “Propuesta para la aplicación de la metodología AMFEC, en una máquina productora de servilletas en la empresa Prodpapel S.A.,” Thesis, Universidad de Guayaquil, 2019. [Online]. Available: http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/42256

[14] K. L. Bravo, J. Menéndez, and F. Peñaherrera-Larenas, “Importancia de los estudios de tiempos en el proceso de comercialización de las empresas.,” *Observatorio de la economía latinoamericana*, vol. 5, p. 6, 2018, [Online]. Available: https://www.eumed.net/rev/oel/2018/05/comercializacion-empresas-ecuador.html

ISSN: 2007 8102

Diseño de rutas para la recolección de RSU en un municipio del estado de Veracruz

L. G. Tobón Galicia 1[1], G. Sánchez Martínez 2[2], L. Fuentes Rosas 3[3], L. García Rodríguez 4[4],*
[1]Tecnológico Nacional de México campus Tierra Blanca1 y Lucila.Tobon@itstb.edu.mx1, [2]Tecnológico Nacional de México campus Tierra Blanca2 y Gabriel.Sanchez@itstb.edu.mx2, 3Tecnológico Nacional de México campus Tierra Blanca3 y Liliana.Fuentes@itstb.edu.mx3, 4Tecnológico Nacional de México campus Los Mochis4 y linda.gr@mochis.tecnm.mx4.

***Área de participación**: Ingeniería Industrial*

Resumen

El presente, aborda el tema de las rutas de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) en un municipio del estado de Veracruz, donde la actividad de limpia pública es asignada a una nueva persona en cada cambio de gobierno; la falta de experiencia de los administradores origina que utilicen métodos empíricos, generando problemas como: costos elevados, insuficiencia del parque vehicular y principalmente insatisfacción de los usuarios. Con la intención de maximizar el uso de los recursos empleados en la recolección de basura del municipio, se aplicó el método CVRP (Problema de ruteo con capacidad limitada) usando el algoritmo de ahorros de Clarke y Wright, para establecer las rutas de 33 comunidades; como resultado se obtuvieron 12 diferentes rutas que garantizan: la optimización de la capacidad de los vehículos y cubrir la demanda de los usuarios.

***Palabras clave**: RSU, CVRP, ruteo.*

Abstract

This paper addresses the issue of urban solid waste (MSW) collection routes in a municipality in the state of Veracruz, where the activity of public cleaning is assigned to a new person at each change of government; The lack of experience of the administrators causes them to use empirical methods, generating problems such as: high costs, insufficient vehicle fleet and mainly user dissatisfaction. With the intention of maximizing the use of the resources used in the municipal garbage collection, the CVRP method (Capacity Limited Routing Problem) was applied using the Clarke and Wright savings algorithm, to establish the routes of 33 communities; As a result, 12 different routes were obtained that guarantee: the optimization of the capacity of the vehicles and cover the demand of the users.

***Key words**: MSW, CVRP, routing.*

Introducción

El estado de Veracruz es una de las 32 entidades federativas que, sumadas con el Distrito Federal, conforman la República Mexicana, está formado por 212 municipios, que se encuentran divididos en 10 regiones: Huasteca alta, Huasteca baja, Totonaca, Nautla, Capital, Montañas, Sotavento, Papaloapan, Los Tuxtlas, Olmeca [1]. Ubicado en la región de las montañas, se localiza el municipio de Tezonapa, Veracruz, integrado por 150 localidades y la cabecera municipal, al año 2020, registró una población de 54,537 habitantes [2]. Como en el resto de los municipios del estado de Veracruz, la prestación del servicio de limpia pública es competencia exclusiva de los ayuntamientos, realizada por administración directa o por medio de una persona física o moral a quien el ayuntamiento proporcione la concesión, cualquier caso es bajo la supervisión del presidente municipal y la comisión edilicia del ramo [3]. En Tezonapa, la actividad de limpia pública es asignada a una nueva persona en cada cambio de gobierno, esta variabilidad del personal origina el desconocimiento de la gestión de los RSU en el municipio, por lo que, la persona responsable se apoya de la escasa información heredada del gobierno

anterior para ejercer sus funciones, que entre las principales se encuentra, la ruta del camión recolector, que se elaboró en algún gobierno y que, combinada con la poca experiencia de los nuevos responsables, se adecua y ejecuta, originando con ello costos de operación elevados, insuficiencia del parque vehicular y principalmente insatisfacción de los usuarios.

El objetivo de esta investigación es proporcionar al responsable de limpia pública del municipio, un sustento científico y no empírico, con respecto a la ruta de los camiones recolectores de basura, que le permita evaluar el desempeño actual de su departamento y tomar decisiones efectivas que disminuyan los actuales problemas, especialmente el de insatisfacción de los usuarios, así mismo, que le permita justificar, de ser necesario, el fortalecimiento de la flota vehicular empleada para el servicio.

Para iniciar con este proyecto, fue necesario conocer cuántas comunidades disponen del servicio de recolección de basura, así como también, la distancia de cada uno de estos lugares con respecto a la cabecera municipal, que es de dónde sale el camión recolector y a dónde debe regresar; otro dato importante, fue indagar la cantidad promedio de basura generada por comunidad y finalmente solicitar información de la flotilla de camiones disponibles, especialmente de su capacidad.

Con toda la información disponible fue necesario consultar referencias bibliográficas para determinar el tipo de método de generación de rutas, que se apegara lo máximo posible a las condiciones de operación existentes, derivado de la búsqueda, se halló que, según [4], teóricamente existen modelos que resuelven de forma parcial este tipo de problemas:

a) El Problema del agente viajero o TSP (Travelling Salesman Problem), el cual dispone de un solo vehículo que debe visitar a todos los clientes en una sola ruta y a costo mínimo.

b) El VRP (Vehicle Routing Problem) es un problema de optimización combinatoria y programación entera, y es una evolución del modelo TSP en la cual cada cliente, incluido el depósito, tiene asociada una demanda y cada vehículo tiene una capacidad de carga límite (se considera que la flota es homogénea en capacidad).

c) El FSMVRPTW (Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows) o Problema de ruteo de una flota de vehículos heterogéneo en capacidad y cantidad para atender clientes en ventanas horarias.

d) También existen otras técnicas metaheurísticas como FSMVRP (Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem) aplicadas con diferentes técnicas como algoritmos, búsqueda tabú y colonia de hormigas aplicadas a diversos ámbitos y temas de optimización (Távora 2014).

Por lo tanto, para este caso se utilizará el método de generación de rutas VPR, que de acuerdo con [5], se define como la organización de una serie de puntos de carga o descarga y las rutas o líneas donde transita una flota de vehículos bajo ciertas restricciones, como la demanda de bienes, entrega, tiempos de entrega o limitaciones en la capacidad de los vehículos. El método engloba un conjunto de técnicas, variables y personalizaciones que pueden generar diferentes resultados, dependiendo del caso de estudio; así mismo, de acuerdo con el tipo de restricciones tiene diferentes variantes, aquí se utiliza el CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem), que se puede describir de manera sencilla como una flota de vehículos con capacidades homogéneas que tienen que satisfacer la demanda de un grupo de clientes que empiezan y finalizan su ruta en un centro de distribución al menor costo posible, además de identificar el orden de visita de estos [6] referenciado por [7]. De las técnicas más difundidas para solucionar el problema de ruteo de vehículos, se encontró el algoritmo de ahorros de Clark y Wright, que consiste en el principio de combinar una solución de dos rutas diferentes para formar una nueva ruta donde se validen los ahorros [7], este algoritmo inicia en una solución inicial y a partir de ésta se realizan las uniones que maximicen los ahorros, siempre y cuando no se violen las restricciones.

Metodología

Para implementar el algoritmo de Clark y Wright se siguieron los pasos que se presentan en la Figura 1, que después se describen detalladamente.

ISSN: 2007 8102

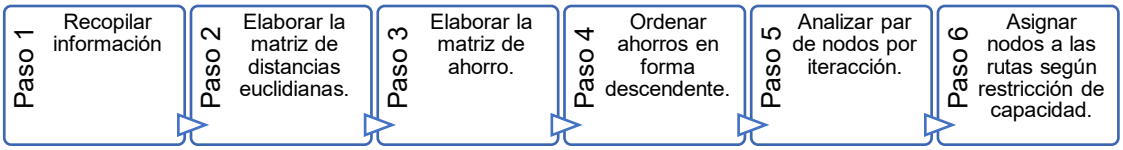


Figura 1. Pasos para la implementación del algoritmo Clark y Wright

Paso 1.

La recolección de información se realizó siguiendo las rutas actuales del camión recolector de basura, obteniendo con ello los nombres de las 33 comunidades a las que se les otorga el servicio y la cantidad de RSU recolectados por sitio; posteriormente se solicitaron las características de los dos camiones colectores, de donde se obtuvo que la capacidad de uno es de 12 toneladas y del otro de 12.5, para cumplir con uno de los supuestos de este método, que es: todos los camiones tienen la misma capacidad, se considerará una capacidad de 12 toneladas por unidad; otra característica es que uno de los camiones es compactador y el otro únicamente de carga. También fue necesario conocer la ubicación geográfica de cada una de las comunidades, tomando la decisión de elaborar dos veces el algoritmo, una para cubrir las localidades ubicadas al noroeste y otra para las ubicadas en el suroeste de la cabecera municipal, que es donde se localiza el punto de salida y llegada del camión, se indagó la longitud y la latitud de cada una de las comunidades ya que el algoritmo del ahorro ocupa estos datos. Como resumen de la información utilizada se presentan las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Datos para las comunidades del noroeste del municipio.

Coordenadas de ubicación			
Nodo	**Longitud**	**Latitud**	**Demanda**
Tezonapa	-96.68692	18.60238	0
La unión	-96.72574	18.55713	1.0455
Laguna Chica	-96.73346	18.54346	7.10650
Col. Santa María	-96.76168	18.54442	0.40500
Rancho Nuevo	-96.7791	18.54129	6.08400
Almilinga	-96.79041	18.53071	3.69400
La Victoria	-96.80713	18.53094	0.72900
Josefinas	-96.69334	18.49260	2.99825
Palmar Grande	-96.77858	18.51607	5.65653
San Agustín	-96.72075	18.51702	5.48183
Manzanares	-96.76241	18.53193	2.37971
Campo Experimental	-96.76459	18.51356	1.83200
Independencia	-96.72948	18.59673	1.38816
Ignacio Escobar	-96.70825	18.58742	1.00099
Tenejapan	-96.81223	18.53658	1.60536
Tilica	-96.82238	18.55241	1.80839
Monte Alto	-96.70069	18.41822	3.39486
Las Limas	-96.72349	18.48428	4.44779
Puente Chilapa	-96.71802	18.45487	2.11058
El Cedro	-96.73744	18.51398	2.29944
Caxapa	-96.77314	18.43224	9.56606
Col López Mateos	-96.76778	18.44889	1.74229
El Suspiro	-96.77413	18.46681	2.48831
Xocoapa	-96.77501	18.50039	2.15307
		Total	**71**

 ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Datos para las comunidades del noroeste del municipio.

Coordenadas de ubicación			
Nodo	**Longitud**	**Latitud**	**Demanda**
Tezonapa	-96.68692	18.60238	0.00000
Hospital Integral	-96.69592	18.61607	4.81600
Los Alfaro	-96.71443	18.63431	0.50000
Motzorongo	-96.72949	18.64199	12.69600
Paraíso	-96.75823	18.66193	10.93700
Presidio	-96.76840	18.68241	5.72000
Pocitos	-96.78724	18.70274	4.81600
San Bernardo	-96.77791	18.68321	1.43800
Vázquez Vela	-96.79160	18.66318	1.59600
Col. Morelos	-96.80482	18.66920	1.27500
Villa Nueva	-96.81778	18.62887	8.19500
		Total	**51.989**

Como siguiente actividad, se determinó el número mínimo de camiones o de rutas (r(S)) que deben resultar en la solución final del algoritmo, la fórmula utilizada es la que se presenta en la ecuación número 1 [8].

$$r(S) = \left\lceil \frac{\sum i \varepsilon S \; d_i}{C} \right\rceil \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots Ecuación\ 1$$

Donde:
D_i= Demanda de cada localidad
C= Capacidad del transporte
En las Tablas 3 y 4 se muestran las rutas mínimas que deberá contener la solución final del algoritmo, así como también la capacidad utilizada general del transporte.

Tabla 3 Cantidad mínima de rutas y porcentaje de utilización para Suroeste.

Mínimo número de rutas para las localidades del Suroeste de Tezonapa		
Capacidad Máxima de cada camión	12	Toneladas
r(S): Número mínimo de camiones (o rutas) =	6	Rutas
$\sum i \varepsilon S \; d_i$: **Total demanda =**	71	Toneladas
Capacidad utilizada general =	99.19%	

La Tabla 3 indica que para cubrir la demanda de RSU de las comunidades del suroeste de Tezonapa, se utilizarán 6 rutas al 99.19% de su capacidad, mientras que para cubrir las localidades del noroeste se ocupan 5 rutas al 86.65% de su capacidad.

Tabla 4. Cantidad mínima de rutas y porcentaje de utilización para Noroeste.

Mínimo número de rutas para las localidades del Noroeste de Tezonapa		
Capacidad Máxima de cada camión	12	Toneladas
r(S): Número mínimo de camiones (o rutas) =	5	Rutas
$\sum i \varepsilon S \; d_i$: **Total demanda =**	51.989	Toneladas
Capacidad utilizada general =	86.65%	

Paso 2.

Matriz de distancias euclidianas. - El algoritmo de Clark y Wright utiliza la métrica euclidiana, para calcular las distancias euclidianas entre las localidades, de acuerdo con el autor [9] una métrica euclidiana es una forma de geometría que calcula la distancia que existe entre dos puntos en un plano cartesiano, considerada como la raíz de la suma de los cuadrados de la resta de los ejes de los dos puntos, la fórmula matemática es la que se muestra en la ecuación 2.

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \text{.....Ecuación 2}$$

Por lo tanto, se calcularon las distancias euclidianas entre cada punto y se obtuvo la matriz; en la Tabla 5 se presentan la información de las localidades al Suroeste.

Tabla 5. Matriz de distancias euclidianas para las localidades del Suroeste.

Matriz de distancias euclidianas																								
	Tezonapa	La unión	Laguna Chica	Col. Santa María	Rancho Nuevo	Almilinga	La Victoria	Josefinas	Palmar Grande	San Agustín	Manzanares	Campo Experimental	Independencia	Ignacio Escobar	Tenejapan	Tilica	Monte Alto	Las Limas	Puente Chilapa	El Cedro	Caxapa	Col López Mateo	El Suspiro	Xocoapa
Tezonapa	0.00	0.06	0.08	0.09	0.11	0.13	0.14	0.11	0.13	0.09	0.10	0.12	0.04	0.03	0.14	0.14	0.18	0.12	0.15	0.10	0.19	0.17	0.16	0.13
La unión	0.06	0.00	0.02	0.04	0.06	0.07	0.09	0.07	0.07	0.04	0.04	0.06	0.04	0.03	0.09	0.10	0.14	0.07	0.10	0.04	0.13	0.12	0.10	0.08
Laguna Chica	0.08	0.02	0.00	0.03	0.05	0.06	0.07	0.06	0.05	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.08	0.09	0.13	0.06	0.09	0.03	0.12	0.10	0.09	0.06
Col. Santa María	0.09	0.04	0.03	0.00	0.02	0.03	0.05	0.09	0.03	0.05	0.01	0.03	0.06	0.07	0.05	0.06	0.14	0.07	0.10	0.04	0.11	0.10	0.08	0.05
Rancho Nuevo	0.11	0.06	0.05	0.02	0.00	0.02	0.03	0.10	0.03	0.06	0.02	0.03	0.07	0.08	0.03	0.04	0.15	0.08	0.11	0.05	0.11	0.09	0.07	0.04
Almilinga	0.13	0.07	0.06	0.03	0.02	0.00	0.02	0.10	0.02	0.07	0.03	0.03	0.09	0.10	0.02	0.04	0.14	0.08	0.10	0.06	0.10	0.08	0.07	0.03
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	.	.
Xocoapa	0.13	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.04	0.08	0.02	0.06	0.03	0.02	0.11	0.11	0.05	0.07	0.11	0.05	0.07	0.04	0.07	0.05	0.03	0.00

La Tabla 6 es la matriz de las localidades ubicadas al noroeste del municipio, cabe destacar que la matriz es simétrica, cumpliendo así uno de los supuestos del modelo del método.

Tabla 6. Matriz de distancias euclidianas para las localidades del Noroeste.

Matriz de distancias euclidianas											
	Tezonapa	Hospital Integral	Los Alfaro	Motzorongo	Paraíso	Presidio	Pocitos	San Bernardo	Vázquez Vela	Col. Morelos	Villa Nueva
Tezonapa	0.00	0.02	0.04	0.06	0.09	0.11	0.14	0.12	0.12	0.14	0.13
Hospital Integral	0.02	0.00	0.03	0.04	0.08	0.10	0.13	0.11	0.11	0.12	0.12
Los Alfaro	0.04	0.03	0.00	0.02	0.05	0.07	0.10	0.08	0.08	0.10	0.10
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Villa Nueva	0.13	0.12	0.10	0.09	0.07	0.07	0.08	0.07	0.04	0.04	0.00

 ISSN: 2007 8102

Paso 3.

Matriz de ahorro. - Por medio de esta matriz se obtiene el valor que se ahorra en cada una de las combinaciones entre las diferentes comunidades, en este caso el ahorro es de distancias, pero también puede ser de costos. El ahorro en distancia se representa matemáticamente de la siguiente manera [10]:

$$S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij} \dots\dots\dots Ecuación\ 3$$

Donde:

S_{ij}= Valor del ahorro (distancia)
C_{i0}= El costo del arco i al punto 0 o depósito.
C_{0j}= El costo del arco 0 o depósito al punto j.
C_{ij}= El costo del arco i al punto j

Las Tablas 7 y 8 muestran las matrices de ahorro para cada uno de los algoritmos, en la Tabla 7 se encuentra en color rojo, la celda que contiene al segundo valor mayor de todo el conjunto de datos y que corresponde a la iteración Xocoapa-Independencia. En la Tabla 8, la celda en color rojo es el valor mayor de todo el conjunto de datos y corresponde a la iteración Colonia Morelos-Vázquez Vela.

Tabla 7. Matriz de ahorro para localidades del Suroeste.

Matriz de ahorro																								
	Tezonapa	La unión	Laguna Chica	Col. Santa María	Rancho Nuevo	Almilinga	La Victoria	Josefinas	Palmar Grande	San Agustín	Manzanares	Campo Experimental	Independencia	Ignacio Escobar	Tenejapan	Tilica	Monte Alto	Las Limas	Puente Chilapa	El Cedro	Caxapa	Col López Mateo	El Suspiro	Xocoapa
Tezonapa																								
La unión	0.12																							
Laguna Chica	0.12	0.15																						
Col. Santa María	0.11	0.15	0.18																					
Rancho Nuevo	0.12	0.15	0.17	0.22																				
Almilinga	0.11	0.15	0.18	0.22	0.25																			
La Victoria	0.10	0.10	0.13	0.17	0.21	0.23																		
Josefinas	0.12	0.13	0.16	0.15	0.15	0.16	0.12																	
Palmar Grande	0.11	0.10	0.13	0.17	0.19	0.21	0.17	0.13																
San Agustín	0.12	0.14	0.17	0.16	0.17	0.17	0.13	0.19	0.14															
Manzanares	0.12	0.15	0.18	0.22	0.22	0.23	0.18	0.16	0.19	0.18														
Campo Experimental	0.06	0.06	0.09	0.12	0.14	0.15	0.11	0.09	0.12	0.10	0.14													
Independencia	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.03	0.04	0.02	0.05	0.07	-0.02												
Ignacio Escobar	0.11	0.18	0.19	0.18	0.18	0.18	0.14	0.17	0.13	0.17	0.18	0.09	0.14											
Tenejapan	0.11	0.13	0.16	0.20	0.24	0.26	0.25	0.14	0.20	0.15	0.21	0.13	0.07	0.17										
Tilica	0.10	0.16	0.19	0.23	0.27	0.29	0.27	0.17	0.22	0.18	0.24	0.16	0.11	0.21	0.31									
Monte Alto	0.11	0.06	0.09	0.09	0.10	0.12	0.08	0.17	0.09	0.13	0.11	0.05	-0.03	0.10	0.11	0.13								
Las Limas	0.11	0.15	0.19	0.19	0.20	0.21	0.16	0.25	0.18	0.22	0.21	0.14	0.06	0.19	0.19	0.22	0.20							
Puente Chilapa	0.12	0.07	0.11	0.11	0.12	0.14	0.09	0.18	0.11	0.14	0.13	0.07	-0.01	0.11	0.12	0.14	0.18	0.22						
El Cedro	0.12	0.22	0.26	0.26	0.27	0.28	0.23	0.27	0.24	0.28	0.28	0.21	0.13	0.25	0.26	0.28	0.21	0.31	0.23					
Caxapa	0.12	0.11	0.15	0.17	0.19	0.21	0.18	0.20	0.18	0.18	0.19	0.13	0.03	0.15	0.21	0.23	0.22	0.25	0.22	0.28				
Col López Mateo	0.12	0.12	0.16	0.18	0.19	0.22	0.18	0.20	0.18	0.18	0.20	0.14	0.03	0.15	0.21	0.23	0.21	0.26	0.21	0.28	0.32			

El Suspiro	0.12	0.11	0.14	0.17	0.19	0.21	0.17	0.18	0.18	0.16	0.19	0.13	0.02	0.14	0.20	0.22	0.17	0.23	0.18	0.27	0.27	0.28		
Xocoapa	0.06	0.00	0.03	0.06	0.08	0.11	0.07	0.04	0.08	0.05	0.08	0.03	-0.08	0.03	0.09	0.11	0.01	0.10	0.03	0.15	0.11	0.11	0.10	

Tabla 8. Matriz de ahorro para localidades del Noroeste.

Matriz de ahorro											
	Tezonapa	Hospital Integral	Los Alfaro	Motzorongo	Paraíso	Presidio	Pocitos	San Bernardo	Vázquez Vela	Col. Morelos	Villa Nueva
Tezonapa											
Hospital Integral	0.03										
Los Alfaro	0.03	0.07									
Motzorongo	0.03	0.09	0.13								
Paraíso	0.03	0.08	0.12	0.17							
Presidio	0.03	0.09	0.13	0.18	0.23						
Pocitos	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.24					
San Bernardo	0.03	0.06	0.10	0.15	0.21	0.25	0.22				
Vázquez Vela	0.03	0.07	0.11	0.16	0.22	0.25	0.22	0.23			
Col. Morelos	0.03	0.05	0.09	0.15	0.20	0.24	0.22	0.22	0.25		
Villa Nueva	0.02	-0.08	-0.05	0.00	0.05	0.07	0.04	0.05	0.09	0.09	

Pasos 4 y 5.

En estos pasos del algoritmo, deben de ordenarse cada uno de los ahorros en orden descendente y colocar la iteración que corresponde al valor, se suma la demanda de los nodos y posteriormente se analiza cada par de nodos por cada una de las iteraciones, para finalmente validar si es factible o no crear la ruta según la restricción de la demanda, o bien, conectar una ruta con otra ya existente.

En las Tablas 9 y 10 se muestran los resultados de implementar los pasos 4 y 5.

Tabla 9. Orden de ahorros y análisis de interacción Suroeste.

Ordenar ahorros en forma descendente	Analizar par de nodos por interacción					
K	K-ésimo mayor	Par de nodos de la interacción k		Demanda total del par de nodos	Factible crear nueva ruta o conectar con ruta existente	Estado
1	0.317202883	~~Col. López Mateos~~	~~Caxapa~~	11.30835	Si	Siguiente interacción
2	0.31025211	~~Tilica~~	~~Tenejapan~~	3.41375	Sí	Siguiente interacción
3	0.285876177	~~El Cedro~~	~~Las Limas~~	6.74723	Sí	Siguiente interacción
4	0.282186726	~~Tilica~~	~~Almilinga~~	5.50239	Sí	Siguiente interacción
5	0.280127474	~~El Cedro~~	~~Tilica~~	4.10783	Nodos resueltos	Siguiente interacción
6	0.277975889	~~Col. López Mateos~~	~~El Cedro~~	4.04173	Nodos resueltos	Siguiente interacción
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
255	0.046503415	~~Monte Alto~~	~~La Unión~~	4.44036	Nodos resueltos	Siguiente interacción
256	0.043866621	~~Monte Alto~~	~~Campo Experimental~~	5.22686	Nodos resueltos	Siguiente interacción
258	0.034755499	~~Independencia~~	~~San Agustín~~	6.87000	Sí	Solo falta un nodo
259	0.034531456	~~Xocoapa~~	~~San Agustín~~	7.63490	Sí	Fin del algoritmo

 ISSN: 2007 8102

Tabla 10. Orden de ahorros y análisis de interacción Noroeste.

Ordenar ahorros en forma descendente	Analizar par de nodos por interacción					
K	K-ésimo mayor	Par de nodos de la interacción k		Demanda total del par de nodos	Factible crear nueva ruta o conectar con ruta existente	Estado
1	0.254511057	~~Col. Morelos~~	~~Vázquez Vela~~	2.87100	si	Siguiente interacción
2	0.253415748	~~San Bernardo~~	~~Presidio~~	7.15800	si	Siguiente interacción
3	0.247286039	~~Vázquez Vela~~	~~Presidio~~	7.31600	Nodos resueltos	Siguiente interacción
4	0.236672343	~~Col. Morelos~~	~~Presidio~~	6.99500	Nodos resueltos	Siguiente interacción
5	0.23589538	~~Pocitos~~	~~Presidio~~	10.53600	Si	Siguiente interacción
6	0.233238467	~~Presidio~~	~~Paraíso~~	16.65700	No	Siguiente interacción
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
40	0.046097605	~~Villa Nueva~~	~~Paraíso~~	19.13200	Nodos resueltos	Solo falta un nodo
41	0.041769998	~~Villa Nueva~~	~~Pocitos~~	13.01100	Nodos resueltos	Solo falta un nodo
42	0.037951413	~~Pocitos~~	~~Hospital Integral~~	9.63200	No	Solo falta un nodo
43	0.032534171	~~Hospital Integral~~	~~Tezonapa~~	4.81600	Si	Fin del algoritmo

Pasos 6.

Este último paso del algoritmo se realiza simultáneamente con el paso 5, una vez evaluado si es factible crear una ruta o conectar con una ruta ya existente, se van armando las rutas, una ruta concluye cuando se llega o se aproxima al límite de la capacidad del camión, en este paso también se determina el porcentaje de ocupación del vehículo por ruta, las Tablas 11 y 12 muestran la solución óptima del algoritmo.

Resultados y discusión

Primeros resultados

La Tabla 11 corresponde a la solución óptima a la que se llegó después de implementar el algoritmo del ahorro, como se observa, son seis rutas las formadas para cubrir la demanda de las localidades del Suroeste, cinco de ellas cumplen con la capacidad establecida para los camiones, una la supera por media tonelada, sin embargo, no se considera conflicto porque como ya se ha mencionado un camión tiene cabida para 12.5 toneladas; con respecto a la capacidad de utilización del camión, en todos los casos es mayor al 94%, indicador de que se está aprovechando efectivamente y aunque no se consideraron costos, se tendrá la certeza que el kilometraje recorrido en cada ruta será aprovechado al máximo.

Tabla 11. Solución del algoritmo para las localidades del Suroeste.

Solución												
Ruta/ camión	Nodos de la ruta									Demanda total	Distancia recorrida	% de capacidad de utilización
1	DC	Col. López Mateos	Caxapa	DC						11.3	0.3817	94.24
2	DC	Tilica	Tenejapan	La Victoria	Almilinga	Campo Experimental	La Unión	Ignacio Escobar	DC	11.7	0.3379	97.63
3	DC	El Suspiro	Las Limas	El Cedro	Manzanares	Col. Santa María	DC			12.0	0.39	100.1
4	DC	Palmar Grande	Rancho Nuevo	DC						11.7	0.26	97.84
5	DC	Xocoapa	Josefinas	San Agustín	Independencia	DC				12.0	0.38	100.1
6	DC	Puente Chilapa	Monte Alto	Laguna Chica	DC					12.5	0.40	105.1
Total										71		99.19

ISSN: 2007 8102

Utilizando la herramienta de Google Maps se elabora la Figura 2, en donde se muestra como serían las rutas que cubrirían la demanda de RSU en las comunidades del Suroeste del municipio de Tezonapa.

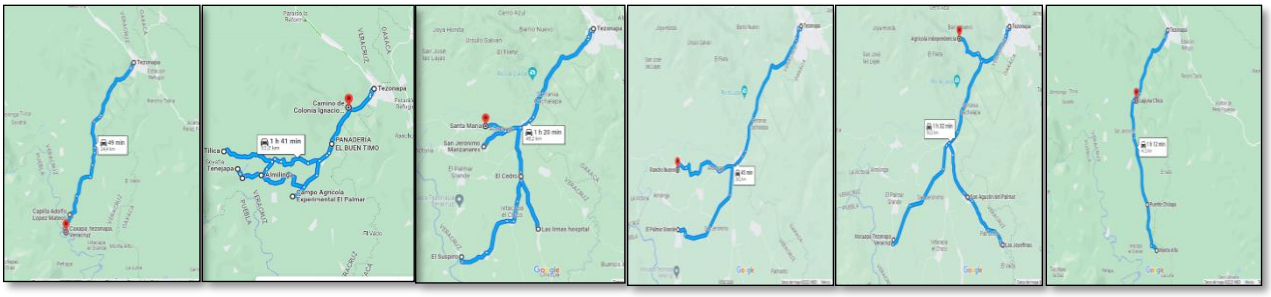


Figura 2. Rutas para las comunidades del Suroeste.

Segundos resultados

En la Tabla 12 se presenta la solución óptima para cubrir la ruta de las comunidades del Noroeste de Tezonapa, se observan 5 rutas tal como lo indica la fórmula de la Ecuación 1; en 4 de las rutas la capacidad de utilización está por arriba del 92%, mientras que, en una, apenas se alcanza el 45%, sin embargo, el resto de la capacidad puede aprovecharse para cubrir algunas colonias de la cabecera municipal.

Tabla 12. Solución del algoritmo para las localidades del Noroeste.

Solución								
Ruta/ camión	**Nodos de la ruta**					**Demanda total**	**Distancia recorrida**	**% de capacidad de utilización**
1	DC	Villa Nueva	Col. Morelos	Vázquez Vela	DC	11.06600	0.31	92.22
2	DC	San Bernardo	Presidio	Pocitos	DC	11.97400	0.30086777	99.78
3	DC	Paraíso	Los Alfaro	DC		11.43700	0.18682545	95.31
4	DC	Motzorongo	Hospital Integral	DC		5.51200	0.11694905	45.93
5	DC	Motzorongo	DC			12.00000	0.11629992	100.00
Total						51.98900		86.65

Nuevamente se utilizó la herramienta de Google Maps, para localizar geográficamente cada una de las rutas que cubrirían la demanda de las localidades del Noroeste de Tezonapa (Ver Figura 3).



Figura 3. Rutas para las comunidades del Noroeste.

Trabajo a futuro

El trabajo inmediato es implementar el algoritmo del ahorro para establecer la ruta del camión recolector de RSU en la cabecera municipal, acción seguida se considera importante considerar los costos que generan cada una de las rutas, y localizar otras restricciones que pudieran presentarse, ya que esta solución encontrada, únicamente tomó en cuenta la restricción de capacidad de los camiones. También se tiene presente que el algoritmo del

ahorro es un método heurístico que si bien arroja buenas soluciones no garantiza proporcionar la solución óptima del problema, por lo tanto, sería importante optimizar los resultados encontrados en esta etapa de la investigación.

Conclusiones

El análisis del proceso de recolección del RSU para las comunidades que demandan el servicio en el municipio de Tezonapa, puede considerarse un problema de enrutamiento de vehículos con capacidad limitada (CVRP), donde los resultados servirán de base para evaluar y comparar la operación actual de recolección de RSU y con base en ello, tomar decisiones; es importante mencionar, que al iniciar la investigación, los administradores manifestaron la insuficiencia de capacidad para cubrir las rutas y la consecuencia de insatisfacción de los usuarios, sin embargo, la solución obtenida garantiza cubrir la demanda semanal, por lo tanto, se estarían eliminando los problemas de capacidad e insatisfacción y con ello mejorando el servicio ofertado por el área de limpia pública del ayuntamiento. Se destaca el hecho de proporcionar a los responsables del proceso, resultados claros, precisos y confiables, no basados únicamente en la experiencia que en la mayoría de los casos es escasa, sino derivados de la implementación de una herramienta, que garantiza la certeza de las decisiones tomadas. Finalmente, no se pasa desapercibido, que disponer de herramientas informáticas como lo son Google Maps y Excel, facilitan la implementación de este tipo de metodologías, y no se descarta la posibilidad de utilizar un software exclusivo para la determinación de rutas, sin embargo, hasta este momento de la investigación, se cumple con el objetivo y se añade la comprensión del método de análisis empleado.

Agradecimientos

Al H. Ayuntamiento de Tezonapa, Veracruz, específicamente al área de limpia Pública, el proporcionar las facilidades para la recolección de información que hicieron posible el desarrollo de esta investigación.

Referencias

[1] SEFIPLAN - COPLADEVER, 2007. [En línea]. Available: http://www.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/2/2012/01/tf07-er-07-est-reg-planeacion.pdf. [Último acceso: 01 Agosto 2023].
[2] Gobierno de México, «Data México,» 2020. [En línea]. Available: https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/tezonapa#:~:text=La%20poblaci%C3%B3n%20total%20de%20Tezonapa,%25%20mujeres%20y%2049.2%25%20hombres.. [Último acceso: 04 Agosto 2023].
[3] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, «Gobierno de México,» 15 Mayo 2020. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187445/Veracruz.pdf. [Último acceso: 04 08 2023].
[4] N. Reyes Morales, «Modelo de optimización de programación de rutas para una empresa logística peruana usando herramientas FSMVRPTW,» Revista Industrial Data, vol. 19, nº 2, pp. 118-123, 2016.
[5] R. A. Cadena González, Problemas de optimización en la gestión logistica de distribución: Una revisión de literatura de la solución del problema de ruteo de vehículos VRP., Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 2018.
[6] J. P. Orrego Cardozo, D. Ospina Toro y E. M. Toro Ocampo, «Solución al Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidad Limitada (CVRP) usando una técnica metaheurística,» Scientia et Technica, vol. 21, nº 3, pp. 223-233, 2016.
[7] J. A. Ascencio Laguna, A. Bustos Rosales, J. E. Jiménez Sánchez, J. A. Balbuena Cruz y A. R. Zamora Domínguez, Asistente automático para diseño de rutas de distribución., Sanfandila, Qro.: Secretaría de comunicaciones y transportes, 2018.
[8] M. Villa Marulanda, «YouTube,» 26 Junio 2021. [En línea]. Available: https://drive.google.com/file/d/1Q6o7.... [Último acceso: 02 Junio 2023].
[9] R. A. Gutiérrez Mite, «Diseño de ruteo vehicular con ventanas de tiempo aplicando el algoritmo Clarke & Wright para una empresa que comercializa insumos y dispositivos médicos,» Guayaquil, Ecuador, 2018.
[10] J. Castañeda Jiménez y J. A. Cardona Arias, «Implementación del método del ahorro para resolver el vrp aplicado al diseño de una red de logística inversa para la recolección de aceite vehicular usado generado en los puntos de acopio ubicados en Pereira,» Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, 2014.

ISSN: 2007 8102

IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA 5´S EN ÁREA DE PRODUCCIÓN EN UNA EMPRESA GALLETERA

*F. Carreño Reyna[1], L. Santos Espinosa[*1], J.C. Cruz Trujillo[1]*, M.S. *López Vigil[2]*
[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan
[2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán
[*]lsantose03@gmail.com

***Área de participación**: Ingeniería Industrial.*

Resumen
El proyecto se llevó a cabo en una empresa dedicada a la producción de Galletas, se implementa metodología 5´s y con ello auditorías internas de BPM´s (Buenas Prácticas de Manufactura) con el fin de lograr el objetivo de organizar el lugar de trabajo, conservarlo limpio, con condiciones de trabajo estandarizadas y que los trabajadores de la empresa tengan una actitud disciplinada, dentro de la línea 4 de producción. Se inicia con la capacitación de las BPM´s a los supervisores de producción en el cual se informa sobre los puntos que se tomaran en cuenta para la auditoria que se lleva a cabo una vez al día con una hora aleatoria durante el turno. Se implementan las 5´s en sus respectivas fases: selección, orden, limpieza, estandarización y disciplina. Al implementar las auditorias internas que se llevan a cabo durante 9 semanas se obtiene un 87.5% de eficiencia en línea 4.

***Palabras clave**: Metodología 5´s, auditorías internas, buenas prácticas de manufactura, producción.*

Abstract
The project was carried out in a company dedicated to the production of cookies, 5's methodology is implemented and with it internal audits of BPM's (Good Manufacturing Practices) in order to achieve the objective of organizing the workplace, keep it clean, with standardized working conditions and that company workers observe a disciplined attitude, within production line 4. It begins with the training of the BPM's to the production supervisors in which the points that will be taken into account for the audit that is carried out once a day with a random hour during the shift are reported. The 5's are implemented in their respective phases: selection, order, cleaning, standardization and discipline. By implementing the internal audits that are carried out during 9 weeks, an 87.5% efficiency is obtained in line 4.
***Keywords**: 5's Methodology, internal audits, good manufacturing practices, production.*

Introducción

La metodología de las 5´s es un sistema desarrollado en Japón, técnica utilizada para mejorar las condiciones de trabajo dentro de cualquier empresa a través de una excelente organización y limpieza en el puesto de trabajo. Esta metodología se aplica en todo el mundo con excelentes resultados por su sencillez y efectividad, por lo que es la primera herramienta para implementar en toda aquella empresa que aborde el Lean Manufacturing. Las 5s producen resultados tangibles y cuantificables para todos, con gran componente visual y de alto impacto en un corto plazo de tiempo. Es una forma indirecta en la que el personal percibe la importancia de las cosas pequeñas, de que la mejora de su entorno depende de él, que la calidad empieza por cosas muy inmediatas, de manera que se logra una actitud positiva ante el puesto de trabajo [1].
Cabe mencionar que, en las organizaciones japonesas, existen características fundamentales para el éxito de la gestión empresarial, mismas que deben de resaltar en sus directivos, gerentes y trabajadores: la constancia, dedicación, organización y disciplina para el logro de sus metas.

La aplicación de la técnica japonesa, como la llaman algunos, constituye una excelente oportunidad de *Benchmarking* de buenas prácticas en gestión, para la mejora de la calidad y la productividad en las industrias latinoamericanas [2].

Sin embargo, es importante que exista un esfuerzo coordinado en toda la compañía, de lo contrario no es posible implementar las 5S. Por lo que debe de existir armonía laboral, para poder tener resultados positivos dentro de la organización empresarial, tienen que ser practicadas estas técnicas tanto en la oficina como en la planta. La administración debe apoyar la campaña al 100%. La implantación de las 5S sigue normalmente un proceso de cinco pasos cuyo desarrollo implica la asignación de recursos, la adaptación a la cultura de la empresa y la consideración de aspectos humanos. La Figura 1 resume los principios básicos y su implantación en cinco pasos o fases [3]:

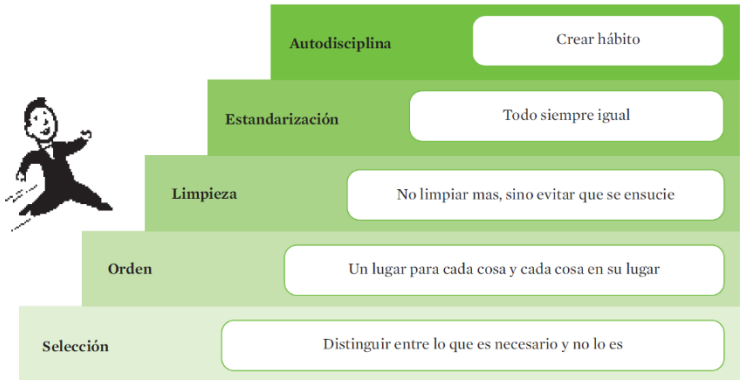


Figura 1. Principios básicos.

El objeto de este proyecto es la Implementación de la metodología 5s dentro del área de producción en la Galletera para mantener áreas de trabajo funcionales, seguras y limpias, maximizar la eficiencia del proceso, mejorar la calidad del producto y de la organización, generar cultura organizacional y trabajo en equipo, crear condiciones de seguridad, motivación y productividad.
El proyecto se llevó a cabo en una empresa galletera, donde se tiene el compromiso de elaborar y vender alimentos seguros y de calidad, para satisfacer las necesidades y requerimientos de los clientes; la galletera está comprometida a establecer una cultura de calidad e inocuidad en la que participen todos los miembros de la organización, facilitando los recursos y prácticas necesarias, así como los medios de comunicación y motivación para el cumplimiento de los objetivos, a través de la mejora continua.
Además, se llevaron a cabo auditorías internas de BPM´s para asegurar la calidad e inocuidad de los productos que se tienen, para ello se inició con la capacitación a supervisores.

Metodología

La metodología 5S no necesita inversión económica, por lo contrario, genera rentabilidad y reduce costos ya que lo recomendable es desarrollar las 5S con los propios recursos de la empresa, las 5s se adaptan a cualquier tipo de organización empresarial tanto industrial o empresas que presten servicio [4].

Desarrollo

Seiri – Selección

El objetivo principal de la 1´s es contar con un área de trabajo donde únicamente se encuentren los artículos y herramentales necesarios. Se utiliza como herramienta principal la tarjeta roja, mostrada en la Figura 2. Para identificar elementos innecesarios se siguen los siguientes pasos:

1. Se identifican todos los artículos innecesarios.
2. Se elimina todo aquello que definitivamente no se utiliza.
3. Se asigna un lugar de almacenamiento diferente para las cosas de uso poco frecuente.

Uno de los puntos clave en la clasificación, es definir aquello que se debe eliminar. Para poder eliminar las cosas que no se necesitan, se procede a las siguientes etapas:

1. Preparación.
2. Definir criterios de selección.

3. Enseñar a los trabajadores a que reconozcan lo que es innecesario.
4. Clasificar las cosas necesarias.
5. Identificar y desechar las cosas innecesarias con tarjetas rojas y eliminar de acuerdo a la política de la empresa galletera [5].

TARJETA ROJA		
NOMBRE DEL ARTÍCULO		
CATEGORÍA	1. Maquinaria	6. Producto terminado
	2. Accesorios y herramientas	7. Equipo de oficina
	3. Equipo de medición	8. Limpieza
	4. Materia prima	
	5. Inventario en proceso	
FECHA	Localización	Cantidad Valor
RAZÓN	1. No se necesita	5. Contaminante
	2. Defectuoso	6. Otros
	3. Material de desperdicio	
	4. Uso desconocido	
ELABORADA POR:		Departamento
FORMA DE DESECHO	1. Tirar	5. Otros
	2. Vender	
	3. Mover a otro almacén	
	4. Devolución proveedor	
FECHA DESECHO		

Figura 2. Tarjeta Roja.

Seitón – Orden u organización

Esta técnica, se aplicó para mantener las cosas necesarias en forma ordenada, identificadas y de fácil acceso, es decir, eliminar la búsqueda de las cosas. Esto es orden y quiere decir *"un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar"* con eficiencia, calidad y seguridad. Se llevó a cabo la impresión y enmicado de ayudas visuales para identificar cada cosa en su lugar logrando así tener orden en la línea de producción (ver Figura 3).

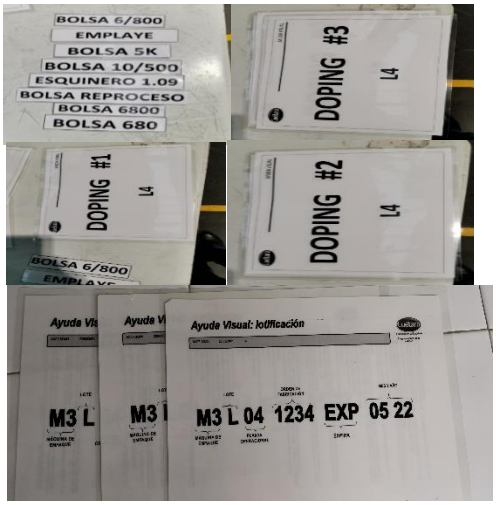
Impresión	Enmicado y recorte
	

Figura 3. Ayudas visuales.

Con apoyo de las ayudas visuales se identificaron las máquinas. En las láminas que se muestran en la Figura 4. se van organizando los elementos, clasificando como necesarios todo ello para tener una mejor visualización de los materiales que se ocupan con la finalidad de encontrar con mayor facilidad los materiales y equipos [6].



ISSN: 2007 8102

En la Figura 5 se muestra la colocación de ayudas visuales para identificar las tolvas.



Figura 5. Ayudas visuales en tolvas.

Delimitación de áreas para tener orden, en la Figura 6 se muestra su aplicación.



Figura 6. Delimitación de áreas.

En la Figura 7 se muestran los logros obtenidos, lo cual refleja mejora en el área de trabajo, donde se puede apreciar que ya existe orden.



Figura 7. Orden.

Seiso - Limpieza.

La limpieza se llevó a cabo cada hora en el turno para evitar que se tenga desorden durante el día de trabajo para esta importante actividad, existe un personal encargado de realizarlo durante la semana y se realiza rotación de personal por semana Tabla 1.

Tabla 1. Limpieza.

Actividad	Hora	Persona encargada
Limpieza general	1	Fidelia
Levantar galleta y paquetes tirados	2	Fidelia
Levantar galleta y paquetes tirados	3	Fidelia
Levantar galleta y paquetes tirados	4	Fidelia
Levantar galleta y paquetes tirados	5	Fidelia
Levantar galleta y paquetes tirados	6	Fidelia
Levantar galleta y paquetes tirados	7	Fidelia
Limpieza general	8	Fidelia

Seiketzu - Estandarización

Esta 4´s consiste en lograr mantener constantemente el orden, limpieza e higiene del sitio de trabajo. Se logra limpiando con la regularidad establecida, manteniendo todo en su sitio y en orden, estableciendo procedimientos y planes para mantener el orden y la limpieza [8]. Se llevó a cabo un check list como el mostrado en la figura 8 el cual es usado por un encargado de la línea para verificar que se está cumpliendo con la limpieza y orden.

Fecha:	Encargado:	
Orden	**Marcar SI/NO según corresponda**	
Limpieza	SI	
Utencilios de limpieza en su lugar		NO
Sacos de harina cancelados	SI	
EPP	SI	
Uniforme completo	SI	
Esquineros en su lugar	SI	
Bonina en su lugar	SI	
Emplaye en su área	SI	
Estante ordenado	SI	
Cajas ordenadas	SI	
Tarimas en el lugar correspondiente	SI	

Figura 8. Check list.

 ISSN: 2007 8102

Shitzuke – Disciplina

La disciplina consiste en hacer que cada una de las cinco “S”, habituales trabajen permanentemente de acuerdo con las normas, acuerdos y compromisos que se establecieron para implementar la metodología [7].

Se crea un sistema de auditoría permanente de planta visual y 5’s. Se elaboró el formato de la Figura 9, se realiza para convertir las 5s's en hábitos, de esta forma existe mayor comunicación correcta y entrenamiento que aseguran la calidad en la empresa galletera. Ahora todos trabajan juntos haciendo equipo y una compañía más fuerte.

				Fecha:		Fecha:
SEMANA:_____		TURNO : _____		LINEA 4		
REALIZADO POR:_____			% APROBADO	C	NC	C
FECHA:	PERSONAL	MANOS LIMPIAS	5			
		UNIFORME COMPLETO	5			
		EPP (LENTES, COFIA, CUBRE-BOCA Y ZAPATOS INDUSTRIALES)	5			
		UÑAS CORTAS, SIN ESMALTE Y BARBA	5			
	LINEA	UTENSILIOS DE LIMPIEZA EN SU LUGAR	5			
		SACOS DE HARINA PARA MERMA CANCELADO	5			
		ORDEN EN EL AREA	10			
		LIMPIEZA EN EL AREA	10			
		BOBINA Y EMPLAYE EN SU LUGAR	10			
		FARDOS Y CINTAS EN SU LUGAR	10			
		ESTANTE ORDENADO	10			
		ESQUINEROS EN SU LUGAR	10			
		TARIMAS EN SU LUGAR CORRESPONDIENTE	10			
			100			
		FIRMA SUPERVISOR				
		REVISÓ				

Figura 8. Descripción de auditoría.

Resultados

En la Figura 10 se muestra el resultado de las auditorias del cumplimiento de las 5´s junto con el seguimiento a las BPM´s obteniendo excelentes resultados en la línea 4; en la cual se implementó la metodología.

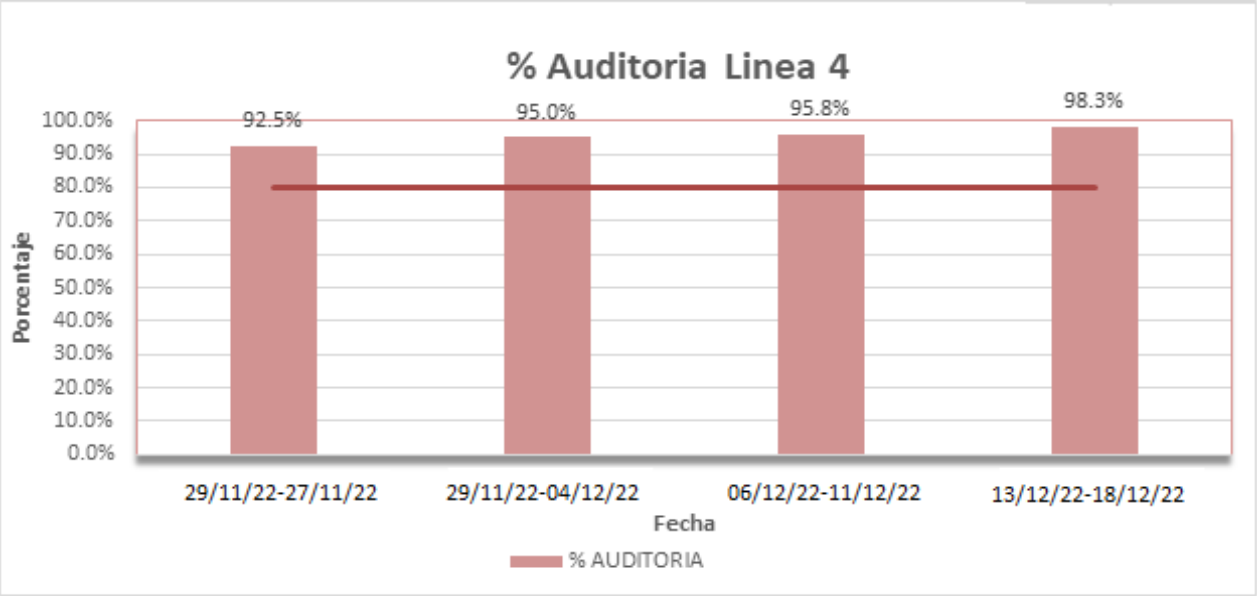


Figura 10. Auditoría en línea 4.

Últimos resultados

Al llevar a cabo auditorias de BPM´s los resultados obtenidos al final fueron los siguientes: en línea 1 se obtiene 85.8%, la línea 2 culmina con 86.7%, en línea 3 se tiene un 85.8%, en línea 4 el resultado es de 87.5% y la línea 5 termina en 83.3%, En la línea 4 se obtiene el mejor resultado tanto documental como visual debido a que se dio mayor enfoque en la implantación de 5´s.

Se llevaron a cabo auditorías después de implantar la metodología 5´s en la línea 4, para verificar el cumplimiento de lo establecido, se llevaron a cabo durante 4 semanas iniciando con un porcentaje del 92.5%, en la siguiente se obtuvo un 95.0%, en la semana 3 un 95.8% y se culminó con un 98.3% teniendo así buenos resultados en el cumplimiento de lo establecido.

Se recomienda seguir llevando a cabo las auditorias para no dejar en el olvido la implementación de tan importante metodología y seguir dando a conocer las áreas de oportunidad que se tienen en la línea de producción.

La implantación de la metodología 5´s lamentablemente solo se llevó a cabo en la línea 4, por lo que se sugiere que se lleve a cabo con las líneas de producción 1,2,3 y 5, cabe mencionar que la empresa se encontraba en medio de la certificación de Safe Quality Food (SQF), motivo por el cual, fue imposible la implementación de las técnicas en todas las líneas

Agradecimientos

A la empresa galletera y al Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan.

Referencias

[1] W. S. Rabanal and M. A. Verástegui, "aplicación de la metodología Lean Manufacturing para incrementar la Productividad en el proceso de producción de Galletas tipo andina en una empresa galletera, 2019 - cajamarca," Tesis, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, 2020.

[2] E.A. Piñeiro, F.E.Vivas and L.K. Flores, " Programa 5S´s para el mejoramiento continuo de la calidad y la productividad en los puestos de trabajo," *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias,* vol. 6, no. 20, pp. 99-110, 2018.

[3] A.H. Sócola, A. Medina and L.M. Olaya, " Las 5S, herramienta innovadora para mejorar la productividad Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas," *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas,* vol. 3, no. 3, pp. 41-47, 2020.

[4] A.R. Donayre,, " Funcionalidad de la Metodología de las 5S y su aplicabilidad. Una revisión bibliográfica del 2015 - 2019," Tesis, Universidad Católica Sedes Sapientiae, Lima, Perú, 2021.

[5] F. Medrano, V. Hinojosa, B. Basilio and I. Becerril, " Implementación de la metodología 5S en un almacén de refacciones," REAXIÓN, *Revista de divulgación científica,* no. 1, 2019.

[6] I. Nava-Martínez, M.A. León-Acevedo, I. Toledo-Herrera and J.C. Kido-Miranda, " Metodología de la aplicación 5'S," *Revista de Investigaciones Sociales,* vol. 3, no. 8, pp. 29-41, 2017.

[7] J. Romero, " determinación del tiempo estandar para la actualización de las Ayudas visuales en una línea de Producción de una empresa Manufacturera," Tesis, Instituto Tecnologico de Sonora, Navojoa, Sonora, 2020.

[8] E.L. Vargas and J.W. Camero, " Aplicación del Lean Manufacturing (5s y Kaizen) para el incremento de la productividad en el área de producción de adhesivos acuosos de una empresa manufacturera," *Industrial Dat,* vol. 24, no. 2, http://dx.doi.org/10.15381/idata.v24i2.19485., 2021.

ISSN: 2007 8102

ÁREA INGENIERÍA MECÁNICA - MECATRÓNICA

IM01 **Diseño y manufactura de un sistema de incisión por plasma automático a través de control numérico computarizado** IM-2
Jonathán Josué Cid Galiot, Ricardo Federico Pérez Sánchez, Alan Hernández Muñoz, Jesús Medel Conde, Erick Pérez Hernández

IM02 **Ahorro energético a través de sistemas pasivos de ventilación bajo condiciones de clima seco** IM-11
Carlos Enrique Torres Aguilar. Edgar Vicente Macias Melo, Jesús Arce Landa, Karla María Aguilar Castro, Iván Olán Brito

IM03 **Comparativo de las ganancias de calor en ventanas con vidrio simple y doble** IM-22
Edgar Vicente Macias Melo, Karla María Aguilar Castro, Iván Alejandro Hernández Pérez, Carlos Enrique Torres Aguilar, Isa Yadira Pérez Olán

IM04 **Análisis exergético de un GTCC con captura de CO2 en condición de diseño y operativa** IM-32
Rodolfo Herrera Toledo, Rafael Sanchez Dirzo, Elisa Viñas Reyes, José Antonio Zamora Plata, Alejandro Rogel Ramírez

IM05 **Sistemas Domóticos Alimentados con Energía Fotovoltaica** IM-41
Guadalupe Garcia Toribio, Heriberto Hernández Rodríguez, José Luis Gutiérrez García

IM06 **Diseño de turbina de adhesión para fluido de trabajo reducido** IM-51
Jorge Bedolla-Hernández, Marcos Bedolla-Hernández, Vicente Flores-Lara, Efrén Sánchez-Flores, Carlos Alberto Mora, Rolando Islas-Zistecatl

IM07 **Monitoreo Automatizado de la Calidad del Agua en Granjas Acuícolas Utilizando un Dron** IM-61
Ramón Mendoza López, Jesús Alberto Verduzco Ramírez, Carlos Jaime Barrios Hernández, Noel García Díaz, Luis Eduardo Morán López

IM08 **Variación de la Fuerza de Arrastre en un Retrovisor al Implementar Relieves en U** IM-71
Israel Gonzalez-Neria, Alejandro Alonzo-García, Sergio A. Martínez-Delgadillo, J. Antonio Yañez-Varela, Jesús E. Lugo-Hinojosa

IM09 **Dispositivo electromecánico controlado por IoT para distribución equitativa de agua potable en casas habitación** IM-78
Miguel Aguilar Cortés, Marco Antonio Aguilar Cortés, Héctor Vicenteño Rivera

IM10 **Evaluación térmica de un sistema de enfriamiento en panel fotovoltaico** IM-88
Vicente Flores Lara, Jorge Bedolla Hernández, Marcos Bedolla Hernández, Efren Sánchez Flores, Oscar Pérez Pérez

IM11 **Sistema de monitoreo de tiempos de producción en una máquina CNC con IoT en la empresa VEMAQ, Hidalgo** IM-96
Norberto Ortega Hernández, Víctor Rodríguez Marroquín, Carmin Hernández Domínguez, Isabel Mendoza Saldivar

IM12 **Sistema Scada para un turbogenerador en la Compañía Industrial Azucarera S.A de C.V.** IM-105
Gerardo Paxtián Méndez, Henry Izquierdo Ramírez, Carlos Romeo Posadas Trejo

IM13 **Diseño y manufactura de un troquel de corte de electrodos para monitoreo cardíaco** IM-117
Pedro De Jesus Garcia Zugasti, Enrique Alejandro Vázquez Hernández, Marco Antonio Liñán Valenzuela, Juan Gabriel Sandoval Granja, Gerardo García Liñán

 ISSN: 2007 8102

Diseño y manufactura de un sistema de incisión por plasma automático a través de control numérico computarizado

Dr. Jonathán Josué Cid Galiot [1], M.G.I.M. Ricardo Federico Pérez Sánchez [2], Ing. Alan Hernández Muñoz [3], Tsu. Jesús Medel Conde [4], Tsu. Erick Pérez Hernández [5].*

Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Ingeniería en Metal Mecánica, Av. Universidad No.350, Carretera Federal Cuitláhuac-La Tinaja, Localidad Dos Caminos C.P. 94910 Cuitláhuac, Veracruz, México.

*jonny_cid_walker@hotmail.com**

***Área de participación**: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica*

Resumen

La incisión por plasma automático es un proceso poderoso para seccionar metales bidimensionales complejos en poco tiempo. La adquisición de máquinas de control numérico computarizado (CNC) de plasma en México para las instituciones públicas y pymes de la industria de procesamiento de seccionamiento de metales sigue siendo relativamente difícil debido sus altos precios. La investigación presenta un proceso de diseño y manufactura integral para fabricar un equipo de incisión plasma cnc con tecnología de transistor bipolar de puerta aislada (IGBT) de 3 ejes con procedimientos de manufactura aditiva a través de teorías de análisis estructural de los materiales, simulación, impresión 3D, programación y control. Cumpliendo con estándares internacionales de seguridad estructural empleando acero ISO 657-1, ISO 10799-2 con cálculos de esfuerzos máximos de 550 Mpa y 1368 Mpa. Generando nuevas alternativas de fabricación de equipos CNC a un bajo costo, con metodologías replicables en campos internacionales.

***Palabras clave**: Incisión por Plasma automático, Control Numérico Computarizado, Diseño, Manufactura.*

Abstract

Automatic plasma cutting is an efficient process for cutting complex two-dimensional metals in a short time. The acquisition of plasma computerized numerical control (CNC) machines in Mexico for public institutions and SMEs in the metal cutting processing industry remains relatively difficult due to their high prices. The research presents a comprehensive design and manufacturing process to manufacture a cnc plasma cutting equipment with 3-axis insulated gate bipolar transistor (IGBT) technology with additive manufacturing procedures through theories of structural analysis of materials, simulation, 3D printing, programming and control. Complying with international structural safety standards using ISO 657-1, ISO 10799-2 steel with maximum stress calculations of 550 Mpa and 1368 Mpa. Generating new alternatives for manufacturing CNC equipment at a low cost, with replicable methodologies in international fields.

***Key words**: Plasma Cutting, Computerized Numerical Control, Design, Manufacturing.*

Introducción

Derivado a la creciente necesidad de manufacturar piezas metálicas de alta precisión y rápidas, los procesos automatizados por incisión con plasma hoy en día, se han convertido en objeto de interés para su investigación en el mundo. El sector Manufacturero, considerado área estratégica para el desarrollo económico y el comercio interno y exterior en México para 2018, las exportaciones e importaciones sumaron 914,986.9 millones de dólares (MDD), el valor de las exportaciones totales alcanzó 450,684.5 MDD y el valor de las importaciones totales ascendió a 464,302.4 MMD [1]. Un proceso de seccionamiento de metal confiable en velocidad y con un buen grado de precisión es usar incisión por plasma, sin embargo, el problema del proceso comúnmente en el mercado hoy en día es que sigue siendo un equipo portátil manual con alta imprecisión de control manual, que cuando estos implementan tecnología basada en Control Numérico Computarizado (CNC) aumenta su precisión

considerablemente, así como su costo de compra por la infraestructura requerida para su adecuado funcionamiento.

Esto deriva uno de los puntos a destacar en base a la construcción de un CNC plasma confiable en tolerancias dimensionales y geométricas para un seccionamiento lo más exacto posible [2], la necesidad de precisión en este tipo de tecnología requiere de elementos electromecánicos como motores paso a paso para conocer la posición correcta y solventar el movimiento rotatorio en lineal [3]. Dentro de un proceso de incisión por plasma se requiere un alto voltaje para proporcionar fuerza suficiente a los electrones para atravesar metales con alto grado de resistencia en donde un proceso inicial, requiere de 50V a 60V y puede alcanzar los 400V [4]. El proceso de incisión por plasma se ejemplifica en la Figura 1(A). La tecnología CAM implementada en máquinas CNC tiene la capacidad de controlar la precisión y rugosidad de las superficies procesadas en función a las necesidades integradas en el programa teniendo la oportunidad de transferir la información desde un CAD para simular en CAM y ejecución en un CNC [5], Por otra parte, el proceso de diseño, manufactura y ensamble de un equipo estructuralmente terminado, debe considerar la distribución de cargas y tensión en el bastidor de la maquina desde su fase inicial [6], vital para la determinación de la resistencia del mismo, un esquema de distribución de fuerzas básico sobre una barra simple se puede observar en la Figura 1(B).

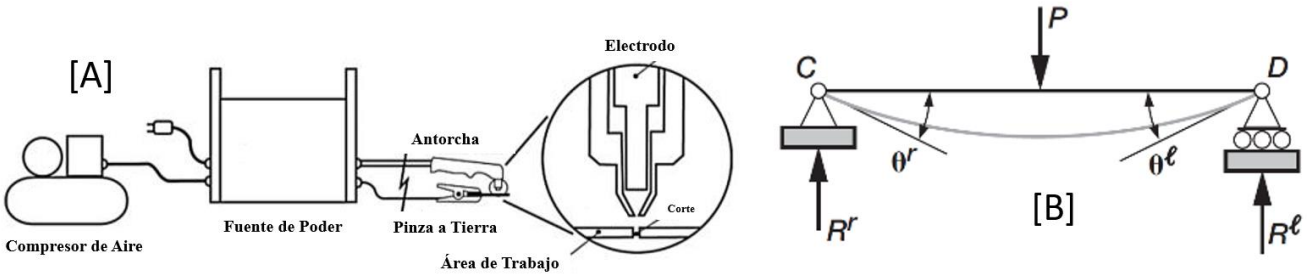


Figura 1. Proceso de incisión por plasma y diagrama de cuerpo libre en barra simple.

La tabla 1, Muestra que para determinar las fuerzas de reacción que ocurren en los apoyos, inicialmente se emplea la ecuación (1) a través de los principios de la estática estructural [7]. Que, a partir de la fuerza de reacción conocida, se puede determinar la magnitud del momento de flexión. Para calcular la magnitud del momento de flexión del esquema anterior, se utiliza la ecuación (2). El esfuerzo de flexión que se produce en el marco se puede determinar mediante la ecuación (3). El esfuerzo de flexión que se produce no debe ser mayor que el esfuerzo permisible en el material. Por tanto, al incluir la analogía se obtienen las ecuaciones (4) y (5).

Tabla 1. Ecuaciones para análisis estructural de fuerzas [6]**.**

Ecuaciones	
$\sum F_y = 0$	(1)
$\sum M_i = 0; MR - Rx + M(x) = 0$	(2)
$\sigma_b = \frac{M_{max}}{W}$	(3)
$\sigma_i = \frac{\sigma_y}{sf}$	(4)
$\sigma_i > \sigma_b$	(5)

El Método de análisis de elementos finitos en un software de diseño y simulación industrial, es necesario para realizar cálculos de estática, dinámica, transferencia de calor, flujo de fluidos y electromagnetismo viables. Este procedimiento fue utilizado para el análisis estructural del equipo desarrollado con la finalidad de reducir sesgos de error estructural [8]. La metodología se fundamenta en los pasos básicos para solucionar problemáticas mediante teorías de elemento finito, subdividiendo el problema en nodos y elementos, para asumir que una función representa el comportamiento físico de un elemento a través de un análisis estructurado de fuerzas [9].

ISSN: 2007 8102

Metodología

El diagrama de flujo de la investigación se representa en la Figura 2.

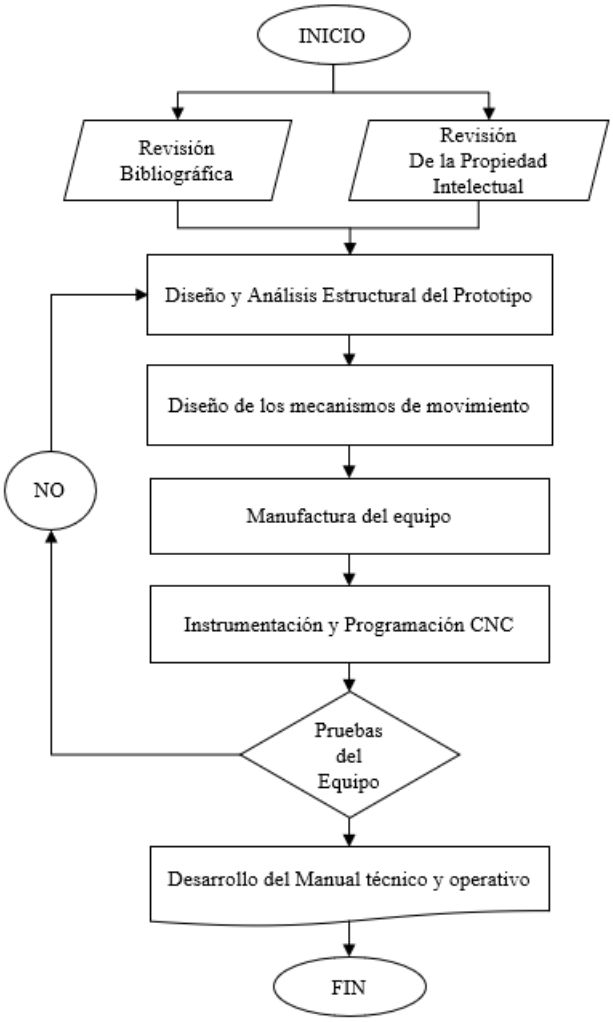


Figura 2. Metodología de diseño empleada.

Materiales, Progreso y Resultados

Diseño y Análisis Estructural del Prototipo

Se evaluaron diversas propuestas de diseño referente a la revisión bibliográfica y de propiedad intelectual con la finalidad de generar una propuesta integral que resguarde la calidad estructural a un bajo costo de producción y tiempos de ensamblaje bajos [10]–[14]. El bosquejo del marco del equipo se exhibe en la figura 3.

 ISSN: 2007 8102

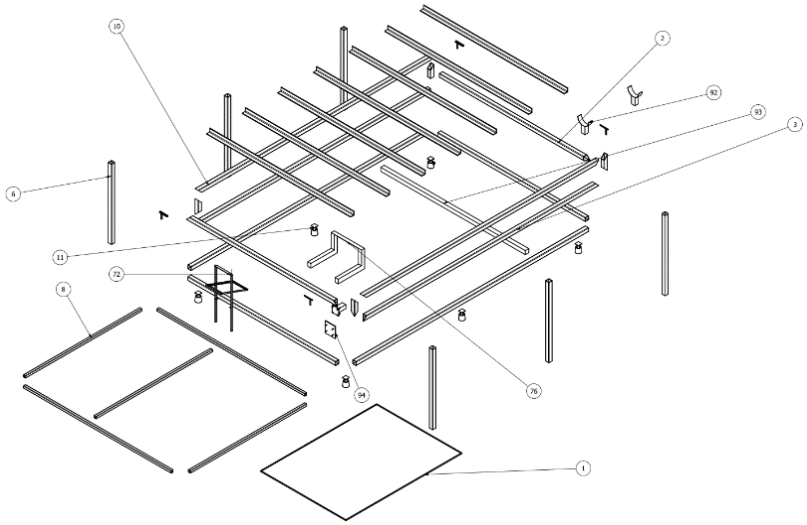


Figura 3. Ensamblaje del marco para el equipo de incisión plasma CNC.

La distribución de cargas y esfuerzos sobre el bastidor de la máquina, se refiere a todos los componentes que esta soporta (véase tabla 2). Para calcular la fuerza de reacción aplicada en los rodamientos, se puede emplear un esquema de cuerpo libre del modelo, véase figura 4[A].

Tabla 2. Distribución del peso total sobre el bastidor de la máquina.

No.	Descripción	Símbolo	Carga
1	Placa de acero ISO 10799-2	P1	2494.35 N
2	Perfil ISO 657-1	P2	1585.20 N
3	Refrigerante de clorofluorocarbono	P3	2449.41 N
4	Rejilla del bastidor DIN 59370	P4	759.18 N
	Peso Total		7288.14 N

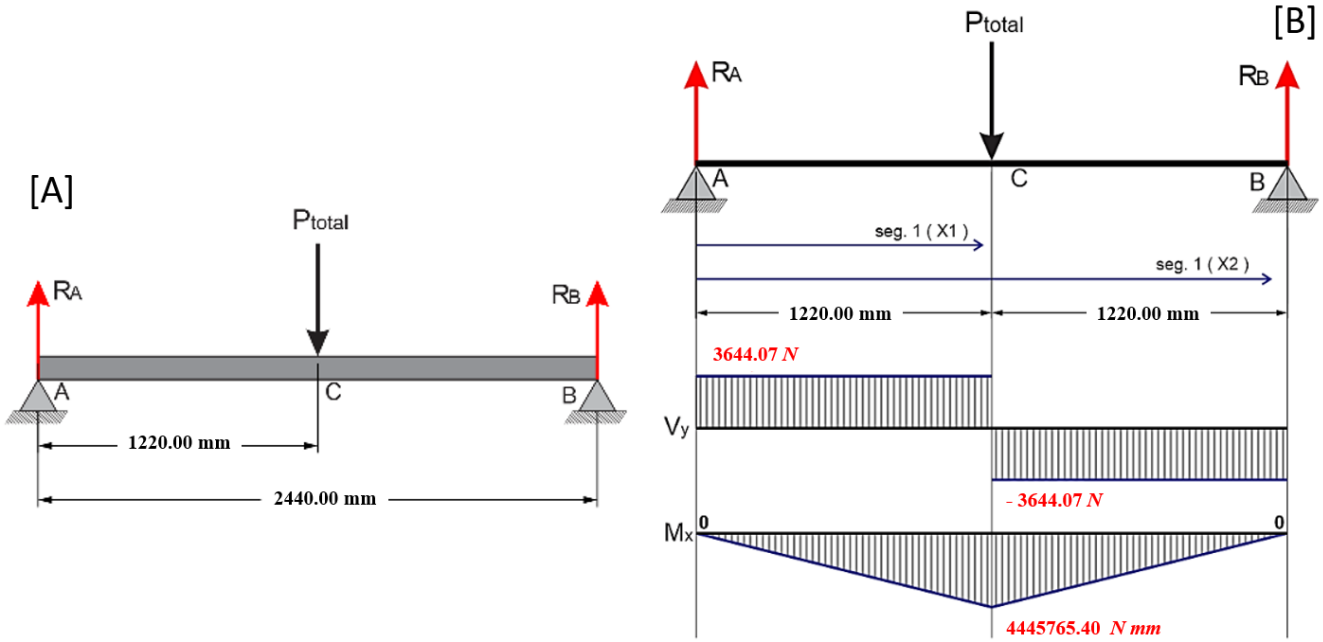


Figura 4. Esquema de cuerpo libre del marco del bastidor [A], Diagrama de fuerza momentos cortantes y flector [B].

 ISSN: 2007 8102

Los principios de la estática estructural determinan la magnitud de reacción en las fuerzas aplicadas a través de la ecuación (1).

$$\sum M_A = 0$$

$$0 = -P_{total} * AC + R_B * AB$$

$$R_B = \frac{P_{total} * AC}{AB} = \frac{7288.14\ N * 1220.00\ mm}{2440.00\ mm} = 3644.07\ N$$

La magnitud del momento de flexión del esquema de la figura 4[B], se determina con la ecuación (2):

$$M\ (X_2) = +R_A\ (X_2) - P_1\ (X_2 - 1220.00)$$
$$M_2(1220.00) = +3644.07\ N\ (1220.00) - 7288.14\ (1220.00\ -\ 1220.00) = 4445765.40\ N\ mm$$

Al diseñar el marco para esta máquina CNC de plasma, se eligió un perfil ISO 657-1 y placa de acero ISO 10799-2. Este material fue elegido por su resistencia y bajo costo actualmente en el mercado local. La tensión de tracción máxima (su) = 550 MPa, mientras que la tensión admisible (si) = 390 MPa La forma del perfil ISO 657-1 seleccionado es de 90 mm x 90 mm x 3 mm. La tensión que se produce en el marco se puede calcular mediante la ecuación (3).

$$\sigma_b = \frac{4445765.40\ N\ mm}{24300.00\ mm^3} = 182.95\ Mpa$$

Se debe realizar una inspección para establecer el nivel de seguridad de la estructura usando las ecuaciones (4) y (5):

$$\sigma_i = \frac{390\ Mpa}{2} = 195.0\ Mpa$$

$$\sigma_i > \sigma_{total}$$

$$195.0\ Mpa > 182.95\ Mpa$$

Los resultados de la inspección muestran que la tensión total que se produce en la construcción es menor que la tensión admisible del material. por lo tanto, el diseño de la construcción del marco cumple con los estándares de seguridad. Un Análisis de elementos finitos mediante software especializado permitió identificar la dinámica de fuerzas aplicadas a nuestra estructura utilizando un peso total de *7288.14 N.* La figura 5 [A] presenta los resultados de deformación estática con un desplazamiento máximo de 50.52 mm y un análisis de tensión de Von Mises con una máxima de 1368 Mpa [B], con un coeficiente de seguridad 2.011, se puede establecer que el diseño del bastidor cumple con los requisitos estandarizados internacionalmente para su proceso de manufactura.

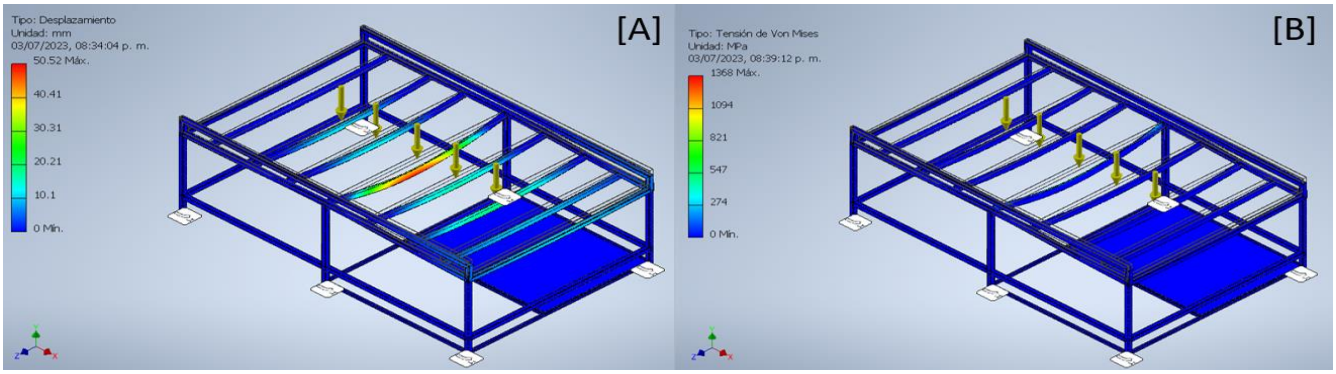


Figura 5. Esquema de cuerpo libre del marco del bastidor [A], Diagrama de fuerza momentos cortantes y flector [B].

 ISSN: 2007 8102

Diseño de los mecanismos de movimiento

Se desarrollo todo el proceso de diseño y simulación de los mecanismos de arrastre y tracción propuestos en búsqueda de minimizar gastos de manufactura a través de un entorno virtual [A] y posteriormente sometidos a pruebas físicas de funcionamiento mediante tecnología de impresión 3D para identificar su vialidad operativa [B], véase figura 6.

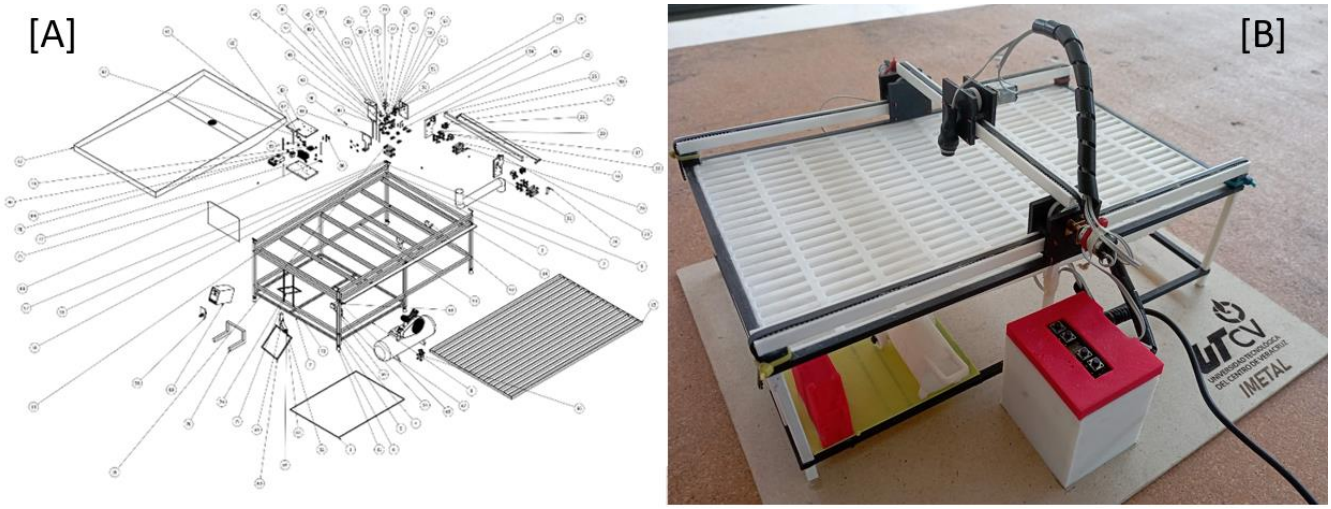


Figura 6. División de elementos de la maquina [A] y prototipo de la maquina CNC a escala en impresión 3D [B].

Manufactura del equipo, Instrumentación y Programación CNC

El proceso de manufactura se presenta en la figura 7, iniciando con el desarrollo del bastidor, la cama de refrigeración y los ejes de movilidad X, Y, Z [A], para los mecanismos de tracción y arrastre se emplearon rodamientos de bolas sellados, motores a pasos nema 32 y 48, sensores de delimitación, fuentes de alimentación a 12 volts y drivers conmutados [B], se implementó un sistema de incisión por plasma con antorcha recta de 55 amperes con tecnología IGBT el cual es controlado a través de una tarjeta CNC shield y una interfaz Mach3 [C].

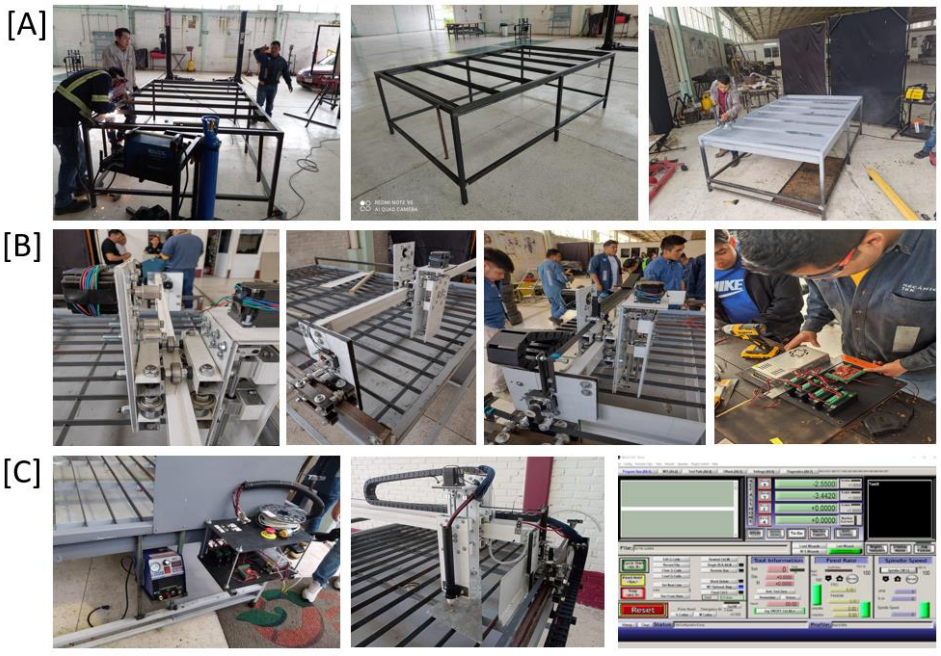


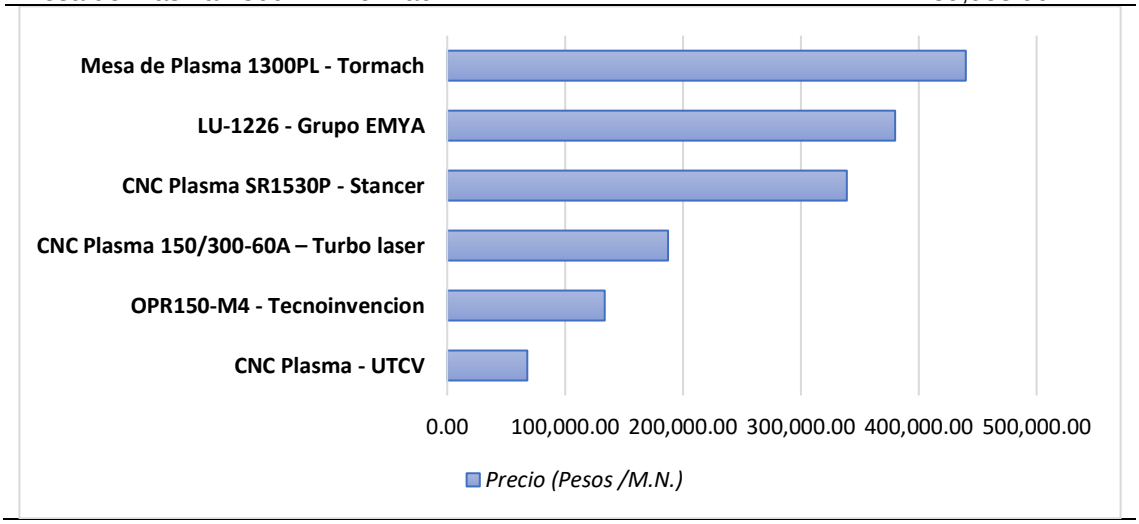
Figura 7. Proceso de manufactura del bastidor [A], mecanismos de tracción y arrastre e instrumentación [B], implementación del sistema de incisión por plasma y control CNC [C].

 ISSN: 2007 8102

La relación costo – beneficio del proceso de diseño y manufactura de un equipo cnc en instituciones públicas de México, maximiza el aprendizaje en los alumnos al desarrollar mejores prácticas de manufactura, incentivando la generación de propiedad intelectual para el desarrollo tecnológico del país. La tabla 3 presenta de manera general el costo de producción de un equipo considerando materiales y mano de obra en un tiempo de producción de 12 meses empleando solamente 216 horas de trabajo, ante los precios vigentes al 2023 de una muestra representativa de equipos de incisión plasma CNC con misma capacidad estructural, área efectiva de trabajo y con tecnología IGBT, sin considerar gastos de traslados e instalación.

Tabla 3. Precios de venta de equipos por incisión plasma CNC en México.

Equipos de Incisión Plasma CNC	Precio (Pesos /M.N.)
CNC Plasma - UTCV	67,920.00
OPR150-M4 - Tecnoinvencion	133, 600.00
CNC Plasma 150/300-60A – Turbo laser	187,336.00
CNC Plasma SR1530P - Stancer	339,000.00
LU-1226 - Grupo EMYA	380,000.00
Mesa de Plasma 1300PL - Tormach	439,958.90



Trabajo a futuro

La academia de ingeniería en metal mecánica trabaja en el diseño y manufactura de un brazo robotizado CNC con funciones de soldadura en procesos de automatización industrial.

Conclusiones

El diseño del bastidor del equipo ha alcanzado estándares internacionales de seguridad estructural, con un coeficiente de seguridad aceptable con materiales de uso comercial validados con cálculos de esfuerzos máximos de 550 Mpa y 1368 Mpa simulados a través un análisis tensión de Von Mises. La manufactura y diseño de sistemas mecánicos de arrastre y tracción a través de rodamientos genera una alternativa viable a un bajo costo contra los sistemas de cremallera, piñón, usillos y servomotores usualmente implementados en equipos CNC. El sistema de instrumentación y control opera a través de interfaces virtuales lo cual reduce gastos físicos en tableros de control operativo HDMI. La capacidad de incisión del equipo plasma permite generar seccionamientos en placas de hasta 10 mm de espesor, el cual tiene un precio competitivo en el mercado e insumos de bajo costo. El costo de manufactura del equipo CNC, considerando mano de obra se sitúa un 647% abajo del costo más alto de un equipo promedio con las mismas características sin agregar gastos de importación y un 51% por debajo del equipo de menor costo, generando una opción atractiva de inversión para instituciones públicas y pymes.

 ISSN: 2007 8102

Agradecimientos

Se agradece la participación en el desarrollo de la investigación a los Técnicos Superiores Universitarios del programa educativo de Ingeniería Metal Mecánica del Campus Maltrata de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz:

- Apale Rosas Ariel
- Corona Basilio Christian
- Crisóstomo Vera Jonathan
- De la Cruz Abelino Arturo
- Hernández Carvajal Pedro
- Hernández Pérez Erick
- Huerta Ceronio Saul
- Juárez Méndez Uriel
- Machorro Reyes Edilberto
- Medel Conde Jesús
- Morales Álvarez Esteban Antonio
- Morales Hernández Noe
- Osorio Martínez José Emmanuel
- Parra Altamirano Andrés
- Pérez Espíritu Neri
- Rivera Montalvo Leopoldo Israel
- Rodríguez Diaz Antonio
- Román Ponce Tomas Ángel
- Trinidad Sánchez Daniel
- Trujillo Medel Erick Gerardo

Referencias

[1] C. BERRA BARONA and M. RAMÍREZ RAMÍREZ, “Análisis del sector manufactura en México,” *Criterio Libr.*, vol. 17, no. 31, pp. 167–182, 2019, doi: 10.18041/1900-0642/criteriolibre.2019v18n31.6135.

[2] J. E. Jaramillo, E. G. Ortega, L. A. Zabala, and M. martín Zavala, “Construcción De Prototipo De Una Máquina Cnc Aplicando Tolerancias Dimensionales Y Geométricas.,” *Tech Carlos Cisneros*, vol. 1, no. 1, p. 69, 2020.

[3] Z. M. A. G. Peña Jordan Francisco, “Diseño y contrucción de un equipo para corte de planchas con plasma operado por computador,” Escuela Politécnica Nacional, 2015.

[4] J. L. Portal, E. López, and A. Valdés, “Fundamenros Eléctricos del Corte por Plasma,” *Rev. Colomb. Tecnol. Av.*, vol. 2, no. 4, pp. 60–64, 2004, doi: 1692-7257.

[5] O. I. Leshenko, “Efficiency increase of the manufacture technological preparation on the basis of CAD/CAM/CNC systems,” *Report. Priazovskyi State Tech. Univ. Sect. Tech. Sci.*, vol. 0, no. 36, pp. 148–156, 2018, doi: 10.31498/2225-6733.36.2018.142541.

[6] L. Ortiz Berrocal, *Resistencia de Materiales*, 1st ed. México City, 2021. [Online]. Available: https://elibro.net/es/ereader/uta/39532

[7] A. M. Mayori, *Resistencia de Materiales Aplicada*. La paz, Bolivia., 2016. [Online]. Available: https://www.cartagena99.com/recursos/otros/apuntes/Resistencia_de_Materiales_Aplicada.pdf

[8] L. L. Otero Pereiro, “Aprendiendo sobre el Método de los Elementos Finitos,” *Ingeniería Mecánica*, vol. 9,

 ISSN: 2007 8102

no. 3. Echeverria, Cuba., pp. 7–13, 2006. [Online]. Available: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225117945001

[9] M. Parada Ricart, “Modelización Naval Mediante Cad, Nurbs Y Elementos Finitos. Aplicación Mediante Ansys,” Universidad Politecncia de Cartagena, 2012.

[10] A. Z. Rahman, “Desain dan Manufaktur Mesin CNC Plasma 3 Sumbu PT. Bangun Mesin Sejahtera,” *Jurnal Teknik Mesin ITI*, vol. 3, no. 1. Indonesia, pp. 1–6, 2019. doi: 10.31543/jtm.v3i1.205.

[11] G. Castillo-Quiroz, J. J. Vargas-Cruz, I. Reyes-Leon, and E. Gonzaga-Licona, “Mesa de corte por plasma automatizada mediante LabVIEW,” *Rev. Apl. la Ing.*, vol. 6, no. 19, pp. 1–10, 2019, doi: 10.35429/jea.2019.19.6.1.10.

[12] M.Bhavani, V.Jerome, P. L. Raja, B.Vignesh, and D.Vignesh, “Design and Implementation of CNC Router,” *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 6, no. 3. IJIRSET, Doja, pp. 5037–5043, 2017. doi: 10.15680/IJIRSET.2017.0603304.

[13] J. Ocampo-Nieto, D. Alvarado-Russi, and H. Leon-Rodriguez, “Developed of a Cartesian CNC System for Plasma Metal Sheet Cutting,” in *2019 Congreso Internacional de Innovacion y Tendencias en Ingenieria, CONIITI 2019 - Conference Proceedings*, Bogota, Colombia: IEEE, 2019, pp. 1–8. doi: 10.1109/CONIITI48476.2019.8960848.

[14] C. D. Barry, “CNC Enabled Wood/Metal Composite Construction of (Relatively) High Performance Sailing Yachts,” in *SNAME 24th Chesapeake Sailing Yacht Symposium, CSYS 2022*, Maryland, USA,: OnePetro, 2022, p. SNAME-CSYS-2022-004. doi: 10.5957/CSYS-2022-004.

 ISSN: 2007 8102

Ahorro energético a través de sistemas pasivos de ventilación bajo condiciones de clima seco

C.E. Torres-Aguilar[1], E.V. Macias-Melo[1], J. Arce[2], K.M. Aguilar-Castro[1], I. Olán-Brito[1]

[1]Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Cunduacán, Tabasco, CP 86690, México
[2]Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, CENIDET-TecNM-SEP, Cuernavaca, Morelos, CP, 62490, México
edgar.macias@ujat.mx

***Área de participación**: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica*

Resumen

Este estudio comprende la evaluación de una chimenea solar de dos canales bajos las condiciones climáticas de Hermosillo, Sonora, para determinar el ahorro energético equivalente al proveer ventilación natural. El modelo matemático se desarrolló a través de la teoría de balances de energía y se establecieron las condiciones del dispositivo eléctrico para determinar el consumo energético equivalente que se requieren para inducir la misma ventilación que la chimenea solar. Los resultados mostraron que la configuración de chimenea solar fue capaz de inducir flujos volumétricos máximos de hasta 310 m^3hr^{-1} en verano, lo cual revela un mejor desempeño que el de una chimenea solar de un solo canal de acuerdo con lo reportado en la literatura. La ventilación inducida por el sistema pasivo fue equivalente a 267.83 kWh consumidos en un año por un sistema de ventilación convencional. La chimenea solar de dos canales permite reducir el consumo energético en edificaciones.

***Palabras clave**: ahorro energético, chimenea solar de dos canales, ventilación, balances de energía*

Abstract

This study evaluates a double-channel solar chimney under weather conditions in Hermosillo, Sonora, to determine the energy saving for providing natural ventilation. The mathematical model was developed using balance energy theory, and the electric device conditions were set to determine energy consumption equivalent to the solar chimney performance for inducing natural ventilation. Results showed that the solar chimney configuration induced maximum volumetric flow up to 310 m^3hr^{-1} during the summer, which revealed that the double-channel solar chimney performance is better than the single-channel solar chimney performance reported in the literature. The induced ventilation by the passive system was equivalent to 267.83 kWh consumed in a year by a conventional ventilation system. The double-channel solar chimney can reduce energy consumption in buildings.

***Key words**: energy saving, double-channel solar chimney, ventilation, energy balances*

Introducción

La ventilación es un aspecto importante para considerar al realizar el diseño y construcción de cualquier edificación. Sin embargo, en el sector residencial, la falta de espacios adecuados y planeación provoca que las nuevas edificaciones no cuenten con el diseño óptimo para generar la suficiente ventilación natural. Por lo tanto, los residentes u ocupantes recurren al uso de sistemas activos para obtener la ventilación necesaria, aunque esto significa un incremento en el consumo eléctrico. De acuerdo con **la Secretaría de Energía [1]**, en México el 25.9% del consumo eléctrico total corresponde al sector residencial lo cual es una consecuencia directa del uso de los dispositivos de refrigeración y aire acondicionado, ya que de acuerdo con estadísticas del **INEGI [2]** el 45% de las viviendas cuentan con sistemas mecánicos de ventilación y poco más del 20% cuenta con aire acondicionado. El escenario energético actual de la República Mexicana requiere de alternativas para satisfacer la demanda de ventilación a través de métodos no convencionales como el uso de energías renovables. Entre

 ISSN: 2007 8102

las diferentes alternativas se encuentra el uso de sistemas pasivos como las chimeneas solares, dispositivos que se acoplan al techo o fachada de las habitaciones y que funcionan a través del aprovechamiento de la energía solar para inducir la renovación del aire en el recinto de la vivienda **[3]**.

Las chimeneas solares se componen principalmente de una placa absorbedora y otra placa traslucida las cuales generan un canal por donde se extrae el aire del recinto o habitación. Sin embargo, no existe un diseño único que permita inducir la mayor cantidad de ventilación posible ya que el comportamiento de las chimeneas solares está en función de las condiciones ambientales externas e internas de la vivienda, así como de parámetros como forma del canal, dimensiones e incluso materiales empleados. Estudios como el de **Mohammed et al. [4]** muestran la necesidad de evaluar las diferentes configuraciones de entrada de aire para edificios de múltiples niveles o estudios como el de **Jiménez-Xamán et al. [5]** quienes evaluaron el comportamiento de la chimenea solar con una habitación para evaluar los patrones de flujo y la cantidad de renovación de aire generada bajo las condiciones de clima cálido. Los estudios anteriores consisten en la evaluación de chimeneas solares de un solo canal, sin embargo, **Arce et al. [6]** presentaron la propuesta de una chimenea solar de dos canales para mejorar el aprovechamiento de energía y aumentar la cantidad de flujo de aire inducido por el sistema pasivo. Otro aspecto importante que debe considerarse en los estudios de chimeneas solares es considerar el mayor tiempo de simulación posible para analizar los posibles escenarios en periodos prolongados de operación ya que las funciones de la chimenea solar son afectadas por las variaciones de la radiación solar y temperatura ambiente principalmente.

Otros estudios reportados en la literatura como el de **Ashouri y Hakkaki-Far [7]** y **Ke et al. [8]** presentan los efectos de implementar chimeneas solares con paneles fotovoltaicos para inducir ventilación y generar energía a través de la captación del sistema pasivo, sin embargo, estos estudios se enfocan en la evaluación de la chimenea solar bajo condiciones de verano e invierno. Además, que las condiciones climáticas corresponden a climas templados en los que se busca que la chimenea solar actúe en invierno como un sistema de calefacción. Por lo tanto, para las aplicaciones de sistemas pasivos como chimeneas solares en México, es necesario conocer el desempeño de estos dispositivos bajos las condiciones climáticas de zonas de interés, así como determinar el ahorro energético equivalente al compararlo con dispositivos de ventilación convencional.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es realizar el análisis de ahorro energético de una chimenea solar de dos canales (ChSo-TC) a través de la evaluación anual de este sistema pasivo considerando las condiciones climáticas de un año de la ciudad de Hermosillo, Sonora.

Metodología

En esta sección se describen el modelo físico y matemático de la ChSo-TC, la metodología de solución, las consideraciones generales del estudio, y las condiciones climáticas de un año de la ciudad de Hermosillo, Sonora.

Modelo físico y matemático de ChSo-TC

Se tomó como referencia el modelo matemático reportado por **Ong [9]** y **Arce et al. [6]** para el desarrollo del modelo de la ChSo-TC, sin embargo, se realizaron algunas modificaciones para mejorar la estimación de las temperaturas de cada elemento y el flujo de aire inducido por la chimenea solar; entre las modificaciones a los modelos ya reportados se contempló proponer el modelo en estado transitorio ya que los modelos anteriores fueron establecidos solo para evaluar el estado permanente o estacionario además de considerar la conducción de calor en todos los elementos sólidos a diferencia del modelo de **Ong [9]**. El modelo considera los efectos radiativos y convectivos entre la placa semitransparente (vidrio) y el ambiente exterior, la convección entre la placa absorbente y la placa semitransparente, así mismo el intercambio radiativo entre la placa absorbente y la placa semitransparente. En la Figura 1 se muestra el modelo de la ChSo-TC.

 ISSN: 2007 8102

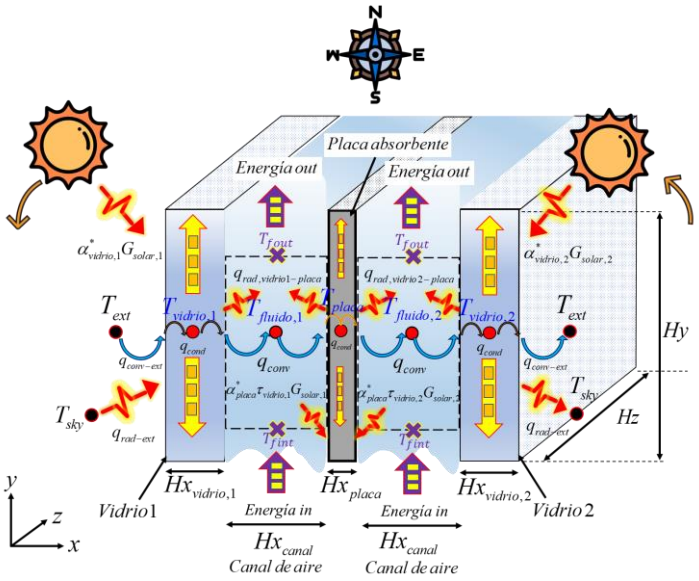


Figura 1. Modelo físico de ChSo-TC

A diferencia de las chimeneas solares de un solo canal, la ChSo-TC no requiere de elementos aislantes y solo se conforma principalmente de las placas de vidrio y el elemento o placa absorbente al centro como se muestra en la Figura 1. Las ChSo-TC fueron diseñadas en principio para ser colocadas en la parte superior de una edificación ya que necesita la mayor exposición posible a la radiación solar incidente, a diferencia de la chimenea solar de un canal que puede incorporarse a la fachada o incluso hacer una extensión de ella para ser ubicada en el techo también. A continuación, se describe el modelo matemático de la ChSo-TC usando balances energía para cada elemento que conforma la chimenea solar.

Cubierta de vidrio 1

El balance de energía para la cubierta semitransparente considera el efecto radiativo y convectivo individualmente en las componentes de flujo de calor entre la cubierta y el ambiente exterior. El modelo matemático contempla las variables meteorológicas en función del tiempo ya que se obtienen a partir de los datos almacenados en una estación meteorológica: la temperatura del cielo (T_{sky}), la temperatura exterior (T_{ext}) y la radiación solar incidente ($G_{solar,1}$). Cabe resaltar que la radiación solar incidente se estima a partir de la descomposición de la radiación solar sobre la horizontal y para la cubierta de vidrio 1 comprende la exposición después del mediodía ya que esta envolvente está orientada al oeste de acuerdo con la Figura 1, por lo que $G_{solar,1}$ considera solo radiación difusa durante la primera mitad del periodo de luz visible.

$$\underbrace{\left(\frac{1}{h_{conv-ext,1}}+\frac{Hx_{vidrio,1}}{2\lambda_{vidrio,1}}\right)^{-1}}_{a_1^{-1}}\left(T_{ext}-T_{vidrio,1}\right)A_{int}+\underbrace{\left(\frac{1}{h_{rad,1}}\right)^{-1}}_{a_2^{-1}}\left(T_{sky}-T_{vidrio,1}\right)A_{int}+\alpha^{*}_{vidrio,1}G_{solar,1}A_{int}-\underbrace{\left(\frac{Hx_{vidrio,1}}{2\lambda_{vidrio,1}}+\frac{1}{h_{vidrio,1-fluido,1}}\right)^{-1}}_{a_3^{-1}}\left(T_{vidrio,1}-T_{fluido,1}\right)A_{out}$$

$$-\underbrace{\left(\frac{1}{h_{rad,vidrio,1-placa}}\right)^{-1}}_{a_4^{-1}}\left(T_{vidrio,1}-T_{placa}\right)A_{out}=\frac{d}{dt}\left(\rho C_P T\right)_{vidrio,1}A\Delta x \qquad A=A_{int}=A_{out} \tag{1}$$

Fluido del canal 1

Aunque las dimensiones de ambos canales sean las mismas las propiedades, cambios de temperatura y flujo de aire inducido son distintos por lo que es necesario establecer ecuaciones individuales para canal fluido del canal. En el caso del fluido del canal 1, se consideró el efecto convectivo entre las superficies de la cubierta de vidrio y la placa absorbente con el fluido del canal, así como la remoción de energía debido al flujo de aire inducido por

 ISSN: 2007 8102

el efecto de las fuerzas de flotación como se representó en la Figura 1. El balance de energía para el fluido del canal considera que el flujo de másico es el mismo a la entrada y salida por continuidad, pero el fluido no es considerado como radiativamente participante.

$$\underbrace{\frac{T_{vidrio,1}-T_{fluido,1}}{\left(\frac{Hx_{vidrio,1}}{2\lambda_{vidrio,1}}+\frac{1}{h_{vidrio,1-fluido,1}}\right)}}_{b_1^{-1}}+\underbrace{\frac{\dot{m}_{int}C_{P,int}T_{f,int}}{HyHz}-\frac{\dot{m}_{out}C_{P,out}T_{f,out}}{HyHz}}_{M_{fluido,1}}-\underbrace{\frac{T_{fluido,1}-T_{placa}}{\left(\frac{1}{h_{fluido,1-placa}}+\frac{Hx_{placa}}{2\lambda_{placa}}\right)}}_{b_2^{-1}}=\frac{d}{dt}\left(\rho C_P T\right)_{placa}A\Delta x \tag{2}$$

Placa absorbente metálica

El balance de energía para la placa absorbente metálica considera el efecto conductivo, a pesar de ser una placa delgada, el efecto convectivo con el fluido en ambos canales de la ChSo-TC, el efecto radiativo con las cubiertas de vidrio de ambos canales a través del efecto de intercambio radiativo superficial ($h_{rad,vidrio\text{-}placa}$) y la absorción de radiación solar en sus respectivos horario debido a la radiación transmitida por la cubierta de vidrio en ambos canales. Por lo tanto, aunque en determinado horario el sol se encuentre orientado hacia el este u oeste, el modelo para descomponer la radiación solar permite obtener una componente de radiación difusa, la cual será absorbida en el lado contrario de la placa a donde llegan los rayos directos del Sol lo cual ocurre de forma natural en una chimenea solar real.

$$\underbrace{\frac{T_{vidrio,1}-T_{placa}}{\left(\frac{1}{h_{rad,vidrio,1-placa}}\right)}}_{c_1^{-1}}A_{int}+\underbrace{\frac{T_{fluido,1}-T_{placa}}{\left(\frac{1}{h_{fluido,1-placa}}+\frac{Hx_{placa}}{2\lambda_{placa}}\right)}}_{c_2^{-1}}A_{int}-\underbrace{\frac{T_{placa}-T_{vidrio,2}}{\left(\frac{1}{h_{rad,vidrio,2-placa}}\right)}}_{c_3^{-1}}A_{out}-\underbrace{\frac{T_{placa}-T_{fluido,2}}{\left(\frac{Hx_{placa}}{2\lambda_{placa}}+\frac{1}{h_{fluido,2-placa}}\right)}}_{c_4^{-1}}A_{out} \tag{3}$$

$$+\left(\tau^*_{vidrio,1}G_{solar,1}+\tau^*_{vidrio,2}G_{solar,2}\right)\alpha^*_{placa}A_{int}=\frac{d}{dt}\left(\rho C_P T\right)_{placa}A\Delta x$$

Fluido del canal 2

El balance de energía para el fluido del canal 2 es similar al mostrado en la Ec. (2) solo respetando la nomenclatura correspondiente a los elementos involucrados. En este estudio se considera que el área de entrada y salida es la misma y que las propiedades del fluido están en función de su temperatura.

$$\underbrace{\frac{T_{placa}-T_{fluido,2}}{\left(\frac{Hx_{placa}}{2\lambda_{placa}}+\frac{1}{h_{placa-fluido,2}}\right)}}_{d_1^{-1}}+\underbrace{\frac{\dot{m}_{int}C_{P,int}T_{f,int}}{HyHz}-\frac{\dot{m}_{out}C_{P,out}T_{f,out}}{HyHz}}_{M_{fluido,2}}-\underbrace{\frac{T_{fluido,2}-T_{vidrio,2}}{\left(\frac{1}{h_{fluido,2-vidrio,2}}+\frac{Hx_{vidrio,2}}{2\lambda_{vidrio,2}}\right)}}_{d_2^{-1}}=\frac{d}{dt}\left(\rho C_P T\right)_{fluido,2}\Delta x \tag{4}$$

Cubierta de vidrio 2

La última envolvente de la ChSo-TC corresponde a la cubierta semitransparente del segundo canal, la cual está expuesta a los mismos fenómenos de transferencia de calor que en el balance de energía mostrado en la Ec. (1). Sin embargo, los coeficientes convectivos ($h_{conv\text{-}ext,2}$) y radiativos ($h_{rad,2}$) difieren de los coeficientes de la cubierta de vidrio 1 ya que estos están en función de la temperatura de la envolvente la cual difiere de la envolvente uno debido a la radiación solar incidente.

$$\underbrace{\frac{T_{placa}-T_{vidrio,2}}{\left(\frac{1}{h_{rad,placa-vidrio,2}}\right)}}_{e_1^{-1}}A_{int}+\underbrace{\frac{T_{fluido,2}-T_{vidrio,2}}{\left(\frac{1}{h_{fluido,2-vidrio,2}}+\frac{Hx_{vidrio,2}}{2\lambda_{vidrio,2}}\right)}}_{e_2^{-1}}A_{int}-\underbrace{\frac{T_{vidrio,2}-T_{ext}}{\left(\frac{Hx_{vidrio,2}}{2\lambda_{vidrio,2}}+\frac{1}{h_{conv-ext,2}}\right)}}_{e_3^{-1}}A_{out}+\underbrace{\frac{T_{vidrio,2}-T_{sky}}{\left(\frac{1}{h_{rad,2}}\right)}}_{e_4^{-1}}A_{out} \tag{5}$$

$$+\alpha^*_{vidrio,2}G_{solar,2}A_{int}=\frac{d}{dt}\left(\rho C_P T\right)_{vidrio,2}A\Delta x \qquad A=A_{int}=A_{out}$$

 ISSN: 2007 8102

Para sustituir los términos temporales se empleó una aproximación atrasada de primer orden a través del método de diferencias finitas. Las Ecs. (1-5) se agruparon en una matriz para formar un sistema de ecuaciones que expone el modelo completo de la ChSo-TC.

$$\begin{bmatrix} \begin{pmatrix} a_1+a_2 \\ +a_3+a_4 \\ +a_{P0} \end{pmatrix} & a_3 & a_4 & 0 & 0 \\ b_1 & \begin{pmatrix} b_1+b_2 \\ +a_{P0} \end{pmatrix} & b_2 & 0 & 0 \\ c_1 & c_2 & \begin{pmatrix} c_1+c_2 \\ +c_3+c_4 \\ +a_{P0} \end{pmatrix} & c_3 & c_4 \\ 0 & 0 & d_1 & \begin{pmatrix} d_1+d_2 \\ +a_{P0} \end{pmatrix} & d_2 \\ 0 & 0 & e_1 & e_2 & \begin{pmatrix} e_1+e_2 \\ +e_3+e_4 \\ +a_{P0} \end{pmatrix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{vidrio,1} \\ T_{fluido,1} \\ T_{placa} \\ T_{fluido,2} \\ T_{vidrio,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{pmatrix} a_1T_{ext}+a_2T_{sky}+a_3T_{fluido,1}+a_4T_{placa} \\ +\alpha^*_{vidrio,1}G_{solar,1}+a_{P0}T^0_{vidrio,1} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} b_1T_{vidrio,1}+b_2T_{placa}+M_{fluido,1} \\ +a_{P0}T^0_{fluido,1} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} c_1T_{vidrio,1}+c_2T_{fluido,1}+c_3T_{fluido,2}+c_4T_{vidrio,2} \\ +\left(\tau^*_{vidrio,1}G_{solar,1}+\tau^*_{vidrio,2}G_{solar,2}\right)\alpha^*_{placa} \\ +a_{P0}T^0_{placa} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} d_1T_{placa}+d_2T_{vidrio,2}+M_{fluido,2} \\ +a_{P0}T^0_{fluido,2} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} e_1T_{placa}+e_2T_{fluido,2}+e_3T_{ext}+e_4T_{sky} \\ +\alpha^*_{vidrio,2}G_{solar,2}+a_{P0}T^0_{vidrio,2} \end{pmatrix} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Para estimar el flujo másico total inducido por la ChSo-TC se utilizó una modificación a la ecuación reportada por **Ong [9].**

$$\dot{m}_T = \dot{m}_{canal\,1} + \dot{m}_{canal\,2} = \frac{C_d A_{out}}{\sqrt{1+A_{int}/A_{out}}} \sqrt{\frac{2gHy}{T_{int}}} \left[\rho_{fluido1,out} \sqrt{\left(T_{fluido,1}-T_{int}\right)} + \rho_{fluido2,out} \sqrt{\left(T_{fluido,2}-T_{int}\right)} \right] \quad (7)$$

Para resolver el sistema de ecuaciones no lineal, Ec. (6), se empleó el método de Gauss-Seidel. Se desarrolló un código computacional en lenguaje de programación ANSI-C. Las corridas computacionales se ejecutaron en una plataforma computacional con procesador Intel Core i5-10300H con 2.5 GHz y 16 GB de RAM, en un sistema operativo GNU/Linux (Ubuntu 20.04 de 64 bits).

En la Tabla 1 se presentan las propiedades y expresiones para determinar los coeficientes convectivos empleados en el modelo de la ChSo-TC. En cuanto a la orientación de la ChSo-TC, se estableció que los canales fuesen orientados de este a oeste como se muestra en la Fig. 1.

Tabla 1. Propiedades del sistema. Tomado/Adaptado de [10]-[12].

Cubierta de vidrio	Placa de metal (aluminio) superficie color negro	Canal de aire	Información adicional
Hx = 0.006 m	Hx = 0.0015875 m	Hx = 0.15 m	Hy = 2.0m Hz = 1.0 m g = 9.81 ms^{-2}
λ = 1.40 $W(kg°C)^{-1}$ C_P = 750.0 $J(kg°C)^{-1}$ ρ = 2500.0 kg m^{-3} ε = 0.840 α* = 0.076 τ* = 0.849	λ = 177.0 $W(kg°C)^{-1}$ C_P = 875.0 $J(kg°C)^{-1}$ ρ = 2770.0 kg m^{-3} ε = 0.9 α* = 0.97	λ, C_P, ρ = Relaciones empíricas (**Arce et al [12]**)	h_{int} = 10.0 W m^{-2} $°C^{-1}$ h_{ext} = 2.8 + 3.0V_{wind} W m^{-2} $°C^{-1}$ Orientación cubierta de vidrio: este-oeste Δt = 5 segundos

Como se muestra en la Tabla 1, el paso de tiempo empleado para el modelo fue de Δt = 5 segundos. En cuanto a las condiciones iniciales, se asignó el mismo valor de la temperatura ambiente de los datos meteorológicos para la temperatura inicial de cada elemento de la ChSo-TC. Los valores de flujo másico calculados para el primer instante de tiempo se evaluaron considerando esta información.

 ISSN: 2007 8102

Estimación de ventilación mecánica equivalente

Para estimar el ahorro energético de la ChSo-TC equivalente, se procedió a realizar la estimación de la potencia eléctrica requerida por un ventilador mecánico considerando que este induce la misma cantidad de ventilación provista por la ChSo-TC. Se tomaron en cuenta las condiciones de operación para el dispositivo electromecánico de acuerdo con **Miyazaki et al. [13]**: se consideró una presión estática de 1000 Pa (P_s), eficiencia del dispositivo o ventilador de 70% o 0.7 (η_{fan}), y el flujo volumétrico ($\dot{V}$) provisto en m^3s^{-1} el cual es estimado a través del modelo de la ChSo-TC, Ec. (6). La potencia del ventilador equivalente (ϖ) se expresa como:

$$\varpi = \frac{P_S \dot{V}}{\eta_{fan} \times 1000} \tag{8}$$

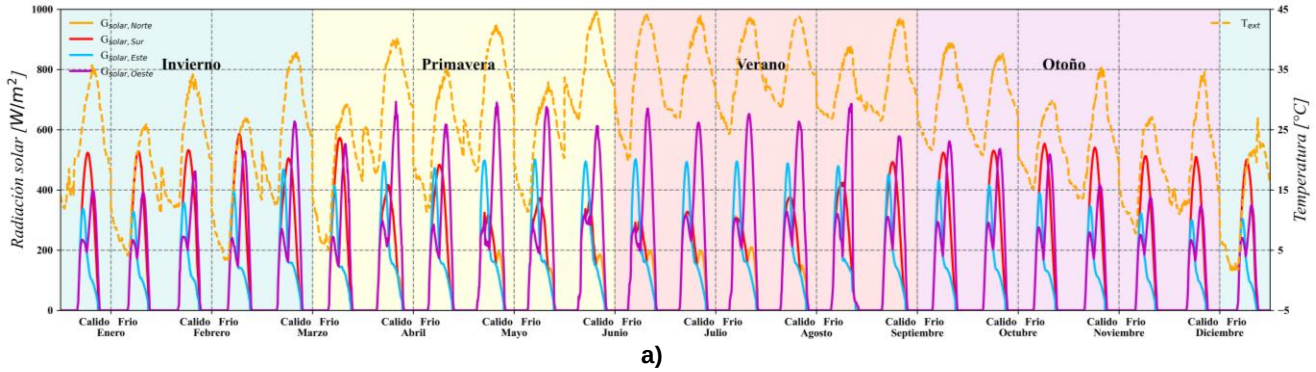
Para determinar el consumo eléctrico a lo largo del día a partir de la potencia del ventilador equivalente se realizó el cálculo de la potencia en cada instante de tiempo evaluado y se realizó una integración para obtener el consumo eléctrico en kWh equivalente de un día completo.

$$\Omega = \int_{t_0}^{t_1} \varpi(t)\,dt = \sum_{n=1}^{N} \frac{\Delta t \left|\varpi(b) - \varpi(a)\right|}{2} \qquad N = \frac{t_0 - t_1}{\Delta t} \tag{9}$$

Donde Ω es el consumo eléctrico equivalente en kWh en un día de evaluación de la chimenea solar. t_0 y t_1 son los tiempos de 0 y 86400 s correspondientes al tiempo de modelación de la ChSo-TC. En cuanto a la tarifa seleccionada para las condiciones de Hermosillo establecidas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) esta corresponde a la 1F, dato que es necesario para cuantificar el costo monetario equivalente al consumo energético de un ventilador mecánico para proveer la misma ventilación natural que la ChSo-TC.

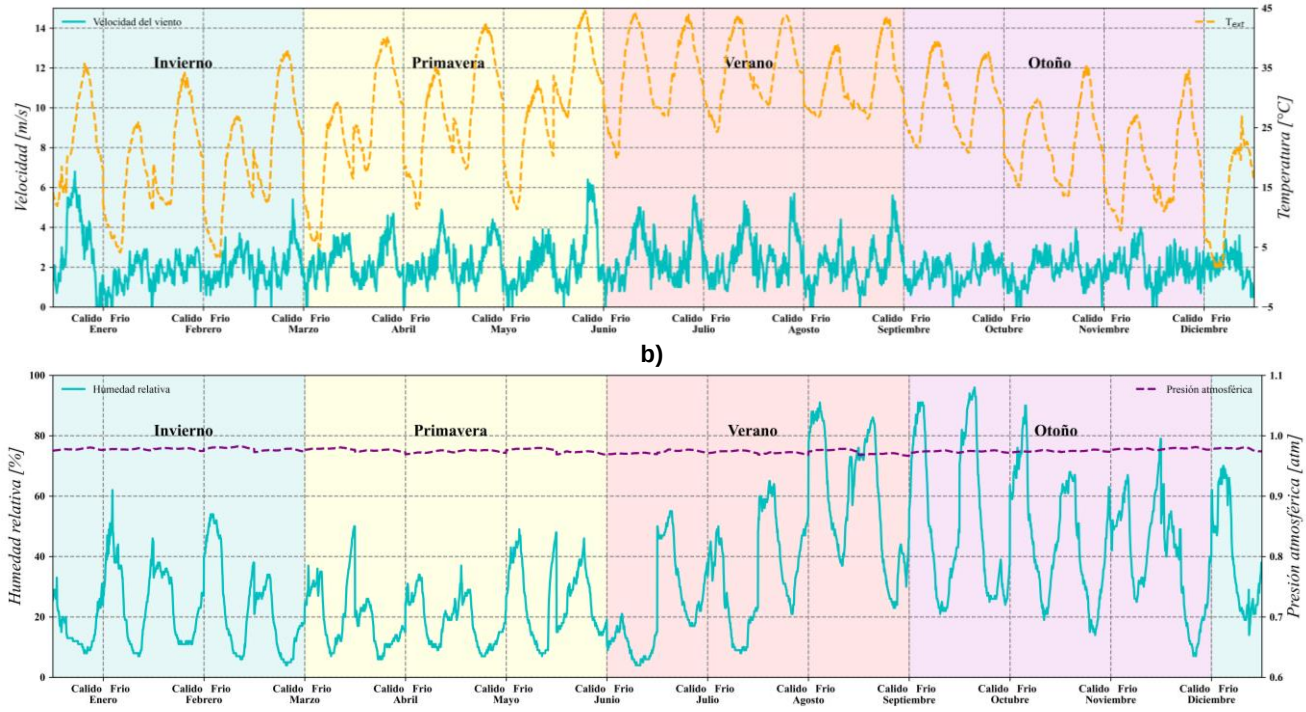
Descripción del caso de estudio

El estudio comprende la obtención del ahorro energético equivalente de una ChSo-TC para proveer ventilación natural en sustitución a un ventilador mecánico bajo las condiciones climáticas de Hermosillo, Sonora, durante un año de operación; el clima de Hermosillo es seco desértico y los datos climáticos se obtuvieron de la estación meteorológica de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) correspondientes al año 2018. Para reducir el tiempo de cómputo se seleccionaron el día más cálido y frío de cada mes. En la Figura 2 se muestran los datos climáticos de los 24 días evaluados con el modelo propuesto de ChSo-TC, en el que se presentan la radiación solar incidente, velocidad del viento, temperatura ambiente, presión atmosférica y humedad relativa. Aunque en la Figura 3 se presente el resultado de la descomposición de la radiación solar sobre un plano horizontal en los cuatro puntos cardinales, la ChSo-TC se consideró con una orientación de sus envolventes hacia el Este y Oeste, como se muestra en la Figura 1; la elección de estas orientaciones corresponde a que son aquellas en las que se presentan mayor radiación solar incidente para la ChSo-TC. Como se muestra en la Tabla 1, el paso de tiempo seleccionado para el estudio fue de cinco segundos.



a)

 ISSN: 2007 8102



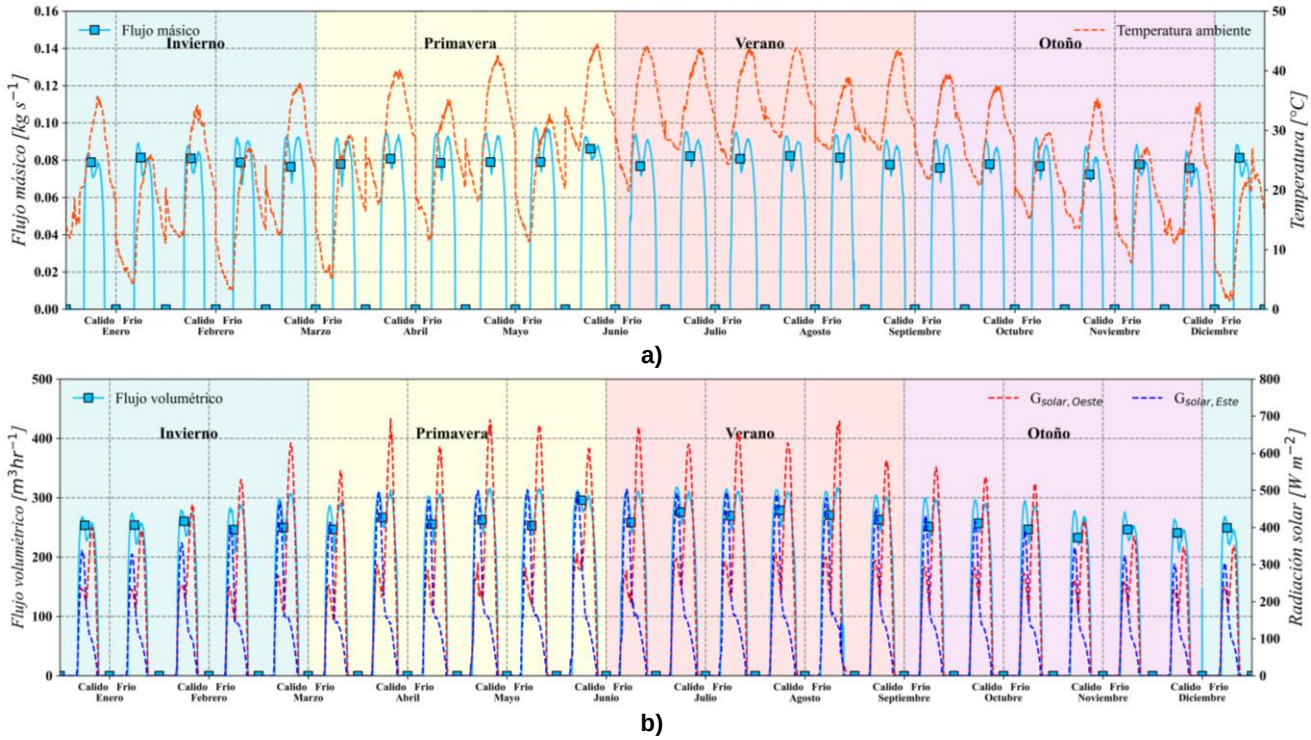
b)

c)

Figura 2. Condiciones climáticas de Hermosillo durante el año 2018 (CONAGUA): a) radiación solar y temperatura ambiente, b) velocidad del viento, c) humedad relativa y presión atmosférica

Resultados y discusión

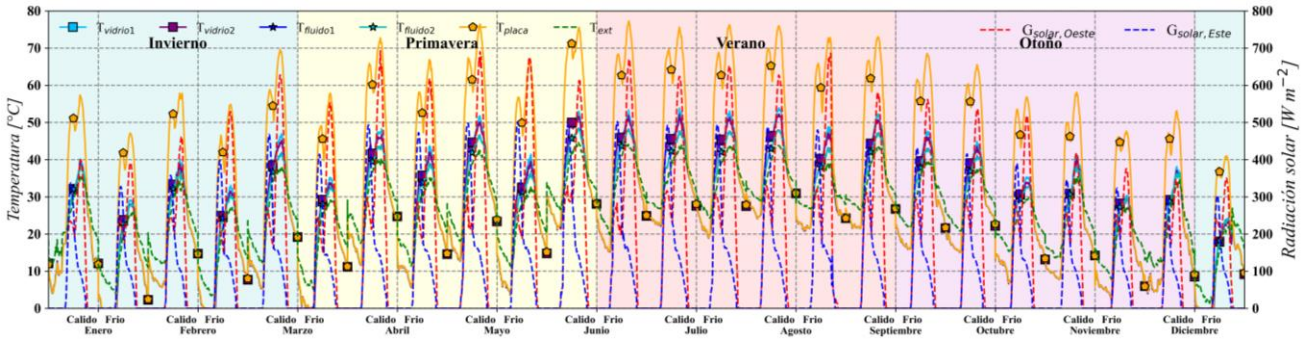
Los primeros resultados de este estudio corresponden a las estimaciones de flujo de aire inducido y las temperaturas obtenidas del modelo de ChSo-TC. En la Figura 3 se muestran los flujos másicos, flujos volumétricos y la temperatura de cada elemento envolvente de la chimenea solar en contraste con la radiación solar incidente sobre cada canal de la ChSo-TC.



a)

b)

 ISSN: 2007 8102



c)

Figura 3. Evaluación anual de la ChSo-TC: a) flujo másico, b) flujo volumétrico, c) temperatura de elementos considerados en el modelo matemático

Como se observa en la Figura 3, el flujo de aire inducido por la ChSo-TC presentó comportamientos similares a lo largo del año de evaluación manteniendo valores entre 0.8 y 0.98 kg s^{-1} como máximo. El comportamiento del flujo de aire inducido es afectado principalmente por las variaciones de la radiación solar incidente y ya que las orientaciones Este y Oeste fueron aquellas con radiación solar más alta de acuerdo con lo observado en la Figura 2(a), por lo que no es necesario realizar una evaluación del desempeño de la ChSo-TC cambiando la orientación a Norte y Sur. Los flujos de aire más elevados se generaron durante las estaciones de primavera y verano, sin embargo, el desempeño de la ChSo-TC presenta diferencias mínimas durante el otoño y el invierno. El flujo volumétrico máximo registrado fue de 310 m^3hr^{-1} el cual se obtuvo para el día cálido de julio, este valor es superior a los flujos volumétricos máximos reportados para chimeneas solares de un solo canal **[14]** por lo que muestra el potencial superior de una ChSo-TC respecto a las configuraciones de chimeneas solares que se combinan con fachadas verticales.

En cuanto al tiempo de operación de la ChSo-TC, la ventilación natural proporcionada por el sistema pasivo se limita solamente durante las horas con presencia de radiación solar y algunos minutos después de la puesta de sol. Esto se debe al diseño de la ChSo-TC, ya que al maximizar el área de captación de energía solar también se expone la placa absorbedora al fluido en ambos canales; por lo tanto, en cuanto la placa de metal absorbe la mayor cantidad de radiación solar, almacena energía en forma de calor sensible que es inmediatamente transferido por convección al fluido en ambos canales y por intercambio radiativo superficial con todo el medio el medio que lo rodea. Al ser mayor la cantidad del fluido al que se encuentra expuesto la placa absorbedora, la transferencia de calor por convección es mayor y esto incrementa el efecto termosifón en mayor medida que en una configuración de chimenea solar de un solo canal. Por esta razón, los flujos de aire inducidos por la ChSo-TC son superiores a los observados con otras configuraciones de chimenea solar, sin embargo, al aumentar la transferencia de energía, se reduce el tiempo el tiempo de almacenamiento de la energía y por lo tanto se observan tiempos menores de operación.

Al igual que el flujo de aire inducido, el comportamiento de la temperatura de la placa absorbente presentó el mismo comportamiento que la radiación solar incidente. Justo al medio día se presentó un decaimiento de la temperatura lo cual corresponde a la orientación del Sol en el cenit, sin embargo, a pesar de este comportamiento, se lograron alcanzar temperaturas de hasta poco más de 75°C en la placa caliente el cual se obtuvo después del mediodía. En la mayoría de los días evaluados se observó que después de la puesta del Sol, las temperaturas al interior del canal y la placa caliente mostraron un comportamiento dependiente a la temperatura exterior, lo cual es un comportamiento esperado.

A partir de los flujos de aire inducidos, se emplearon las Ecs. (8) y (9) para determinar el consumo eléctrico equivalente. En la Figura 4 se muestra el consumo eléctrico mensual. Para la estimación del consumo eléctrico mensual a partir de dos días de simulación por mes, se multiplico el consumo del día frio por la mitad del mes y para la segunda mitad del mes se multiplico por el consumo del día cálido.

La Figura 4 muestra el consumo eléctrico equivalente por parte de un dispositivo eléctrico como el ventilador mecánico para proveer la ventilación inducida por la ChSo-TC durante un año, el cual oscila entre los 19.37 y los 24.83 kWh mensualmente. Como se observó en la Figura 3, el comportamiento con mayor consumo energético corresponde al periodo de mayo-agosto ya que fue durante esta temporada en la que se registraron mayores flujos de aire inducido por la ChSo-TC.

 ISSN: 2007 8102

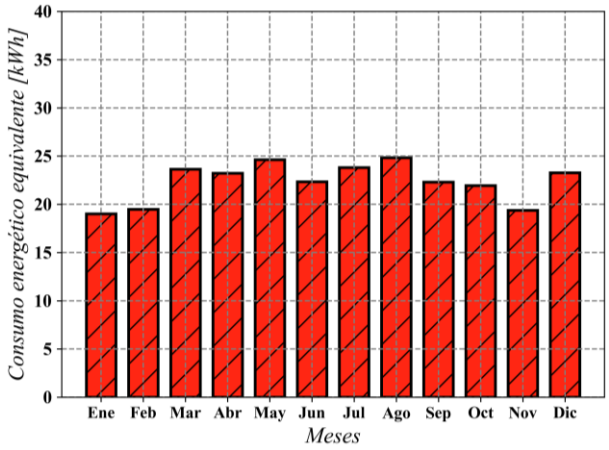


Figura 4. Consumo energético equivalente

Al considerar el consumo energético mensual, el equivalente energético total de un año de actividad de una ChSo-TC fue de 267.83 kWh para la ciudad de Hermosillo, Sonora. Al tomar en cuenta la tarifa 1F de la CFE (2023) y considerando el consumo eléctrico equivalente anual de la ChSo-TC se estimó un costo total de $867.80. Es importante mencionar que este es el ahorro que puede proveer una ChSo-TC bajo las condiciones ya descritas para proveer ventilación natural, sin embargo, en este estudio no se ha considerado el impacto en el confort térmico ya que, aunque las chimeneas solares fueron diseñadas en un principio para proveer ventilación natural, también son empleados para remover el exceso de energía al interior de una edificación con lo que se reducen las cargas térmicas, lo cual significa un ahorro energético equivalente por el uso de dispositivos de aire acondicionado.

Trabajo a futuro

De los resultados obtenidos en el presente estudio, se estableció que aún deben evaluarse y analizarse otras configuraciones de ChSo-TC cambiando parámetros como altura y espesor del canal para incrementar el flujo de aire inducido por el sistema pasivo, utilizar materiales masivos para aumentar el almacenamiento de energía y así extender el tiempo de operación de la chimenea solar en horarios nocturnos, e implementar estrategias de programación en paralelo para reducir el tiempo de cómputo en la realización de estudios paramétricos más extensos en configuraciones y tiempo de simulación. De esta manera, es posible conocer los posibles beneficios de la implementación de chimeneas solares bajo las condiciones climáticas consideradas en este estudio y extender el análisis a más escenarios bajo condiciones distintas de la República Mexicana.

Conclusiones

En el presente estudio se llevó a cabo la evaluación de un modelo de ChSo-TC bajo las condiciones climáticas de la ciudad de Hermosillo, Sonora, para estimar el ahorro energético equivalente de utilizar este tipo de sistemas pasivos para proveer ventilación natural en edificaciones. El modelo se desarrollo a través de la teoría de balances de energía estableciéndose un modelo en estado transitorio y considerando una placa absorbente de metal.

La ChSo-TC indujo flujos de aire de 310 m^3hr^{-1} bajo las condiciones de verano lo cual superó las estimaciones registradas con modelos de chimeneas solares de un solo canal. De esta manera se observó el potencial superior de la ChSo-TC como un sistema pasivo de ventilación. Sin embargo, en cuanto al tiempo de operación, se observó que el tiempo de operación de la ChSo-TC se limito al horario diurno debido a la poca capacidad de almacenamiento de la placa metálica y la mayor exposición de esta para la transferencia de calor por convección con el fluido de ambos canales.

Se estimó el ahorro energético equivalente de la ChSo-TC tomando en cuenta el consumo equivalente de un sistema eléctrico para generar la misma ventilación que la chimenea solar. El consumo eléctrico equivalente de todo el año fue de 267.83 kWh y al considerar la tarifa 1F aplicada para la ciudad de Hermosillo, el costo anual por el consumo de esta energía fue de $867.80. Estos resultados muestran la importancia de implementar sistemas activos para sustituir dispositivos eléctricos para la ventilación natural y así reducir el gasto por el consumo eléctrico, así como el daño al medio ambiente. Por lo tanto, aun es necesario evaluar el impacto de la

 ISSN: 2007 8102

ChSo-TC para el confort térmico ya que, al reducir las cargas térmicas además de proveer ventilación, es posible aumentar el ahorro equivalente al implementar este tipo de sistemas pasivos en edificaciones.

Nomenclatura

A	Área [m]
C_P	Calor específico [J/kgK]
Cd	Coeficiente de descarga [-]
g	Gravedad [m s^{-2}]
G_{solar}	Radiación solar [W/m^2]
Gr	Grashof [-]
$h_{conv\text{-}ext}$	Coeficiente convectivo exterior [W/m^2K]
h_{rad}	Coeficiente radiativo [W/m^{-2}K]
Hx, Hy, Hz	Distancia sobre eje x, y, z [m]
L	Longitud [m]
M	Flux de calor extraído por flujo de aire [W/ m^2]
$\dot{m}$	Flujo másico [kg/s]
Nx,Ny	Número de nodos [-]
Nu	Nusselt [-]
Pr	Prandtl [-]
Ra	Rayleigh [-]
T	Temperatura [°C]
t	Tiempo [s]
$\dot{V}$	Flujo volumétrico [m^3hr^{-1}]
x, y, z	Eje x, y, z [m]

Subíndices y superíndices

$aislante$	Aislante térmico
amb	Ambiente
$conv$	Convectivo
$cond$	Conductivo
ext	Exterior
f, $fluido$	Fluido al interior del canal
Int	Entrada
i	Elemento
Max	Maximo
New	Iteración actual
Old	Iteración anterior
Out	Salida
$placa$	Placa metálica
rad	Radiativo
Sol	Solido
sky	Cielo
t	Tiempo
$vidrio$	Cubierta de vidrio
$wind$	Viento

Griegas

$\alpha*$	Absortancia [-]
α	Coeficiente de relajación [-]
β	Coeficiente de expansión volumétrica [K^{-1}]
Δ	Diferencia [-]
δ	Criterio de convergencia [-]
ε	Emitancia [-]
η	Eficiencia [-]
λ	Conductividad térmica [W/mK]
μ	Viscosidad dinámica [N s m^{-2}]
ν	Viscosidad cinemática [m^2 s^{-1}]
ρ	Densidad [kg/m^3]
$\rho*$	Reflectancia [-]
σ	Constante de Stefan-Boltzmann []
$\tau*$	Transmitancia [-]
ϖ	Potencia del ventilador equivalente [kW]
Ω	Consumo eléctrico equivalente [kWh]

Referencias

[1] Secretaría de Energía, Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2022-2036". México, 2022.

[2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, "Primera Encuesta Nacional sobre consumo de energéticos en viviendas particulares (ENCEVI)". México 2018.

[3] A. Abdeen, A.A. Serageldin, M.G.E. Ibrahim, A. El-Zafarany, S. Ookawara and R. Murata, "Solar chimney optimization for enhancing thermal comfort in Egypt: An experimental and numerical study," *Solar Energy*, vol. 180, pp. 524-536, 2019.

[4] H.J. Mohammed, A.J. Jubear and H. Obaid, "Natural ventilation in passive system of vertical two-stores solar chimney," *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, vol. 69, pp. 130-146, 2020.

 ISSN: 2007 8102

[5] C. Jiménez-Xamán, J. Xamán, M. Gijón-Rivera, I. Zavala-Guillén, F. Noh-Pat and E. Simá, “Assessing the termal performance of a rooftop solar chimney attached to a single room,” *Journal of Building Engineering*, vol. 31, pp.101380, 2020.

[6] J. Arce, J. Xamán, G. Alvarez, M.J. Jiménez, J.D. Guzmán and M.R. Heras, “Theoretical study on a diurnal solar chimney with double air flow,” *1st international congress on heating, cooling and buildings (EUROSUN)*, pp. 1-8, 2008.

[7] M. Ashouri and A. Hakkaki-Fard, “Improving the performance of the finned absorber inclined rooftop solar chimney combined with composite PCM and PV module,” *Solar Energy*, vol. 228 No.1, pp. 562-574, 2021.

[8] W. Ke, J. Ji, C. Wang, C. Zhang, H. Xie, Y. Tang, Y. Lin, “Comparative analysis on the electrical and thermal performance of two CdTe multi-layer ventilated windows with and without a middle PCM layer: A preliminary numerical study,” *Renewable Energy*, vol. 189, pp. 1306-1323, 2022.

[9] K.S. Ong, “A mathematical model of a solar chimney,” *Renewable Energy*, vol. 81, pp.614-622, 2003.

[10] F.P. Incropera and D.P. DeWitt. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. New York: Wiley, 1996.

[11] M. Kumaran. *Final Report, Volume 3, Task 3: Material Properties*. Belgica: International Energy Agency, 1996.

[12] J. Arce, J.P. Xamán, G. Álvarez, M.J. Jiménez, R. Enríquez and M.R. Heras, “A Simulation of the Thermal Performance of a Small Solar Chimney Already Installled in a Building,” *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 135, pp. 011005-1 – 011005-10, 2013.

[13] T. Miyazaki, A. Akisawa and T. Kashiwagi, “The effects of solar chimneys on thermal load mitigation of office buildings under the Japanese climate”. *Renewable Energy*, vol. 31, pp. 987-1010, 2006.

[14] C.E. Torres-Aguilar, J. Arce, R. Vargas-López, E.V. Macias-Melo and K.M. Aguilar-Castro, “Evaluación anual de una chimenea solar de un canal en condiciones de clima cálido-húmedo,” Journal CIM, vol. 10 no. 1, pp.1905-1915, 2022.

 ISSN: 2007 8102

Comparativo de las ganancias de calor en ventanas con vidrio simple y doble

E.V. Macias-Melo[1], K.M. Aguilar-Castro[1], I. Hernández-Pérez[1], C.E. Torres-Aguilar[1], I. Y. Pérez-Olán[1]*
[1]Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Cunduacán, Tabasco, CP 86690, México
[*]karla.aguilar@ujat.mx

***Área de participación**: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica*

Resumen

En este estudio se realizó un análisis comparativo entre un sistema vidriado simple y doble para identificar la reducción de la ganancia de calor en una edificación. Para ello, se seleccionaron tres muestras de vidrio simple, tres gases (aire, argón y hexafluoruro de azufre) y dos marcos de ventanas (aluminio y PVC). El análisis del comportamiento energético de los sistemas vidriados se realizó con Window y Therm para obtener los parámetros U-valor y el SHGC (Coeficiente de ganancia de calor solar). En el estudio se analizaron seis muestras de sistemas vidriados simples y seis muestras de sistemas vidriados dobles. Las condiciones ambientales consideradas para el estudio fueron las establecidas según la norma NOM-008-ENER y NOM-020-ENER. Los resultados mostraron que el arreglo el VT6+Marco de PVC obtuvo los resultados más favorables de los casos de los vidrios simples para aplicaciones de clima cálido húmedo, mostrando el menor valor de U-valor.

***Palabras clave**: ventana, vidrio, U-valor, SHGC.*

Abstract

This study conducted a comparative analysis between a single- and double-glazing system to identify the reduction of heat gain in a building. For this purpose, three single-glazing samples, three gases (air, argon, and sulfur hexafluoride), and two window frames (aluminum and PVC) were selected. The analysis of the energy performance of the glazed systems was performed with Window and Therm to obtain the U-value and SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) parameters. The study analyzed six samples of single-glazed systems and six samples of double-glazed systems. The environmental conditions considered for the study were those established according to NOM-008-ENER and NOM-020-ENER. The results showed that the VT6+PVC frame arrangement obtained the most favorable results of the single glazing cases for warm, humid climate applications, offering the lowest U-value.

***Key words**: window, glass, U-value, SHGC.*

Introducción

El confort térmico de los ocupantes de una edificación está vinculado de alguna forma con su diseño y construcción, las cuales han evolucionado al pasar de los años. En el interior de las viviendas se busca obtener condiciones de confort térmico [1], el cual es definido según la norma ISO 7730 como “una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. Contar con condiciones de confort térmico ha dejado de convertirse en un lujo y se ha vuelto una necesidad. Hoy en día el ahorro de energía eléctrica es de importancia, no solo para fabricantes sino para consumidores, debido a que puede traducirse en términos monetarios. Por lo que, la eficiencia energética [2] representa la obtención de los mismos bienes o servicios con el uso de menos recursos energéticos y sin afectar los niveles de confort de los usuarios, calidad de vida o de productividad.

Alcanzar la eficiencia energética se ha convertido en uno de los principales objetivos entre países, así como el nuestro [3]. El 22 abril de 2016, y como parte de la celebración del Día de la Tierra en la sede de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se formalizó la adhesión de 175 países al Acuerdo de París, identificado como COP21. Entre los objetivos del COP21 está el lograr que: 1) el aumento de temperatura en el mundo se ubique

 ISSN: 2007 8102

por abajo de 2°C, 2) se mejore la eficiencia con la que se usa la energía, y 3) se prevean algunas respuestas para los desastres naturales. En otras palabras, de no moderar el consumo de energía eléctrica, continuar con la quema de combustibles fósiles e hidrocarburos e ignorar los efectos de ello, contribuiría al deterioro del ambiente.

La cantidad de energía que se produce en el mundo es inmensa, pero no toda termina directamente en residencias o edificios. Por lo que, es importante saber de qué manera se comporta ese reparto de energía entre la población y sus sectores. La cantidad de energía que se consume en el mundo anualmente se estima en aproximadamente 85 billones de kWh. Esta cantidad de energía eléctrica no es consumida en su totalidad por residencias o unidades habitacionales [4]. En el reporte realizado por la IEA (International Energy Agency), el consumo de energía anual por usuario en edificios a nivel mundial en 2012 se estimó en 4,700 kWh/usuario. El país con mayor consumo de energía por usuario es Canadá con 20,000 kWh/usuario, mientras que, el país que presenta menor consumo es India con 2,000 kWh/usuario. México presenta un consumo con valor poco mayor al de India, 2,500 kWh/usuario.

Con relación a lo anterior, un gran porcentaje de energía utilizado en una vivienda ya sea unifamiliar o plurifamiliar, es para alimentar equipos de aire acondicionado, o en su defecto, para calefacción. En condiciones climáticas tropicales, existe una gran demanda de energía eléctrica para satisfacer la necesidad de confort térmico dentro del área de trabajo o vivienda. Según algunas filosofías en el manejo de personal, un empleado tiene un mayor rendimiento cuando se siente cómodo en su entorno laboral. Para contribuir a alcanzar el confort térmico existen varias alternativas como son el uso de sistemas pasivos: chimenea solar, muro trombe, intercambiadores de calor tierra aire, uso de materiales de construcción adecuados (muros y sistemas vidriados), uso de recubrimientos reflectivos, entre otros. Estas alternativas se pueden implementar en el diseño y construcción de un inmueble o vivienda. Se estima que el consumo de energía eléctrica promedio de una vivienda tipo es de 38 kwh, pero no solo la energía eléctrica entra en una vivienda, no hay que olvidar el factor de la energía solar. La atmósfera exterior intercepta aproximadamente la mitad de la billonésima parte de la energía generada por el sol, aproximadamente 1.5 trillones de kWh al año. Sin embargo, debido a la reflexión, dispersión y absorción producida por los gases de la atmósfera, solo un 47% de esta energía alcanzan la superficie de la tierra. Es por ello, que la energía solar juega un papel importante en la ganancia de calor a un inmueble y la manera de resolver esa problemática para mantener el confort térmico de los usuarios. Las ganancias de calor en la vivienda se dan en mayor magnitud en las componentes más expuestas al efecto de la energía solar, entre la cuales se encuentran las componentes translucidas como son los vidrios y sistemas vidriados (ventanas), por lo que, la selección adecuada de estos sistemas es importante. Es importante considerar que para los vidrios y sistemas vidriados se espera que permitan el paso de la luz para proporcionar una iluminación natural, pero a la vez eviten el paso de la energía térmica. Esto último, en un clima cálido incrementaría la temperatura de una habitación, y en un clima frio favorecería las pérdidas de energía del sistema de calefacción; en ambos casos, esto implicaría no alcanzar el confort térmico. En términos de condiciones climáticas, la temperatura ambiente de confort sería aparentemente mayor en el verano que en el invierno, siendo de 23-27°C y 20-25°C respectivamente.

La importancia de investigaciones en el correcto aprovechamiento de los materiales y eficiencia energética en la sociedad es asegurar el bienestar y desempeño de las personas dentro de la habitación de una edificación, además de que permite un mejor manejo de los recursos durante la construcción de esta. Lo anterior, debido a que el sustento brindado por programas de computadora ayuda a identificar qué materiales utilizar, de acuerdo con sus características para realizar un presupuesto más aproximado; en otras palabras, permite un ahorro en materiales y en recursos económicos. Este tipo de prácticas son muy utilizadas en Europa y en EE. UU. con la ventaja de economizar satisfactoriamente la puesta de componentes translucidos, como son las ventanas con vidrio simple, doble aislado, entre otros; y con la desventaja de no tener control en el diseño de la ventana, debido a que en caso de querer realizarlo el precio se eleva aún más. Existen muchos factores para tener en cuenta al seleccionar los tipos de sistemas vidriados, tales como la geometría de la ventana, el tipo, la cantidad de vidrios, localización, cantidad de luz solar en la ventana, por decir algunos [5]. El tipo de ventana y localización también tienen un papel importante si se desea mantener un control en la temperatura interna de la habitación [6]. Otras consideraciones para tener en cuenta es la “proyección geométrica” de la ventana, la orientación y tamaño del espacio, así como, el marco de la ventana. Este último, debido a que la unión del vidrio con la pared es un área que no se debe despreciada, debido a que la temperatura interna deseada podría disiparse fácilmente [7]. En los estudios reportados anteriormente, se destaca que el marco de ventana tiene un impacto significativo sobre el índice de factor solar de la ventana. Por lo tanto, para determinar el valor del índice para etiquetado energético, es necesario poder calcular de manera precisa el factor solar de los marcos. Este parámetro varía en función de la absortancia solar y en función de las condiciones de borde seleccionadas para su cálculo, principalmente los coeficientes convectivos.

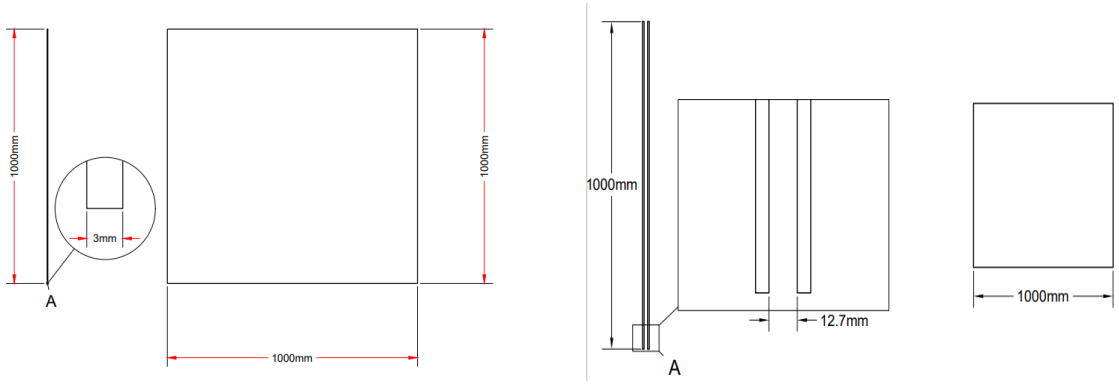
 ISSN: 2007 8102

Por lo que, conocer el comportamiento de las ganancias de calor a través de los vidrios y sistemas vidriados es de interés para contribuir al logro del confort térmico en viviendas. Estos resultados podrían utilizarse para la economización y optimización de materiales, y su aplicación en el diseño de bienes inmuebles, y ahorro energético.

Metodología

Muestras de vidrio

Las muestras de vidrio consideradas fueron vidrio flotado claro (®Vitro) y tintex verde, de 3mm y 6 mm de espesor. En la **Figura 1** se presentan las dimensiones de las configuraciones. Para los sistemas de vidrio doble se utilizó gas entre vidrios (aire, argón y hexafluoruro de azufre, SF_6).



(a) (b)

Figura 1. (a) Vidrio simple o monolítico, (b) Vidrio doble.

En la **Tabla 1** se muestran las características y propiedades de las muestras analizadas, de acuerdo con lo establecido en las normas mexicanas NOM-008-ENER-2001 y NOM-020-ENER-2011. Cabe mencionar que la conductividad térmica de los vidrios es de 1 W m^{-1} K^{-1} y la emitancia es de 0.84 para todos los casos.

Tabla 1. Características del centro de vidrio de los casos de estudio.

Propiedad Vidrio Simple	Espesor (mm)	U-valor ($Wm^{-2}K^{-1}$)	SC	SHGC	τ_{vis}
Vidrio claro 3 mm vitro ClearFloatGlass 3vto (VC3)	3.004	4.917	1.000	0.870	0.896
Vidrio claro 6 mm vitro ClearFloatGlass 6vto (VC6)	5.775	4.851	0.956	0.832	0.878
Vidrio Tintex 6 mm vitro Tintex 6vto (VT6)	5.686	4.853	0.736	0.640	0.755
Propiedad Vidrio Doble (VD)	**Espesor (mm)**	**U-valor ($Wm^{-2}K^{-1}$)**	**SC**	**SHGC**	τ_{vis}
VC6 + aire + VC6 (VD1)	5.775 + 12.7 + 5.775	2.767	0.824	0.717	0.776
VC6 + argón + VC6 (VD2)		2.645	0.824	0.717	0.776
VC6 + SF_6 + VC6 (VD3)		2.703	0.824	0.717	0.776

Fuente: Window 7.4 [8]

Marcos seleccionados para vidrio simple y doble

En la **Tabla 2** se presentan las propiedades térmicas de los materiales de los marcos de ventana, con las diferentes configuraciones de vidrio doble y vidrio monolítico. El aluminio y PVC fueron los materiales que más se emplea en la construcción de marcos de ventana los cuales difieren en su valor de conductividad térmica. Los

 ISSN: 2007 8102

datos son obtenidos de la base datos del programa THERM®. En la **Tabla 3** se presenta la geometría e imagen de los perfiles de aluminio y PVC empleados para el armado de los marcos de ventana.

Tabla 2. Propiedades de los materiales empleados en los marcos.

Material	Aluminio	PVC	Silicon	Neopreno
Conductividad térmica (W $m^{-1}K^{-1}$)	237	0.17	0.35	0.23
Emitancia	0.8	0.9	0.9	0.9

Fuente: Window 7.4 [8]

Descripción de cortes transversales de marcos de ventana seleccionados

Una vez que se ha descrito el tipo de geometría y materiales para el marco de la ventana, se seleccionaron los perfiles para las simulaciones. En la **Tabla 3** se presenta la geometría de los marcos con los vidrios incorporados. En la imagen para vidrio simple con marco de aluminio, se pueden observar las ranuras en el perfil donde se colocan las juntas. Lo más apreciable de este perfil es la falta de cámaras internas para aislar la temperatura, como ocurre con perfiles de PVC. Por su parte, para este mismo marco la imagen para vidrio doble es también conocido como “doble vidrio hermético”. Este perfil también es de aluminio, pero se suelen encontrar configuraciones similares en los marcos de PVC. Son un poco más complejos y constan de cámaras aislantes, además de tipos de juntas, por lo que suelen ser un poco más voluminosos que los marcos de vidrio simple convencional.

Procedimiento

La **Tabla 5** muestra los casos analizados de los sistemas vidriados, cuyos diseños fueron simulados siguiendo el procedimiento siguiente:

1. Se selecciona el modelo de ventana para el estudio.
2. Se reúne la información necesaria para su análisis (dimensiones, propiedades, etc).
3. Se realiza un boceto en AutoCad del perfil de ventana seleccionado.
4. Se transporta el modelo al programa Therm donde se utiliza como plantilla.
5. Se declaran los materiales y las fronteras de estos.
6. En el software Window se selecciona el cristal a utilizar, para este estudio Vidrio Claro de 3mm, Vidrio Claro de 6mm, Vidrio Tintex Verde de 6 mm.
7. Se declaran las magnitudes y condiciones ambientales para el vidrio, como es el coeficiente combinado fijo (convección + radiación) con temperaturas de 25°C al interior y 35°C al exterior.
8. Se ejecuta la simulación y se toman los valores del vidrio.
9. Se transporta el cristal al marco en Therm.
10. Se ensambla el vidrio con el marco y se ejecuta su análisis.
11. Se analiza la simulación con diferentes opciones.
12. Se guarda la ventana en conjunto.
13. Se transporta la ventana al programa Window nuevamente.
14. Se declaran los parámetros.
15. Se ejecuta el análisis de la ventana como conjunto.
16. Se extraen los datos, se comparan y se analizan.

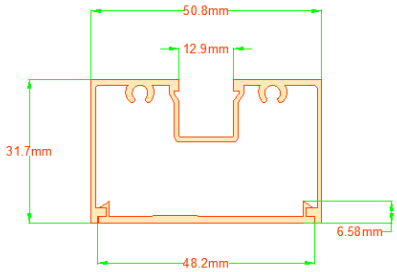
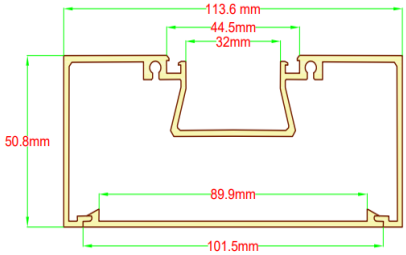
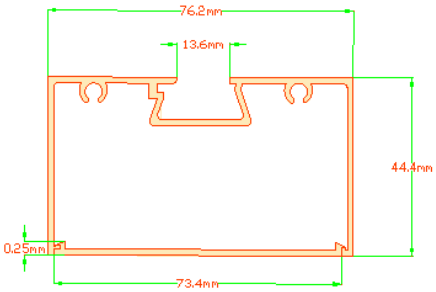
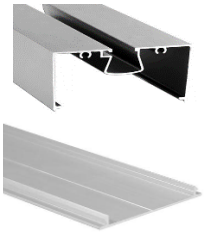
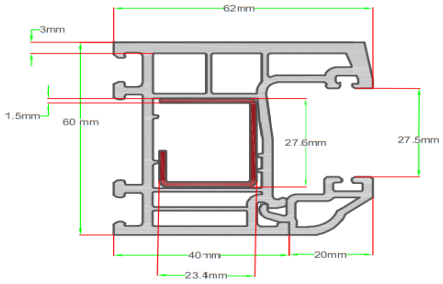
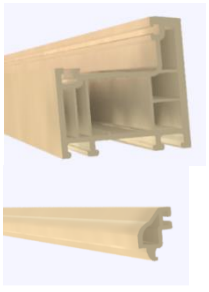
Resultados y discusión

En la **Tabla 6** se presentan los resultados resumidos de los casos más representativos de estudios para vidriado simple. Como se puede observar en la sección correspondiente al vidrio monolítico de los diversos casos solo se aprecian gradientes de temperatura bajos en las isolíneas de temperatura. Los **Casos 1**, **2** y **3** presentaron comportamientos simulares, para el **Caso 3** se puede observar que, en la parte inferior de las diferentes simulaciones, los gradientes son más altos debido a la baja conductividad del aire interior. Además, podemos observar el efecto de la figura de los puentes térmicos en la formación de los perfiles de temperatura. Por otro lado, en los marcos de PVC pudimos observar la ventaja de seleccionar la cavidad con el fin de reducir la transferencia de calor, además de otorgar rigidez al marco de ventana. Considerando el **Caso 6**, se puede

 ISSN: 2007 8102

observar una diferencia de temperaturas de hasta 8.2°C, entre la temperatura máxima y mínima presentada en las secciones del marco de PVC. Las diferencias debidas a los espesores de vidrio colocado en PVC solo difieren en 0.4°C, esto debido al material utilizado para su sujeción entre el marco y el vidrio monolítico. A diferencia del marco de aluminio, donde la diferencia fue solo de 0.8°C, esto se debe además de la segmentación de cavidades a la baja conductividad térmica del PVC.

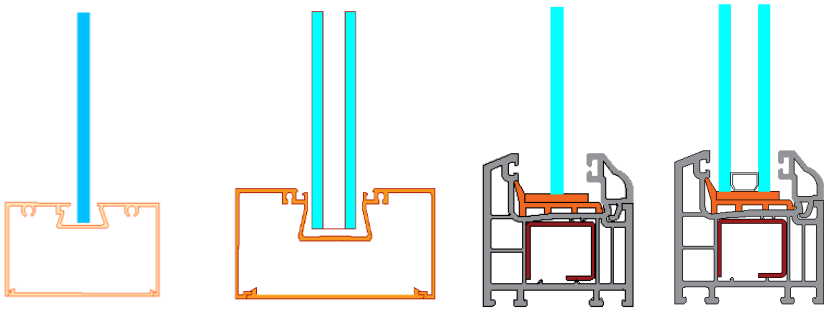
Tabla 3. Geometría de los marcos seleccionados.

Material del marco	Aplicación	Geometría y dimensiones (mm)	Perfil
Aluminio	*Para VC3 (sistema vidriado simple)*		 Tapa lisa
	Para VC6 (sistema vidriado simple)		 Tapa lisa
	Para VD1, VD2 y VD3 (sistema vidriado doble)		 Tapa lisa
PVC	*Para VC3, VC6, VD1, VD2 y VD3 (sistema vidriado simple y doble)*		 Junquillo fijo

Fuente: Alugama [9]

 ISSN: 2007 8102

Tabla 4. Geometría de los marcos con vidrios incorporados.

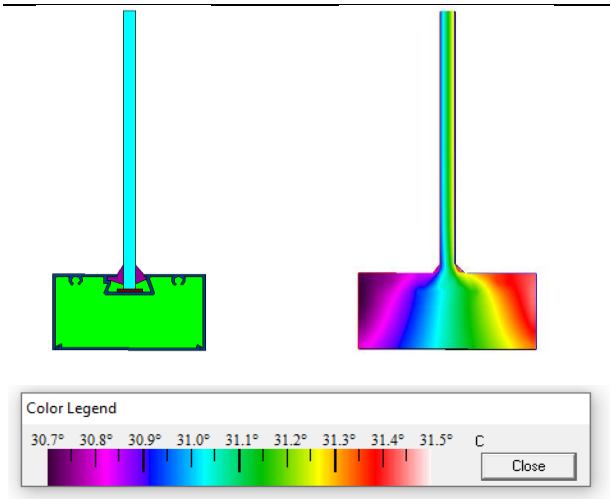
Marco de Aluminio		Marco de PVC	
Vidrio Simple	Vidrio Doble	Vidrio Simple	Vidrio Doble
			

Fuente: Alugama [9]

Tabla 5. Casos analizados en la simulación.

Caso	Tipo de Vidrio	Arreglo
Caso 1	Vidrio claro 3 mm vitro (VC3) Vidrio claro 6 mm vitro (VC6) Vidrio Tintex 6 mm vitro (VT6)	VC3 + marco de aluminio
Caso 2		VC6 + marco de aluminio
Caso 3		VT6 + marco de aluminio
Caso 4		VC3 + marco de PVC
Caso 5		VC6 + marco de PVC
Caso 6		VT6 + marco de PVC
Caso 7	VC6 + aire + VC6 (VD1) VC6 + argón + VC6 (VD2) VC6 + SF_6 + VC6 (VD3)	VD1+ marco de aluminio
Caso 8		VD2+ marco de aluminio
Caso 9		VD3+ marco de aluminio
Caso 10		VD1+ marco de PVC
Caso 11		VD2 + marco de PVC
Caso 12		VD3 + marco de PVC

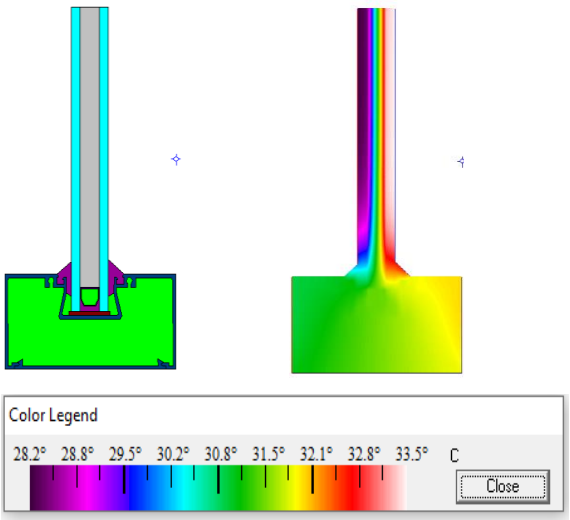
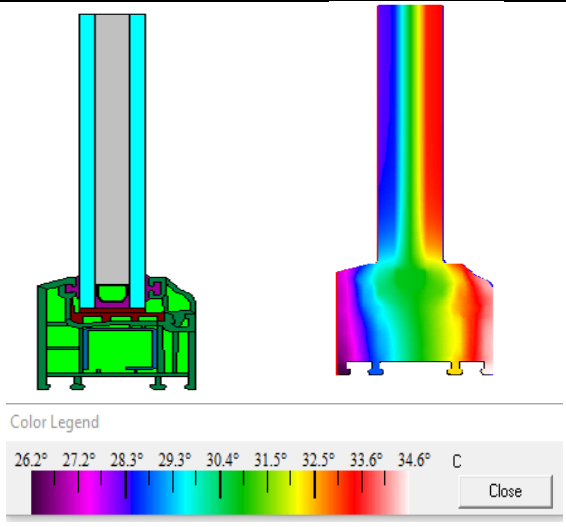
Tabla 6. Resultados resumidos del comportamiento térmico de los casos para sistemas vidriados simple.

Caso 3		Caso 6	
Geometría con materiales	*Comportamiento térmico del sistema vidriado*	*Geometría con materiales*	*Comportamiento térmico del sistema vidriado*
			

 ISSN: 2007 8102

Por su parte, en la **Tabla 7** se pudieron observar mayores gradientes al interior de la cavidad formada por los vidrios (**Casos 9**), donde las diferencias de temperatura entre el máximo y mínimo fueron de 4.9°C. Cabe mencionar que los Casos 7, 8 y 9 presentaron resultados similares, por lo cual, solo se presenta el Caso 9. De igual manera se pudo observar un comportamiento similar para los **Casos 10**, **11** y **12**, cuyos marcos son de PVC, se forma una mayor cantidad de gradientes en comparación con los casos con marco de aluminio. De tal forma que las mismas cámaras que dan rigidez al perfil son las que ayudan a reducir la cantidad de calor que interactúa entre ambas zonas. Cabe señalar que para dar mayor refuerzo al marco de PVC se le suele añadir una pieza de acero galvanizado o aluminio y es ahí donde se genera un menor rango entre los marcos de aluminio, debido a que no sería lo más apropiado para mantener una frontera entre ambos entornos. Por lo que, en términos económicos podría ser un término de comparación para la selección del marco, debido a que el bajo mantenimiento que requiere el marco antes mencionado significaría un aumento en el consumo de energía eléctrica para mantener el confort térmico de los usuarios. Sin embargo, en los ejercicios realizados en los sistemas de vidrio doble con marco de aluminio (**Casos 7**, **8** y **9**) se observó que los vidrios muestran una mejor capacidad de aislamiento en comparación con los **Casos 10**, **11** y **12** cuyos marcos son de PVC. Por lo que, para estos casos los marcos de PVC muestran desventaja contra las ventanas de aluminio. Considerando los resultados de los **Caso 3** y **Caso 12** se puede concluir que estos parecen ser las mejores opciones para las condiciones bajo las cuales se llevaron a cabo las simulaciones.
Por su parte, en la **Tabla 8** se muestran los valores obtenidos del U-valor en el plano del vidrio para los sistemas vidriados simples, donde se observó que el vidrio tintex de 6 mm con marco de PVC fue la ventana con mejores resultados, obteniendo un U-valor de 4.842 W m^{-2} K^{-1}. Mientras que, el vidrio claro de 3 mm con marco de PVC fue la ventana con el mayor U-valor, por lo tanto, con la que se obtuvo la mayor ganancia de calor. Los valores de U-valor reportados coinciden con lo reportado por Medina Agreda [10] para clima cálido-húmedo, vidrio claro de 6 mm y marco de aluminio, 4.5 - 4.8 W m^{-2} K^{-1}. Sería muy sencillo pensar que un vidrio con mayor espesor reduciría el paso de la energía en forma de calor, sin embargo, los resultados muestran que en conjunto el sistema vidriado tiene un comportamiento diferente.

Tabla 7. Resultados resumidos de los casos de estudios para sistemas vidriados doble.

Caso 9		**Caso 12**	
Geometría con materiales	*Comportamiento térmico del sistema vidriado*	*Geometría con materiales*	*Comportamiento térmico del sistema vidriado*
			

A partir de los resultados de la **Tabla 8**, es importante notar que los vidrios de 6mm no cambian en más de una décima de valor del U-valor ya que su valor de conductividad térmica no se ve afectado por sus características ópticas. Por otro lado, podemos ver una mejora significativa al emplear marcos de PVC ya que reducen la cantidad de energía que pasa a través del área representativa del marco (U-valor*Espesor). Lo anterior implica una mejora en la cuestión térmica al emplear marcos de PVC respecto a marcos de aluminio en la transferencia de calor debido a la diferencia de temperatura entre el ambiente interior y exterior. También, se puede observar que para los sistemas vidriados dobles las ventanas con marco de aluminio fueron las que obtuvieron los menores U-valor, con diferencias poco significativas cuando se cambia el tipo de gas. Sin embargo, es importante observar que

 ISSN: 2007 8102

para este tipo de sistema vidriado el cambio del material del marco presenta diferencias poco significativas de orden del 6%. Por lo que, para estos casos los diseñadores y constructores podrían seleccionar el tipo de sistema vidriado por otros criterios como el económico, disponibilidad, manejabilidad, entre otros. Esto debido a que energéticamente cualquiera de los casos presentaría casi el mismo comportamiento. Cabe mencionar, que específicamente la ventana con mejores resultados fue **VD2+Marco de aluminio,** esto debido a que al interior de las cavidades del marco la emitancia es menor en el aluminio que en el pvc lo que resulta en beneficios para la reducción de la transferencia de calor a pesar de que el aluminio es altamente conductor térmico a diferencia del PVC. A su vez, los datos de la tabla coinciden con Ávila et al., [11] donde los valores del U-valor en ventanas dobles de vidrio claro fueron superiores a 2.8 W $m^{-2}K^{-1}$.

Tabla 8. Valores de U-valor obtenidos para los sistemas vidriados simples y dobles.

Casos	Vidrio + marco	Espesor (mm)	SHGC	U-Valor	VT
Caso 1	VC3+Marco de aluminio	56.5643	0.711	4.919	0.708
Caso 2	VC6+Marco de aluminio	62.1158	0.667	4.852	0.676
Caso 3	VT6+Marco de aluminio	62.1158	0.519	4.854	0.582
Caso 4	VC3+Marco de PVC	53.7479	0.719	4.933	0.717
Caso 5	VC6+Marco de PVC	53.8708	0.688	4.868	0.701
Caso 6	VT6+Marco de PVC	53.8708	0.534	4.842	0.604
Caso 7	VD1+Marco de aluminio	48.193	0.600	2.928	0.636
Caso 8	VD2+Marco de aluminio	48.193	0.600	2.826	0.636
Caso 9	VD3+ Marco de aluminio	48.193	0.600	2.879	0.636
Caso 10	VD1+Marco de PVC	57.4333	0.579	2.964	0.610
Caso 11	VD2+Marco de PVC	57.4333	0.579	2.855	0.610
Caso 12	VD3+ Marco de PVC	57.4333	0.579	2.907	0.610

Análisis comparativo

En la **Tabla 8** se presentan también los valores obtenidos del SHGC, el U-valor y la Transmitancia Visible (VT) para todos los casos de estudio. Lo anterior, con el fin de poder comparar los parámetros térmicos de cada arreglo de sistema vidriado para establecer su factibilidad para reducir las cargas térmicas en edificaciones. El U-valor fue obtenido en el plano del vidrio para los sistemas vidriados simples.

Como se puede observar el **VT6+Marco de PVC** obtuvo los resultados más favorables de los casos de los vidrios monolíticos para aplicaciones de clima cálido húmedo, mostrando el menor valor de U-valor. Esto se debe a que el PVC tiene menor conductividad térmica, sin embargo, este se podría reducir aún más cambiando la emitancia al interior de las cavidades del perfil. Por otro lado, podemos ver una reducción en el coeficiente de ganancia de calor solar, sin embargo, también limita la entrada de radiación visible lo que podría hacer necesario usar iluminación artificial. Por otro lado, se pudo observar una mejora sustancial en la disminución de la transferencia de calor al emplear vidrios dobles respecto a los monolíticos. Sin embargo, en los vidrios dobles no existe una diferencia mayor a una décima al cambiar el gas al interior para los casos probados. Mientras que, para el SHGC se observó que el vidrio monolítico tintex reduce aún más la ganancia solar en comparación con un vidrio doble compuesto de dos placas de vidrio claro, aunque este último presenta mayor ventaja en la transmisión de radiación visible. Cabe mencionar que los resultados del SHGC obtenidos son cercanos a los reportados por Bathia et al., [12] en su análisis para la ciudad de Singapur, entre los intervalos de 1.5 al 0.6 del factor de proyección. Los demás casos mostrados también pueden considerarse ideales para otro tipo de aplicaciones, todo depende de la necesidad del usuario o el propósito del área donde han de instalarse.

Trabajo a futuro

Los resultados obtenidos en este estudio se podrán utilizar para integrar los parámetros obtenidos en un software de simulación para el análisis de una edificación completa que permita estimar su comportamiento energético como edificación integrada, la cual podría evaluarse bajo diferentes condiciones climáticas.

Conclusiones

En este trabajo de investigación se analizó el comportamiento de la ganancia de calor y luz solar en ventanas de vidrio simple y doble, realizando las simulaciones variando la composición de la ventana según el perfil del marco, el espesor y tipo de vidrio, considerando condiciones ambientales mexicanas y considerando que son ventanas a 90°. Como resultados destacados se encontró que:

- El vidrio claro utilizado en este estudio permitió obtener un adecuado porcentaje de VT, sin embargo, el U-valor y el SHGC fueron valores altos, lo cual mostró mayores ganancias de calor.
- Al comparar el vidrio claro con el vidrio Tintex, el segundo mostró mejores propiedades para aislar el calor, no obstante, con ello se puede notar que al buscar reducir el SHGC y el U-valor la VT también tiende a disminuir. Por lo que, es importante definir las condiciones o fines del área donde se han de instalar las ventanas. El marco es un elemento de suma importancia para el análisis de calor. A pesar de que su construcción muchas veces es de manera artesanal, la adecuada selección de materiales puede permitir obtener una diferencia de hasta 8.2°C de temperatura entre el interior y el exterior.
- En los sistemas de vidrio doble con marco de PVC fue donde pudo apreciarse un mayor aislamiento en la ventana como conjunto, debido a que en las ventanas dobles de marco de aluminio se observaron resultados favorables solo en el vidrio. Lo anterior, muestra su factibilidad de uso en climas tropicales, en contraste de países como USA, Canadá o Alemania, donde lo importante es mantener el calor fuera y una temperatura agradable dentro de la habitación. Cabe destacar que el fluido en la cámara dentro de las ventanas de vidrio doble también tiene una gran participación para que esto sea posible. A pesar de que el SHGC y la VT se mantienen igual y solo generan diferencia según el material del marco, sí se observaron diferencias en cuanto al U-valor obteniendo mejores resultados de aislamiento con argón, seguido por SF_6 y al final el aire.

Estudios y análisis como los presentados en esta investigación fomentan la eficiencia energética en casas, edificios o industrias, debido a que los equipos como el aire acondicionado puede representar más de la mitad del monto a pagar a la compañía de electricidad. Por lo que, el correcto diseño y selección de ventanas puede contribuir a la reducción de costos e impacto ambiental, que, al combinarse con un adecuado diseño arquitectónico, da como resultado un sistema funcional y duradero.

Agradecimientos

A Emanuel Contreras Hernández y a Juan Antonio Juárez Balderas, por sus contribuciones a este trabajo.

Referencias

[1] W. Giraldo-Castañeda, J. D. Czajkowski, and A. F. Gómez, “Confort térmico en vivienda social multifamiliar de clima cálido en Colombia”, Revista *de Arquitectura (Bogotá)*, vol. *23, no. 1*, pp. 115–124, 2021. https://www.redalyc.org/journal/1251/125168263011/html/

[2] C. González, R. Pérez, C. Vázquez, y G. Araujo, “Eficiencia energética uso racional de la energía eléctrica en el sector administrativo”, *Ministerio del Poder Popular para la energía eléctrica*, 1: 11, 2014.

[3] G. Correa López, “Medio ambiente y generación de energía en México”, *Revista Mexicana de estudios sobre a Cuenca del Pacífico*, Vol.12, pp. 147-148, 2018.

[4] ¿Cuál es el consumo mundial de energía? - Descubre La Energia. (2021, December). Descubre La Energia. https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/sobre-la-energia/preguntas-y-respuestas/fuentes-de-energia/cual-es-el-consumo-mundial-de-energia/#:~:text=La%20cantidad%20de%20energ%C3%ADa%20que,se%20compra%2C%20vende%20o%20comercializa.

[5] J.-W. Lee, H.-J. Jung, J. Park, L. Jb, and Y. Yoon, “Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements”, *Renewable Energy*, vol. 50, pp. 522–531, 2013, doi: https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.029.

[6] G. Barea, C. Ganem, and A. Esteves, A., “Estimación de energía solar ganada por ventanas multiacimutales en relación a su orientación y a su geometría. situación invernal”, *Laboratorio de ambiente humano y vivienda*, Vol. 1, no. 9, 2012.

[7] M. De Gatines, y A. Pattini, “Cálculo de precisión del factor solar de ventanas”, *Avances en energías renovables y medio ambiente*, Vol. 21, pp 08.125-08.133, 2017

[8] Software Release WINDOW 7.4.14 | Windows and Daylighting, 2021. Lbl.gov.

https://windows.lbl.gov/window-software-downloads#AutomaticUpdateTracking
[9] "Vidrio trasparente LUNA 3mm a medida, " *Comprar vidrios online*, 2023. https://comprarvidriosonline.com/vidrio-simple-o-monolitico/87-vidrio-trasparente-luna-3mm.html?mpurl=/296/297&width=1&height=1&mpquantity=1 (accessed Jul. 27, 2023).
[10] I. Medina, "Estudios de transmisión de calor en marcos de ventanas de edificios diseñados en México", Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica, CENIDET, Cuernavaca, Morelos, 2009.
[11] J. Ávila-Delgado, D. Robador, A. Barrera, and M. Marrero, "La influencia del vidrio en el consumo de calefacción, refrigeración e iluminación en rehabilitación de edificios de oficinas bajo clima mediterráneo peninsular (1971-1980)," vol. 9, no. 1, pp. 68–83, Jun. 2019, doi: https://doi.org/10.22320/07190700.2019.09.01.06.
[12] A. Bhatia, Sai, and V. Garg, "An approach to calculate the equivalent solar heat gain coefficient of glass windows with fixed and dynamic shading in tropical climates," vol. 22, pp. 90–100, Mar. 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.11.008.

ISSN: 2007 8102

Análisis exergético de un GTCC con captura de CO_2 en condición de diseño y operativa

Herrera Toledo R.[1], Sánchez Dirzo R.[2], Viñas Reyes E.[3], Zamora Plata J.A.[4], Rogel Ramírez A.[5],*
[1-5] Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, Batalla 5 de mayo s/n, CDMX, 09230, México
[*] rherrera.toledo@comunidad.unam.mx

***Área de participación**: Ingeniería Mecánica*

Resumen

Este trabajo compara el comportamiento de un ciclo combinado (GTCC) en dos condiciones: operativa y de diseño utilizando el análisis exergético para determinar la irreversibilidad local. Adicionalmente se determina el rendimiento exergético del ciclo con y sin un sistema de captura de CO_2. El modelo considera, aire húmedo y exergías de mezcla y exergía química de combustible, así como condiciones de sitio (clima, altitud), variación de recurso (combustible) y producto (potencia eléctrica). La potencia de diseño es igual para cada turbina de gas. Se incluye la comparativa de análisis de irreversibilidad entre los componentes del sistema, se destaca la disminución de eficiencia exergética del ciclo combinado con emisiones de CO_2 45.3% a cuando se captura el CO_2 40.3 % con las condiciones actuales lo que significa que disminuir el impacto de CO_2 al ambiente nos cuesta 4.93% de eficiencia exergética.

***Palabras clave**: Eficiencia exergética, Irreversibilidad, Ciclo combinado*

Abstract

This work compares the behavior of a combined cycle (GTCC) in two conditions: operational and design using exergetic analysis to determine local irreversibility. Additionally, the efficiency exergetic of the cycle with and without a CO_2 capture system is determined. The model considers humid air and exergies of the mixture and chemical exergy of fuel as well as site conditions (climate, altitude), resource variation (fuel) and product (electrical power). The design power is the same for each gas turbine. The comparison of the irreversibility analysis between the components of the system is included, the decrease in exergetic efficiency of the combined cycle with CO_2 emissions 45.3% stands out when CO_2 40.3% is captured with current conditions, which means that reducing the impact of CO_2 to the environment costs us 4.93% of exergetic efficiency.
***Key words**: Exergetic Efficiency, Irreversibility, Combined cycle*

Nomenclatura

CC	Cámara de combustión	*h, b,*	Entalpía, exergía, (específicas) (kJ/kmol),
EG	Generador eléctrico	*s*	Entropía, (kJ/kmol-K)
GC	Compresor de gas	*I, Bd*	Irreversibilidad o exergía destruida (kW)
GT	Turbina de gas	P_{amb}	Presión Ambiente (kPa)
HRSG	Caldera de recuperación	*T*	Temperatura (K)
SC	Ciclo de vapor	*y*	Fracción molar
PCI	Poder Calorífico Inferior (kJ/kg)	α, β	Fracción atómica de C y H en un combustible gaseoso
TGG	Turbogenerador de gas	Δ	Incremento
CL	Enfriador	η	Eficiencia
AB	Absorbedor	φ	Humedad relativa
DB	Desorbedor	IC	Intercambiador de calor
B	Exergía total, (kW)	MP	Bomba de MEA

 ISSN: 2007 8102

CS	Sistema de captura CO_2	SH	Sobrecalentador
WP	Bomba de agua	RB	Reboiler
DEA	Deareador	COND	Condensador
Cp	Capacidad calorífica (kJ/kmol-K)	**subíndices**	
ST	Turbina de vapor	amb	Ambiente
PC	Poscombustor	fg, g	Vaporización y Saturación
SS	Chimenea de concreto	T	Total del sistema
GTCC	Ciclo combinado	H_2O	agua
HE	Intercambiador de calor	0	Estado termodinámico de referencia
ECO	Economizador	i	componente

Introducción

Hasta el día de hoy, la mayor parte de la producción de energía eléctrica se lleva a cabo a través de la combustión de combustibles fósiles. En México el ciclo combinado es la tecnología predominante con alrededor del 58 %. Se han realizado numerosos estudios de primera y segunda ley para los ciclos térmicos [1] y sus tecnologías, con el objetivo de incrementar el aprovechamiento de los recursos energéticos utilizados y reducir el impacto ambiental; son precisamente estos aspectos unos de los principales objetivos de los análisis exergéticos.

Los estudios previos se centran en presentar la forma de incrementar el rendimiento del ciclo combinado, ya sea mediante la recuperación de energía en la turbina de gas, o evaluar propuestas de mejora en la generación de vapor a través de las calderas de recuperación. Una de ellas es utilizar los gases provenientes de la turbina de gas. De acuerdo con Khan [2] se ha evaluado el desempeño de los ciclos combinados a través de la simulación, en función de la relación de presión del ciclo superior (gas) y la presión de expansión del ciclo inferior (de vapor).

También varios autores han realizado incluso análisis exergéticos sobre los ciclos combinados. En los términos más simples la exergía se define como la capacidad para realizar un trabajo útil que tiene un flujo de energía (calor, trabajo o materia), considerando un estado ambiente de referencia (EAR). En estos análisis se concluye que la chimenea de gases de escape es un sitio importante de pérdida de exergía, al igual que el condensador en el ciclo de vapor, también se puede considerar sistemas auxiliares como la compresión húmeda con el uso de sistemas de nebulización tal como lo presentan Herrera-Toledo y Sánchez [3].

En los ciclos combinados se utiliza una nomenclatura que permite conocer la configuración de la central a través de indicar la cantidad de turbinas de gas y generadores de vapor por recuperación de calor (HRSG). Entonces, una configuración 1-1 significa que se utilizará una turbina de gas por una turbina de vapor y en estudios con configuraciones 2-1 (dos turbinas de gas por una de vapor) tal como lo realizaron Herrera y Méndez [4] donde no sólo incluyeron el análisis exergético, sino que, además realizaron el análisis de propagación de irreversibilidad. Así, la presente propuesta muestra el análisis de la configuración 2-1. Adicionalmente, los HRSG cuentan con diversos módulos de transferencia de calor para diferentes etapas de precalentamiento de agua, recalentamiento y sobrecalentamiento del vapor.

La irreversibilidad, también llamada destrucción de exergía, es una forma de cuantificar la degradación en la calidad de la energía de los ciclos combinados. Cuando se comparan las condiciones de operación contra las condiciones de diseño, esta degradación implica un mayor consumo de combustible, o una disminución de la potencia eléctrica obtenida del sistema analizado. Más consumo de combustible implica más emisiones de CO_2 al medio ambiente, por lo cual, en este trabajo se incluye la evaluación de integrar un sistema de captura de CO_2 y observar cómo es la disminución de eficiencia del sistema global considerando ese sistema de captura y cuáles son las implicaciones en términos de irreversibilidad local.

Por otro lado, cualquier proceso exergético va perdiendo eficiencia con el paso del tiempo, sin embargo, el análisis exergético hace el análisis a través del llamado costo exergético (que es el inverso de la eficiencia exergética). Es importante para el estudio medir las desviaciones de ambos comportamientos de diseño vs operativo en la cantidad de destrucción a fin de evaluar el incremento de costo exergético.

 ISSN: 2007 8102

Metodología

Sistema térmico analizado

La configuración, objeto de estudio de este trabajo, es un ciclo combinado que consta de dos turbinas de gas marca Westinghouse modelo W 501 D5, con potencia nominal a nivel del mar en condiciones ISO de 99.0 MW; por una turbina de vapor con 113 MW de capacidad nominal. El análisis comparativo considera mostrar principalmente las turbinas de gas, la caldera de recuperación, el ciclo de vapor (SC) así como el sistema de captura de CO_2 (CS) el cual utiliza como sustancia de trabajo MEA (Monoetanolamina). Este tipo de estudios se han retomado a ultimas fechas en los trabajos de Strojny y Subramanian [5]–[6]. El esquema del GTCC se muestra en la Figura 1. El análisis termodinámico del ciclo de Brayton es modelado como aire húmedo y gases de combustión, el proceso de expansión maneja el flujo másico de gases de combustión y el proceso de compresión el flujo másico de aire húmedo de entrada. En la Tabla 1 se pueden observar las condiciones de las turbinas tales como temperaturas, eficiencias, así como los parámetros más relevantes a considerar.

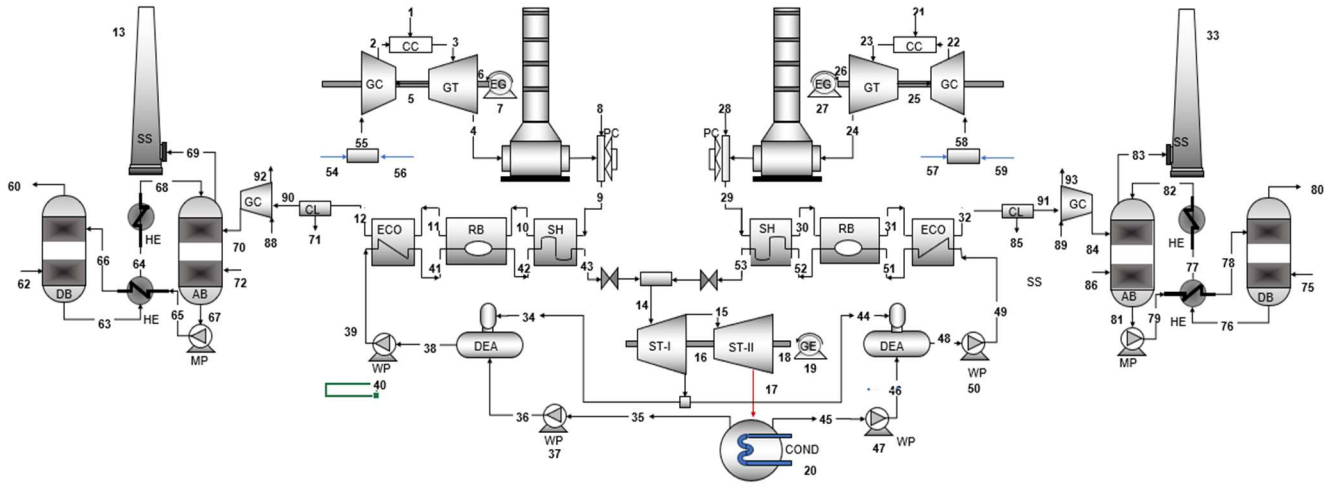


Figura. 1. Ciclo combinado configuración 2-1 + 2 CS

El sistema de captura de CO_2 consiste en un absorbedor (AB), un desorbedor (DB), dos intercambiadores de calor y una bomba de recirculación, inicialmente se requiere un preenfriador (CL) ya que por la alta temperatura la compresión de los gases consumiría una gran cantidad de energía, el proceso de compresión se realiza en etapas.

Consideraciones del modelo

El modelo considera aire húmedo y es importante para determinar la cantidad de agua que llevan los gases de combustión a la entrada de la GT, ya que se produce agua de la reacción química en la CC y la cantidad de energía de esa agua en forma de vapor es representativa en el cálculo de la entalpía, entropía y exergía de los gases, por lo tanto, incide directamente en la potencia mecánica de la GT. Las entalpías de gases y aire se consideran con calores específicos variables con la temperatura.

El análisis Orsat de los gases de salida de la SS, considera O_2, N_2, CO_2 H_2O, Ar, en la parte de diseño las eficiencias de los dispositivos mecánicos se han asumido constante de acuerdo con la información del prontuario de la planta de ciclo combinado, y para la parte operativa los datos fueron obtenidos de los tableros de control y de instrumentos de medición puntuales durante un levantamiento realizado, por otra parte, las eficiencias

 ISSN: 2007 8102

actuales han sido calculadas de acuerdo con la potencia y parámetros tomados del levantamiento a la planta en cuestión.

Condiciones del ciclo combinado con sistema de captura (GTCC + CS)

El modelo del ciclo combinado se desarrolló en dos condiciones, la primera de diseño, ajustando los parámetros a las condiciones de sitio, y la segunda, a la condición operativa de acuerdo con los datos del levantamiento realizado en la instalación. Ambas condiciones toman el mismo estado de referencia, se puede observar parte de los datos principales en la Tabla 1.

Tabla 1 – Condiciones operativas en sitio CCGT+CS.
Datos de la central

Variables	Rango de valores
Temperatura de entrada a la GT	1409 K
Temperatura del aire a la entrada del GC	287 K
Temperatura ambiente	298.15 K
Humedad relativa (aire ambiente)	47 %
Suposiciones	
Eficiencia isoentrópica aparente GT	95%.
Eficiencia isoentrópica aparente GC	92%
Flujo másico (aire por cada TGG)	258.8 kg/s
Entalpía de los gases (salida de la GT)	569.5 kJ/kg
Temperatura de los gases en la chimenea	493.15 K
Temperatura del vapor (salida del HRSG)	773.15 K
Presión del vapor (salida del HRSG)	48.26 bar
Flujo másico (vapor a ciclo Rankine)	50.45 kg/s
Poder calorífico del combustible (mínimo)	46,285 kJ/kg
Generación eléctrica neta (2 GT+ST)	249,155 kW

Propiedades termodinámicas del CCGT +CS

La determinación de las propiedades del aire parte del análisis de la mezcla de gases que incluye O_2, N_2, Ar y vapor de H_2O a la presión parcial correspondiente para la determinación de los balances de masa, energía y exergía, así como para la determinación de entalpía en los estados termodinámicos. Se determinan las propiedades requeridas de acuerdo con las siguientes expresiones.

Entalpía específica (*h*) [kJ/kmol]:

$$h - h_0 = \sum_{i=1}^{n} y_i \int_{T_0}^{T} Cp(T)dT + y_{H_2O}\left(\int_{T_0}^{Tg} C(T)dT + h_{fg} + \int_{T_g}^{T} Cp(T)dT\right) \quad (1)$$

 ISSN: 2007 8102

Entropía específica (*s*) [kJ/kmol-K]:

$$s - s_0 = \sum_{i=1}^{n} y_i \int_{T_0}^{T} \frac{Cp(T)}{T} dT + y_{H_2O} \left(\int_{T_0}^{T_g} \frac{C(T)}{T} dT + s_{fg} + \int_{T_g}^{T} \frac{Cp(T)}{T} dT \right) \quad (2)$$

Exergía física específica (*b*) [kJ/kmol]:

$$b - b_0 = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (3)$$

Balances de energía

Con el modelo de la Figura 1 se realizaron inicialmente los balances de energía, determinando las entalpías y entropías, además de las transferencias de energía: calor y trabajo, la potencia mecánica considerando las eficiencias isoentrópicas de los compresores, turbinas y bombas incide en la potencia eléctrica que debe suministrarse a los equipos o lo que nos entrega. Para el caso del sistema de captura, se determinó la potencia de la compresión para el transporte de los gases de combustión al sistema de captura.

Dentro de los principales rubros a destacar está el incremento de la cantidad de agua (producida por la reacción química en la CC) que llevan los gases de combustión y en el sistema de captura la carga térmica de los intercambiadores de calor y potencia de compresión. Con los balances de energía se calculan las potencias mecánicas y eléctricas para los equipos WP, GC, GT, EG.

Cálculo de exergías

Para el cálculo de las exergías de cada flujo de materia se debe tener en consideración el estado ambiente de referencia, y que varios de los flujos son mezclas de gases a excepción del agua o vapor del ciclo Rankine, el aire húmedo se consideró como una mezcla con la siguiente composición volumétrica: 20.924% O_2, 78.112% N_2, 0.934% Ar, y 1.45% H_2O correspondiente a una humedad relativa de 47% a una presión atmosférica de 78.32 kPa. Los gases de combustión se consideraron con composición volumétrica de: 3.23% CO_2, 13.64% O_2, 74.11% N_2, 8.13% H_2O, 0.89% Ar, con las correspondientes entalpías y entropías de mezcla utilizando expresiones como la ec (2) y ec (3). Tal como lo menciona Herrera-Méndez [4], debe trabajarse con dos bases de cálculo, inicialmente molar por la reacción química y posteriormente calcular composiciones en base masa.

Se considera que el combustible no tiene exergía física y que la exergía química de combustible b_{comb}, se calcula tomando como base gas natural con un Poder Calorífico Inferior (PCI) de 46,285.57 kJ/kg:

$$\frac{b_{comb}}{PCI} = \left(1.033 + 0.0169 \frac{\beta}{\alpha} \right) - \left(\frac{0.0698}{\alpha} \right) \% \quad (4)$$

Donde α y β son las fracciones atómicas de carbono e hidrógeno que exige la fórmula (4) de acuerdo con la composición química del combustible. El resultado muestra una exergía química de 46,660.45 kJ/kg. La expresión puede encontrarse en el capítulo 13 del libro de Jacobo et al. [7]

Balances de exergía

Los balances de exergía nos brindan la posibilidad de determinar la irreversibilidad local en un proceso, el resultado del balance exergético es la destrucción de exergía $\dot{B}d$ ya que, a diferencia de la energía, la exergía no es conservativa. $\dot{B}d$ es una medida de la disminución en la calidad de la energía de un flujo energético, es decir, vamos perdiendo capacidad de hacer trabajo conforme se van realizando los procesos.[8]

$$\dot{B}_{entrante} - \dot{B}_{saliente} = \dot{I} = \dot{B}d > 0 \quad (5)$$

 ISSN: 2007 8102

El balance de exergía del ciclo combinado, indica que en un proceso real siempre existirá una degradación en la calidad de la energía. [8] Esto puede expresarse para un sistema abierto sin acumulación con el máximo nivel de agregación del ciclo combinado como:

$$\sum_{i=1}^{n} \dot{B}d_i = \dot{B}d_{GTCC} \tag{6}$$

La eficiencia exergética estaría definida como la irreversibilidad total del ciclo combinado, entre el total de los recursos utilizados en este caso tenemos prácticamente entre cuatro o cinco corrientes de combustible. Depende de si esa eficiencia es para el sistema con captura o sin captura de CO_2, en su forma general sería de la siguiente la forma:

$$\eta = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \dot{B}d_i}{\sum_{i=1}^{n} \dot{B}d_{Combustible,i}} \tag{7}$$

Resultados y discusión

Valores de exergías

Considerando el mejor rendimiento en la condición de diseño de los ciclos combinados estos buscan compensar el incremento de pérdidas a través de un mayor consumo de combustible en otras palabras el combustible se utiliza para cubrir el incremento de la irreversibilidad $\dot{B}d$, por la degradación natural de los ciclos de potencia. En este ciclo en particular el incremento en el consumo de combustible relacionado con el comportamiento operativo, en la GT-01 fue de 1380.16 kW y el la GT-02 de 1334.15 kW, el incremento para la poscombustión (flujos 8 y 28 en la Figura 2) consigue producir la misma potencia en los generadores eléctricos de las GT en ambas condiciones, siendo la producción eléctrica neta de 72.014 MW para EG-01 y de 71.22 MW para el EG-02, pero no así en el EG-03 de la ST donde se presenta una disminución de potencia eléctrica de 4,979.21 kW.

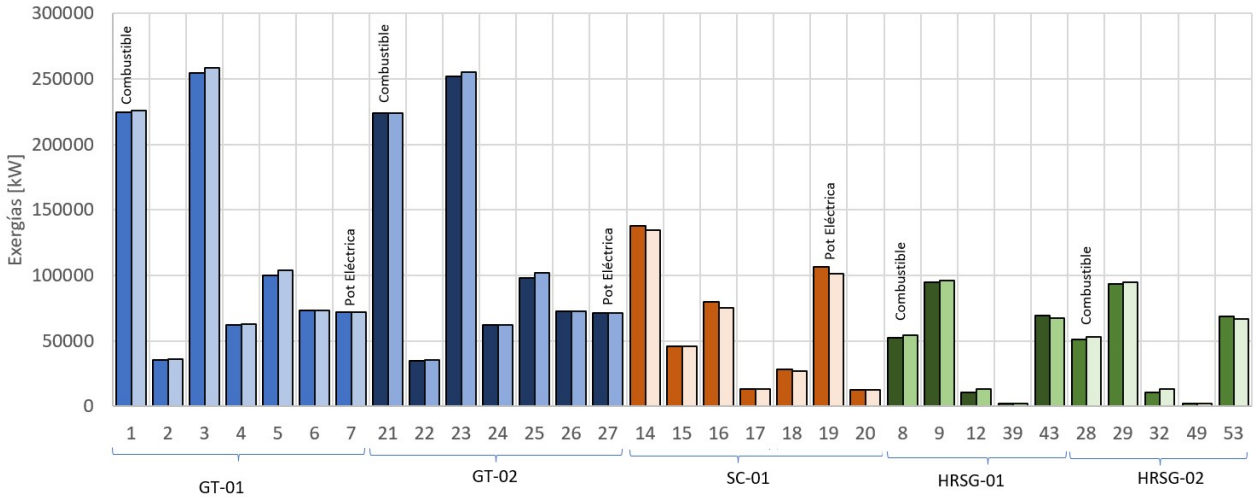


Figura 2. Exergías principales correspondientes a cada ciclo. Condiciones de diseño barras color obscuro y condición operativa barras color claro. del CCGT

Los valores de exergía más altos de acuerdo con la Figura 2, corresponden a las corrientes 3 y 23, que pertenecen al flujo de gases de combustión con alta temperatura y presión que ingresa al proceso de expansión de cada GT, sin embargo el tener más recurso exergético en la entrada de las GT´s no garantiza que la producción de potencia

 ISSN: 2007 8102

mecánica sea mayor, esto lo podemos ver en la corriente 3 que tiene un mayor recurso en la condición operativa que la de diseño, pero al comparar con la corriente 6 y 7 vemos que la producción mecánica y eléctrica respectivamente son iguales en la condición de diseño que la operativa a pesar de tener más capacidad para realizar trabajo útil.
Esto puede complementarse con la cuantificación de la irreversibilidad local a través de la exergía destruida. La figura 2 muestra los valores correspondientes a cada ciclo y equipo. Los colores obscuros hacen referencia a las condiciones de diseño, y los colores claros a la condición de operación. La numeración indica la corriente del proceso de la figura 1.

Exergías y eficiencia GTCC + CS

En lo que se refiere al sistema de captura, el resultado más importante es la cantidad de potencia eléctrica requerida para realizar el proceso de transporte de gases de compresión a los sistemas de captura de CO_2, al contar con dos HRSG se debe tener igual número de sistemas de captura. Los resultados obtenidos son que requieren de 9986 kW para SC-01 y de 9874.22 kW para el SC-02 en la condición de diseño contra SC-01 con 10135,81 kW y SC-02 100,014.77 kW en la condición operativa.

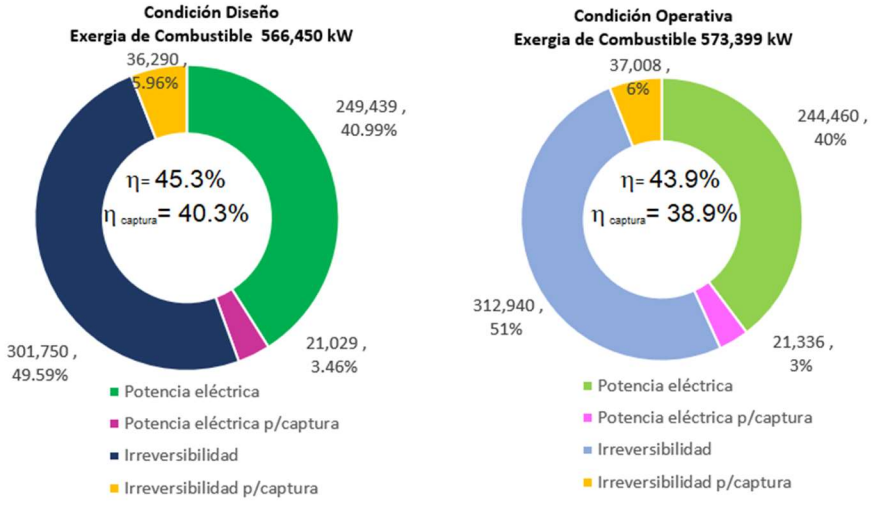


Figura 3. Comparativa de comportamiento de exergías de recursos de ciclo combinado incluido el sistema de captura de CO_2

La Fig. 3 muestra los resultados de la eficiencia exergética del ciclo combinado en ausencia de un sistema de captura en condición de diseño es de 45.2 y de forma operativa de 43.9%, lo cual representa una disminución de 1.3%. Con sistema de captura la eficiencia pasa de 40.3% a 38.9% con una disminución en eficiencia del 1.3%.
Para el sistema de captura se requiere combustible adicional para los calentamientos correspondientes y la potencia eléctrica para captura (tonos rosas), prácticamente es el consumo que requiere el compresor para ingresar los gases de combustión al sistema, por lo tanto, es un consumo no una producción eléctrica.

Destrucción de exergía y comparativa del sistema CCGT +CS

Todos los equipos de un ciclo de potencia son irreversibles, este sistema es tan complejo en su estructura que se presentan precisamente los dos comportamientos como podemos ver en la figura 4 donde se muestran los valores y la comparativa clasificando la destrucción por ciclo además que por el orden de magnitud la comparativa puede realizarse directamente entre equipos iguales de cada ciclo de gas.

 ISSN: 2007 8102

La comparativa muestra que los sistemas GT-01 y GT-02 se comportan prácticamente igual en sus valores de $\dot{B}d$, y los CG-01 y CG-02 son los equipos que presentan la mayor irreversibilidad, con un valor de 64802.39 kW y de 67860.63 kW respectivamente esto representa alrededor del 44% de la destrucción de exergía total del ciclo.

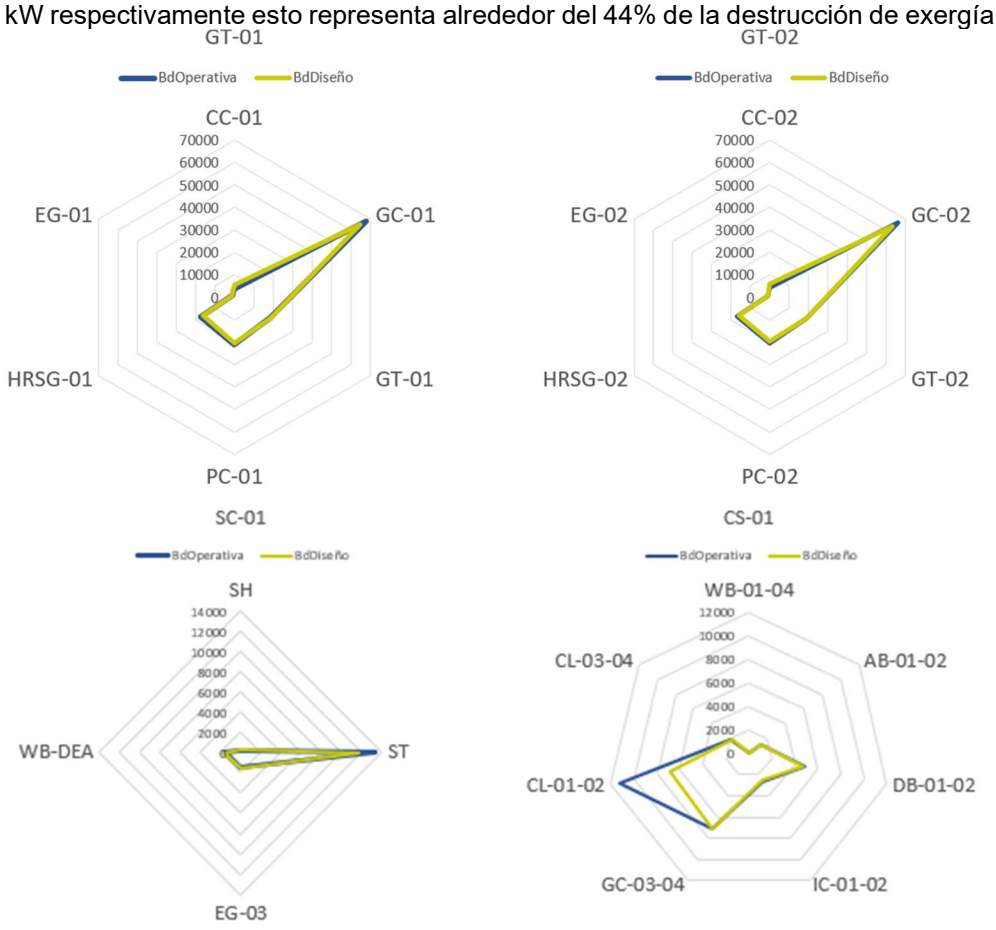


Figura 4. Comparativa de destrucción de exergía de la condición de diseño vs la condición operativa dividida por ciclo y sistema de captura.

Las TG´s presentan destrucciones de alrededor de 18,638 kW a la condición de diseño y disminuye su destrucción en 95.38 kW de acuerdo con el valor operativo, esto se debe a que maneja más flujo másico en la parte operativa.

La ST también presenta una variación en la destrucción como podemos verlo y representa alrededor del 7% de destrucción total del GTCC. En lo que se refiere al sistema de captura se muestra claramente que el CS-01 es el que presenta la mayor diferencia de destrucción en el equipo de enfriamiento con un valor de 11275 kW en la parte operativa a un valor de 6903.96 kW en el diseño.

En un análisis de exergía lo importante no es determinar la irreversibilidad local de cada CC sino su comparativa en la condición de diseño vs la condición operativa, donde el panorama es diferente, ya que hay equipos que presentan un decremento de irreversibilidad. La eficiencia exergética de sistema que incluye el sistema de captura prácticamente 5%, al sistema que no captura CO_2, esto significa un consumo adicional de combustible de 15262 kW y de destinar 21029 kW de potencia al sistema de captura.

Trabajo a futuro

El análisis exergético es la base para el análisis exergoeconómico, donde se obtienen los costos exergéticos, a través de las proposiciones de costo que la misma teoría dicta, se menciona que lo importante no solo es la

 ISSN: 2007 8102

cantidad de exergía contenida en el producto obtenido, o la destrucción de exergía de forma local que tienen un equipo, lo principal es la cantidad de exergía que ha sido invertida para para producir un flujo exergético.

Conclusiones

Para este ciclo en particular no hay una diferencia significativa en el comportamiento de ambos ciclos de gas, ya que prácticamente los valores de exergía y destrucción de exergía en cada uno de los equipos se encuentran en el mismo orden de magnitud, sin embargo esto no quiere decir que no puedan realizarse mejoras en este ciclo el cual presenta una eficiencia exergética baja, el compresor se presenta como el equipo donde debe trabajarse ya que representa el 44% de la destrucción total del ciclo combinado.

En otros estudios se menciona que cuando se tiene un ciclo combinado con varias turbinas de gas por uno de vapor, la producción eléctrica asociada a esta turbina depende del funcionamiento de los ciclos de gas por ello las diferencias en la generación eléctrica de este equipo.
Por último, es significativa la diferencia de eficiencia del ciclo combinado al contar con un sistema de captura de CO_2 con prácticamente el 4.93%, además el incremento de recursos tanto térmicos como eléctricos (alrededor del 2.7% y 8.4% respectivamente) y el incremento de irreversibilidad alrededor del 37,000 kW.

Agradecimientos

Artículo realizado gracias al Programa UNAM-PAPIIT IT101923,

This work was supported by UNAM-PAPIIT IT101923.

Referencias

[1] Thamir K. Ibrahim; (2018). A comprehensive review on the exergy analysis of combined cycle power plants, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **(90)**, July, Pages 835-850.

[2] Khan M. N. et all. (2017). Thermodynamic Optimization of New Combined Gas/Steam Power Cycles with HRSG and Heat Exchanger. *Arabian Journal for Science and Engineering*, **(42)**, 4547–4558.

[3] Herrera-Toledo R., Sánchez A; and Sánchez G., (2018). Análisis de irreversibilidad de un ciclo de gas con compresión húmeda. *Memorias del XXIV Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, (TF), 70-78.

[4] Herrera R.; Méndez F. (2018). An advanced exergy analysis based on the dysfunction and malfunction methodology for a combined cycle power plant: a Mexican case study. *International Journal of Exergy (IJEX)*, (27), 105-120.

[5] Strojny M., Gładysz P., Hanak D, Nowak, W., (2023) Comparative analysis of CO_2 capture technologies using amine absorption and calcium looping integrated with natural gas combined cycle power plant, Energy Volume 284, 1

[6] Subramanian N, Madejski P (2023) Analysis of CO_2 capture process from flue-gases in combined cycle gas turbine power plant using post-combustion capture technology Energy Volume 282, 1

[7] Jacobo V., Ayala A., Castro L., González L. Márquez U., Ramírez E., Ruiz O. (editores). (2022) La Ingeniería Mecánica Impulsando el Desarrollo Nacional y la Innovación. Ed. Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica A.C. ISBN 978-607-96746-7-0, Ciudad de México

[8] C. Torres (1998). *Termoeconomía: Curso de Doctorado*, Zaragoza, Spain: *Department of Mechanical Engineering*, University of Zaragoza.

 ISSN: 2007 8102

Sistemas Domóticos Alimentados con Energía Fotovoltaica

Guadalupe García Toribio[1], Heriberto Hernández Rodríguez [2], José Luis Gutiérrez García[3],*
[1]Academia de Ingeniería en Informática, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II s/n Aire Libre, Teziutlán, Puebla, México.
**guadalupe.gt@teziutlan.tecnm.mx*
[2]Academia de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II s/n Aire Libre, Teziutlán, Puebla, México.
heriberto.hr@teziutlan.tecnm.mx
[3]Academia de Ingeniería en Animación Digital y Efectos Visuales, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II s/n Aire Libre, Teziutlán, Puebla, México.
jose.gg@teziutlan.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Eléctrica y Electrónica*

Resumen

La erradicación de la pobreza y el desarrollo sostenible son objetivos clave de la ONU desde 2015. Aunque el crecimiento poblacional aumentará la demanda de energía accesible, la dependencia mundial de combustibles fósiles está causando crisis climáticas y económicas. Por tanto, se necesita un cambio hacia fuentes de energía alternativas, como la solar y eólica, para lograr una producción energética sostenible y asequible. El proyecto propuesto busca fortalecer la producción eléctrica con dos objetivos: proporcionar energía limpia y renovable para viviendas con servicios básicos, y automatizar estos servicios mediante programación y domótica para optimizar el uso eficiente de recursos. Se utilizarán dispositivos de energía fotovoltaica, sensores y técnicas de aprendizaje automático para ajustarse según los hábitos de los habitantes, beneficiando tanto a comunidades con necesidades básicas como a las viviendas con servicios establecidos. En última instancia, este proyecto contribuirá al logro de los objetivos planteados para el año 2030.

***Palabras clave**: Energía,* fotovoltaica*, renovable, vivienda.*

Abstract

The UN's 2015 goals of poverty eradication and sustainable development require transitioning from fossil fuels due to climate and economic challenges from population growth. This paper introduces a project to enhance energy production, focusing on clean, renewable power for basic needs and resource-efficient automation. By utilizing devices, solar energy, sensors, and machine learning, the project adapts to residents' habits, benefitting both basic and established services. The initiative aligns with 2030 UN objectives. This project envisions an autonomous, sustainable energy system applicable in rural areas for automated water pumping, lighting, and networking. Its core goal is efficient residential optimization. A photovoltaic renewable energy demotic project can lower costs, promote clean energy, and encourage sustainability. Industries can adopt these systems for controlled resource management, with stages including installation, programming, and testing. Materials like solar panels, inverters, and batteries ensure efficient energy management.

***Key words**: Energy, photovoltaic, renewable, housing.*

Introducción

Existen múltiples motivos para considerar un sistema autónomo y sustentable que utilice energía libre. Este enfoque podría ser aplicado en entornos rurales, donde las condiciones son desafiantes, por ejemplo, para automatizar el bombeo de agua potable o proveer iluminación en ausencia de una red eléctrica convencional como la de la Comisión Federal de Electricidad, especialmente en la noche. Además, podría abarcar servicios de dispositivos inalámbricos para llevar internet. En esencia, el propósito de este proyecto es crear un entorno controlado en hogares que optimice recursos de manera automática, adaptándose a diversas situaciones basadas en las necesidades de los residentes.

Un proyecto de energía renovable fotovoltaica de sistemas domóticos ofrece la oportunidad de contribuir al cuidado del medio ambiente mediante energías limpias, al tiempo que ayuda a los ciudadanos a ahorrar en tarifas eléctricas controladas y fomentar nuevas formas de sostenibilidad [1].

Las industrias podrían beneficiarse al probar este tipo de sistemas en ambientes similares para contribuir al desarrollo productivo y explotar recursos de manera controlada mediante la domótica. Aunque la industria ya cuenta con algunos mecanismos de este tipo, las tarifas de energía y adquisición son altas. Dado el alto consumo energético en instalaciones industriales, se evidencia la necesidad de alternativas para atender la demanda, y un enfoque investigativo controlado puede ser clave en abordar este problema.

Un sistema básico de energía fotovoltaica podría reducir costos de servicios municipales en ayuntamientos, además de abaratar sistemas de riego, la ganadería, la avicultura, y la electrificación de establos, comercios y servicios. También permitiría llevar electricidad a comunidades remotas y promover su desarrollo.

La construcción de un sistema de energía renovable y automatizado implica familiarizarse con conceptos eléctricos y electrónicos, distribución de señales, medición de voltajes, energía solar, instalación de celdas fotoeléctricas, y la programación de microcontroladores y Arduino. Se requiere comprender la comunicación entre dispositivos eléctricos para automatizar hogares y extraer datos valiosos. La garantía de un sistema siempre activo demanda numerosas pruebas y evaluaciones antes de implementar el proyecto final, que incluye etapas como instalación de equipo, programación de domótica, pruebas y puesta en marcha.

La instalación de equipos requiere conocimientos técnicos en paneles solares, ángulos de inclinación, capacidad de celdas según la demanda energética, configuración de controladores y capacidad de inversores para amplificar el voltaje. Esto garantiza la seguridad de los usuarios y la integridad de los dispositivos utilizados.

La programación de domótica y electrónica separa funciones de los usuarios para cuidar recursos, basándose en ahorro, eficiencia y generación energética. Esta automatización aísla los riesgos de la instalación eléctrica en el hogar y facilita tareas diarias, como la automatización del bombeo de agua, iluminación, seguridad con sensores y alarmas, cierre automático de puertas y optimización energética. Todas estas características de automatización se pueden controlar automáticamente a través de un panel central en lugar de manejarlas dispositivo por dispositivo.

Metodología

Materiales

En el procedimiento para la energización de sistemas fotovoltaicos en viviendas, se utilizan varios materiales esenciales. Primero se emplea un conjunto de paneles solares adaptados según las necesidades de la vivienda, que pueden variar de 150 a 700 Watts para servicios como iluminación. Complementando el sistema, se utilizan dispositivos inversores de energía y baterías de ciclo profundo para convertir la corriente continua en corriente alterna y almacenar energía. Un regulador de carga solar controla el flujo de energía entre los paneles y las baterías, asegurando su recarga óptima. Además, se implementa un administrador domótico que gestiona los recursos, controlando sistemas de bombeo de agua, luces mediante sensores de presencia y registros de datos en bitácoras basados en Arduino y Raspberry Pi. Los sensores captan información del entorno para su procesamiento en sistemas electrónicos [2]. Estos materiales permiten una gestión eficiente y sostenible de la energía en las viviendas.

Preparación

Se realiza una configuración de sistema fotovoltaico para la energización de los sistemas, compuesto por un conjunto de paneles solares según sea el grado de las necesidades de la vivienda en la producción eléctrica, que puede variar de acuerdo con los servicios que requiera como, por ejemplo: iluminación básica de los 150 Watts hasta los 700 Watts [3].

Este sistema lo complementan dispositivos como inversores de energía, o batería de ciclo profundo, así como fuentes de carga. Los dispositivos domóticos desarrollados se encargan de la administración de este sistema es decir tendrán la función de un administrador de recursos, dependiendo de las necesidades básicas de la vivienda, se realiza la configuración del sistema en las siguientes partes.

ISSN: 2007 8102

Desarrollo

Instalación del kit solar.

Un conjunto solar fotovoltaico está compuesto por diversos elementos que le posibilitan operar como captador de energía. Las células solares son uno de estos componentes, y tienen la tarea de recibir toda la radiación solar posible para convertirla en electricidad de corriente continua [4].

Es en este instante cuando los inversores, transforman esa corriente continua en corriente alterna lista para ser consumida en el hogar. En el caso de sistemas diseñados para autoconsumo, los inversores están conectados a la red eléctrica de la vivienda, como punto de partida en la distribución de la energía en el domicilio y son los encargados de suministrar energía a los sistemas domóticos, al bombeo de agua, a la refrigeración de alimentos, o a cualquier otro sistema necesario que se esté utilizando.

El inversor CA.

El inversor de Corriente Alterna (CA) es el encargado de cambiar la corriente continua proveniente de los paneles solares en corriente alterna sinusoidal. Los convertidores pueden manejar tensiones de entrada de 12V, 24V o 48V cuando se utilizan en sistemas aislados, es decir, transforman ese voltaje en tensiones de 110v o 220v. Los que están diseñados para sistemas conectados a la red eléctrica, la tensión de entrada suele ser más alta, ya que se busca alcanzar tensiones más elevadas [5]. Para los propósitos de esta investigación, se optará por el sistema autónomo y sostenible, de modo que no haya dependencia del suministro de la red eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad.

Controlador.

El controlador de carga solar es un componente electrónico que se coloca entre los paneles solares y las baterías. Su propósito es regular el flujo de energía que se dirige de los paneles hacia las baterías. Supervisa tanto la intensidad como el voltaje que estas reciben, con el objetivo de asegurar una recarga óptima que no dañe las baterías; también tiene la función de extender su vida útil [6].

Durante el proceso de carga de las baterías, se atraviesan tres etapas —bulk, absorción y flotación— de acuerdo con los niveles de carga. Este dispositivo se encarga de equilibrar y sincronizar estas fases en los momentos apropiados, todo esto para garantizar que la batería, un elemento delicado, no se deteriore prematuramente.

Otras funciones que tiene el regulador son:

1) Prevenir la descarga de las baterías durante la noche, cuando no reciben energía de los paneles solares.
2) Suministrar información completa sobre el sistema fotovoltaico, como el voltaje de las baterías, la cantidad de energía generada y el nivel de carga, entre otros datos.
3) Actuar como un mecanismo de protección contra descargas profundas cuando hay dispositivos que consumen corriente continua directamente de las baterías.

Baterías de Ciclo Profundo.

Las baterías de ciclo profundo para sistemas solares almacenan energía para ser recargadas por fuentes de corriente eléctrica a través de instalaciones fotovoltaicas. Acumulan esta energía para su uso durante la noche o en ausencia de otras fuentes de energía [7]. La principal diferencia entre las baterías de ciclo profundo para sistemas solares y las de ciclo corto radica en su aplicación.

En sistemas de iluminación, las cargas aplicadas a las baterías suelen ser pequeñas en comparación con su capacidad total. Aquí se utiliza energía por debajo de la capacidad del acumulador. Por ejemplo, una batería de 65 amperios consume 6 amperios en 10 horas. Esto es por lo que se llaman baterías de ciclo profundo, ya que pueden descargarse hasta un 90%. Están diseñadas para descargarse casi por completo y perder regularmente entre el 50% y el 80% de su capacidad. Estas baterías son las que alimentarán los sistemas de iluminación y servicios básicos en el hogar, cargadas por los paneles solares a lo largo del día.

Administrador domótico Raspberry Pi.

Una Raspberry PI es un dispositivo del tamaño de una tarjeta de crédito, compuesto por una placa base que integra diversos componentes de una computadora como un procesador ARM de hasta 1500 MHz, una unidad gráfica y una memoria RAM de hasta 8 GB [8]. Este equipo brinda versatilidad al proyecto ya que, además de ser

ISSN: 2007 8102

un ordenador compacto, ofrece la capacidad de supervisar otros dispositivos inteligentes, al igual que Arduino, pero desde la perspectiva de una interfaz de usuario.

Este dispositivo es una selección de herramientas que supervisará la residencia, su objetivo es gestionar los recursos generados por el sistema solar, administrar la energía eléctrica según las necesidades del hogar, como ejemplo, supervisar el sistema de bombeo de agua en base a mediciones del indicador de almacenamiento, controlar la iluminación nocturna y diurna; será programado de acuerdo con las condiciones de luminosidad de la casa usando sensores de presencia [9].

Bitácoras.

Cuando el sistema esté operando, será necesario tener un registro capaz de recolectar información de diversos usos de los dispositivos y permitir la visualización de los perfiles de la residencia y sus habitantes [10]. Para lograr esto, se creará un aparato basado en Arduino que, a su vez, capturará todos los datos recopilados por los sensores y los almacenará en una base de datos de código abierto.

Arduino y microcontroladores.

Arduino se emplea como un microcontrolador cuando posee un programa cargado desde una computadora y opera de manera autónoma, dirigiendo y alimentando dispositivos específicos y tomando decisiones conforme al programa descargado, mientras interactúa con el entorno físico mediante sensores y actuadores [8].

Los microcontroladores son el núcleo del sistema de automatización del hogar. Se utilizan para programar y controlar dispositivos, sistemas y procesos en el hogar, como la iluminación, la climatización, las persianas, la gestión de energía y otros dispositivos domésticos. Permiten automatizar tareas diarias y crear escenarios personalizados para mejorar la comodidad y eficiencia del hogar. Actúan como el procesador del sistema domótico, permitiendo la comunicación y coordinación entre diferentes dispositivos y sensores. Esto facilita la creación de un ecosistema de dispositivos interconectados que pueden trabajar juntos de manera inteligente y eficiente, también se encargan de recopilar datos de sensores de temperatura, luz, movimiento y el sensor de corriente. Luego, estos datos se pueden procesar, almacenar y transmitir a través de redes de comunicación como Wi-Fi o Ethernet, para que los usuarios puedan monitorear y controlar el sistema de forma remota a través de dispositivos móviles u ordenadores.

Sensores.

Es un dispositivo diseñado para captar una señal de su entorno y traducir esa información que recibe. Esta información captada se transforma normalmente en un impulso eléctrico que luego es procesado por una serie de circuitos que generan una acción previamente establecida en un aparato, sistema o máquina [11]. Es un artefacto que en algunas aplicaciones convierte un tipo de información en otro que se desea medir o controlar.

Los sensores utilizados en la instalación son versátiles, respondiendo a cambios en las condiciones físicas alterando sus propiedades eléctricas. Como resultado, estos dispositivos industriales dependen en gran medida de sistemas electrónicos para capturar, analizar y transmitir información sobre el entorno doméstico.

Los sensores de temperatura monitorizan constantemente las variaciones climáticas en el hogar, permitiendo un control preciso del sistema de climatización. Los sensores de la bomba de agua supervisan la disponibilidad de agua y su uso eficiente, garantizando un suministro adecuado sin desperdicio. Los sensores de luz regulan la iluminación de manera inteligente, adaptándola a la luz natural y al horario del día. Por último, los sensores sónicos detectan la presencia de personas en diferentes áreas de la casa, lo que permite activar o desactivar dispositivos y sistemas automáticamente según las necesidades.

Este sistema electrónico opera en base a los principios de los circuitos eléctricos, lo que resalta la importancia de gestionar el flujo de energía eléctrica de manera eficiente. Por lo tanto, un sensor convierte estímulos como el calor, la luz, el sonido y el movimiento en señales eléctricas. Estas señales se transmiten a través de una interfaz que las convierte en un código binario y las envía a una computadora para su procesamiento.

Acondicionamiento de señal.

Se utiliza para la adquisición y procesamiento de señales eléctricas o electrónicas, que tiene como objetivo mejorar la calidad y la precisión de una señal antes de su uso. Esto implica ajustar, filtrar, amplificar, atenuar o modificar la señal en función de las necesidades específicas de la aplicación. El acondicionamiento de señal se

 ISSN: 2007 8102

utiliza comúnmente para eliminar el ruido, amplificar señales débiles, adaptar niveles de voltaje, convertir señales analógicas en digitales, y asegurar que la señal esté dentro de los rangos adecuados para su procesamiento [10].

Este proceso asegura que la señal eléctrica cruda, que podría ser ruidosa o inadecuada para su medición directa, sea preparada antes de ser registrada por el Arduino hacia el Raspberry Pi. Los sensores que incluye el acondicionamiento de señal convierten la información eléctrica en una señal que puede ser interpretada por el sistema de adquisición de datos. Se genera una señal analógica proporcional a la corriente eléctrica en el circuito. La medición se realiza a través del Arduino hacia el Raspberry Pi, el Arduino está encargado de acondicionar la señal antes de transmitirla al Raspberry Pi.

A continuación, en la Figura 1, se muestra un diagrama de conexión de los componentes previamente mencionados:

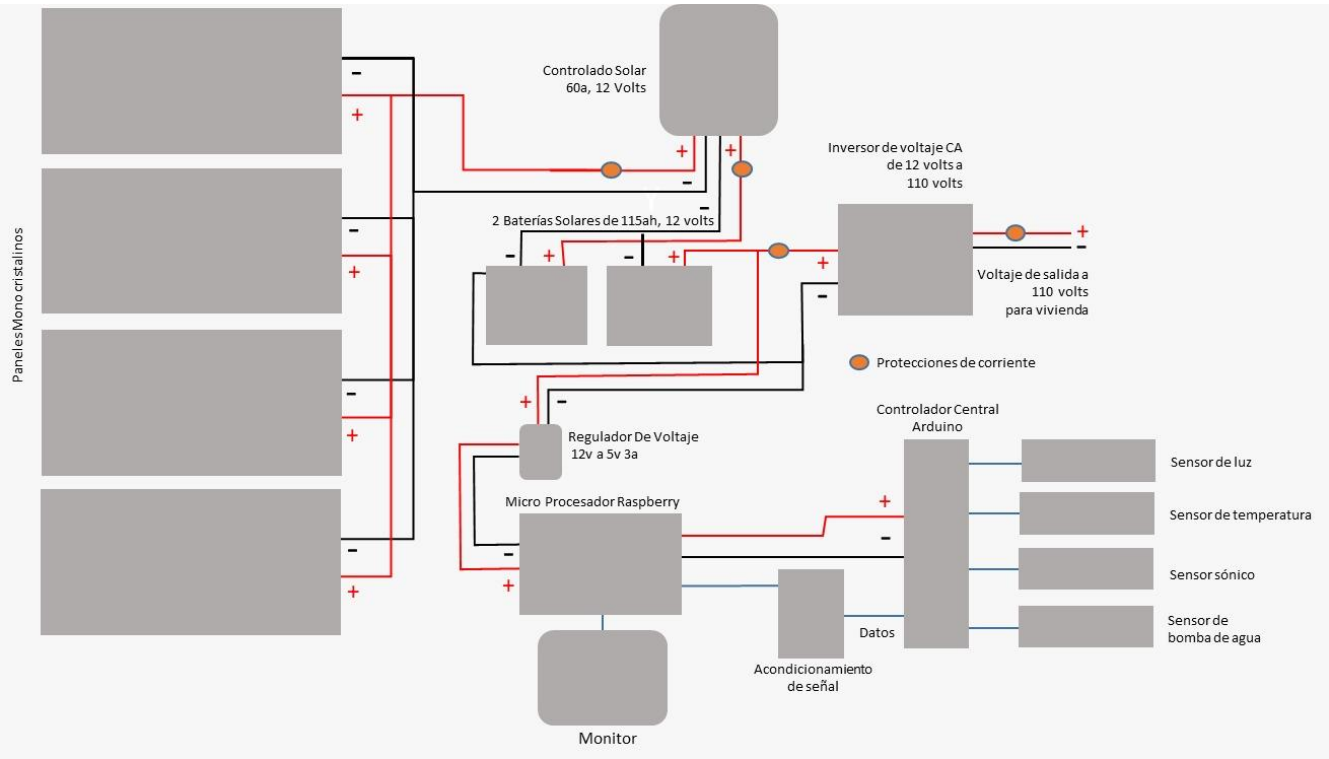


Figura 1. Diagrama de instalación del sistema domótico con energía fotovoltaica.

Resultados y discusión

Primeros resultados

En este estudio, se realizó una comparación mensual del consumo de kWh en dos condominios distintos, uno alimentado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y otro equipado con el sistema domótico de energía fotovoltaica. Esta concentración de datos analiza las diferencias en el consumo eléctrico entre ambas instalaciones y evalúa la eficiencia de la generación de energía solar. La medición del consumo de energía se realizó de manera simultánea en ambos condominios durante el año 2022, abarcando todos los meses del año.

En dicha medición se emplearon medidores de energía eléctrica, en el condominio suministrado por CFE se recopilaron los registros generados por la misma empresa mensualmente. En el condominio con el sistema domótico de energía fotovoltaica se realizó la medición utilizando el acondicionamiento de señal que convierte la información eléctrica en una señal que es interpretada por el sistema de adquisición de datos y que se registra en las bitácoras.

 ISSN: 2007 8102

Se efectuaron mediciones mensuales del consumo de energía. Esto implicó registrar el valor total de kWh consumidos en cada condominio al final de cada mes. Se registraron las condiciones climáticas relevantes para evaluar su posible influencia en la generación de energía fotovoltaica. Esto incluyó datos de radiación solar, temperatura y condiciones meteorológicas generales.

Se recopilaron los datos de consumo mensual de kWh para ambos condominios a lo largo del año 2022. Se compararon los datos de consumo mensual entre el condominio alimentado por CFE y el condominio con energía fotovoltaica. Se calcularon las diferencias relativas y absolutas en el consumo de energía eléctrica. Se evaluó el rendimiento del sistema fotovoltaico instalado en el condominio con paneles solares. Esto incluyó el cálculo de la energía generada por el sistema y su comparación con el consumo del condominio. Se consideraron los datos climáticos y meteorológicos para comprender cómo las condiciones ambientales afectaron la generación de energía fotovoltaica. Los resultados específicos de esta medición variarán según las características individuales de cada condominio y su sistema fotovoltaico, así como las condiciones climáticas locales.

De acuerdo con lo observado en la Figura 2. El consumo de energía eléctrica en las instalaciones de la Comisión Federal de Electricidad se mantuvo constantemente en un nivel similar al promedio de una vivienda residencial. Sin embargo, tras la implementación de un sistema de energía fotovoltaica, se observó una notable reducción de aproximadamente el 25% en el consumo de energía eléctrica. Esta disminución es aún más significativa cuando se analiza desde una perspectiva financiera, ya que mientras el uso de la energía eléctrica generaba costos recurrentes por parte de la Comisión Federal de Electricidad, el aprovechamiento de la energía solar no conlleva ningún costo operativo directo.

Es importante destacar que este análisis se enfoca en la comparación de kilowatts consumidos y su impacto económico inmediato. Sin embargo, es relevante mencionar que esta evaluación no considera los aspectos relacionados con la inversión inicial para la instalación del sistema fotovoltaico ni los gastos de mantenimiento anuales. Estos factores también son esenciales para tener una comprensión completa de los beneficios y costos asociados con la transición hacia el uso de fuentes de energía renovable en lugar de depender exclusivamente de la red eléctrica tradicional. Los resultados específicos de esta medición variarán según las características individuales de cada condominio y su sistema fotovoltaico, así como las condiciones climáticas locales.

En la Figura 2, se muestra una tabla mostrando el consumo eléctrico mensual de una casa y la generación solar correspondiente a cada mes. Se puede observar que, incluso en los meses de mayor consumo eléctrico y durante eventos climáticos extremos, como enero y agosto, el sistema de energía solar sigue generando energía, lo que demuestra la capacidad de garantizar un suministro continuo de energía para necesidades básicas en momentos de alta demanda o posibles apagones.

Mes	Consumo CFE (kWh)	Costo CFE	Consumo Solar (kWh)	Costo solar
Enero	400	800	300	0
Febrero	380	760	320	0
Marzo	410	820	310	0
Abril	390	780	330	0
Mayo	380	760	290	0
Junio	420	840	310	0
Julio	450	900	340	0
Agosto	440	880	320	0
Septiembre	410	820	300	0
Octubre	380	760	290	0
Noviembre	390	780	310	0
Diciembre	480	960	350	0
Total anual	**4930**	**9860**	**3770**	**0**

Figura 2. Tabla que muestra el consumo de energía eléctrica en una casa habitación donde se realizó la instalación en el año 2022.

La Figura 3, presenta un análisis visual de los datos obtenidos de la tabla que muestra el consumo de energía eléctrica en una casa habitación donde se realizó la instalación en el año 2022. Esta gráfica ofrece una representación clara de cómo el sistema de energía solar responde a las variaciones estacionales y climáticas a

 ISSN: 2007 8102

lo largo del año. A través de un periodo de tiempo en el eje X y valores en kWh en el eje Y, permite entender mejor la dinámica de generación y consumo de energía en el hogar analizado.

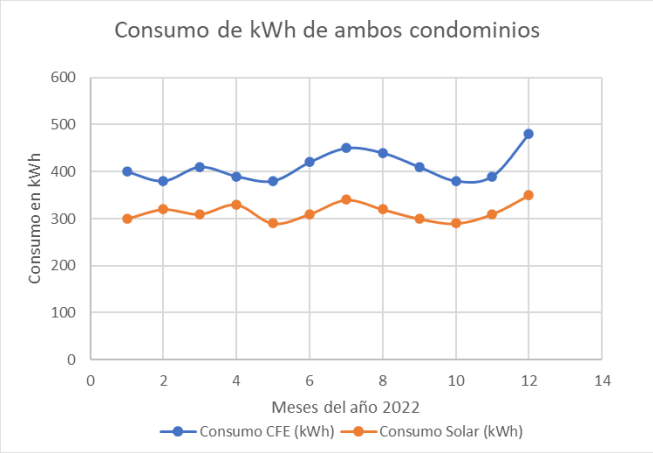


Figura 3. Consumo de energía eléctrica en kWh en una instalación convencional y una instalación fotovoltaica en el año 2022.

Segundos resultados

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 4. La tabla muestra un desglose del presupuesto en Pesos Mexicanos para instalar los elementos mencionados en una casa habitación.

Elemento	Unidades requeridas	Costo unitario	Costo en pesos mexicanos
Kit solar e instalación	1	$ 20,000.00	**$ 20,000.00**
Inversor CA	1	$ 8,000.00	**$ 8,000.00**
Regulador	1	$ 2,500.00	**$ 2,500.00**
Baterías de ciclo profundo	2	$ 6,000.00	**$ 12,000.00**
Bitácoras	1	$ 500.00	**$ 500.00**
Arduino	1	$ 1,200.00	**$ 1,200.00**
Raspberry Pi	1	$ 1,500.00	**$ 1,500.00**
Acondicionamiento de señal	1	$ 4,000.00	**$ 4,000.00**
Sensor de temperatura	2	$ 300.00	**$ 600.00**
Sensor de bomba de agua	2	$ 200.00	**$ 400.00**
Sensor de luz	2	$ 200.00	**$ 400.00**
Sensor sónico	4	$ 100.00	**$ 400.00**
Monitor	1	$ 3,000.00	**$ 3,000.00**
Costo del mantenimiento anual	6	$ 600.00	**$ 3,600.00**
Total			**$ 58,100.00**

Figura 4. Presupuesto para instalar. Los costos son aproximados y pueden variar según la marca, calidad y proveedor de los productos.

Para calcular el tiempo de justificación de la instalación fotovoltaica, primero se necesita determinar la diferencia de costos anuales entre continuar con el servicio de Comisión Federal de Electricidad (CFE) y utilizar la instalación solar.

Diferencia de costos anuales = Costo de CFE – Costo de mantenimiento anual
Diferencia de costos anuales = 9860 MXN - 600 MXN (Costo de mantenimiento anual presupuestado)
Diferencia de costos anuales = 9260 MXN
Tiempo de justificación = Costo de instalación / Diferencia de costos anuales
Tiempo de justificación = 58,100 MXN / 9260 MXN/año
Tiempo de justificación ≈ 6.27 años
Por lo tanto, la instalación fotovoltaica se justifica en aproximadamente 6.27 años en comparación con el servicio de CFE.

 ISSN: 2007 8102

Terceros resultados

La Figura 5, presenta información sobre el impacto ambiental del consumo eléctrico de una casa habitación utilizando energía de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Se evidencia que esta fuente de energía conlleva una serie de efectos negativos para el entorno, como la emisión significativa de dióxido de carbono (CO2), el consumo de recursos fósiles no renovables, el uso intensivo de agua y la generación de residuos. Estos indicadores reflejan una considerable contaminación ambiental y una dependencia de recursos finitos. En contraste, la utilización de energía solar a través de una instalación fotovoltaica en una casa habitación resulta preferible. Las instalaciones fotovoltaicas aprovechan la radiación solar para generar electricidad de manera limpia y renovable, lo que reduce drásticamente las emisiones de CO2 y minimiza la explotación de recursos no renovables. Además, al requerir poca o ninguna agua en su operación y generar residuos mínimos, las instalaciones fotovoltaicas presentan un enfoque sostenible y responsable hacia la generación de energía, contribuyendo de manera significativa a la preservación del medio ambiente y a la mitigación del cambio climático.

Tipo de impacto	Indicador Ambiental	Valor	Unidad de Medida
Emisiones de CO2	Emisiones de CO2 por consumo	1.5 toneladas	Toneladas CO2/año
Consumo de recursos	Consumo de recursos fósiles	1200 litros	Litros de petróleo/año
Uso de agua		9000 litros	Litros de agua/año
Generación de residuos	Residuos generados por embalajes	20 kg	Kilogramos/año
Contaminación del aire	Emisiones de partículas	15 gramos	Gramos/año

Figura 5. Impacto ambiental del consumo eléctrico de una casa habitación.

Últimos resultados

En la Figura 6, se muestra una tabla donde se comparan los indicadores ambientales entre el consumo eléctrico proveniente de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el uso de una instalación fotovoltaica en una casa habitación. La instalación fotovoltaica elimina por completo las emisiones de CO2 y el consumo de recursos fósiles, reduciendo drásticamente el impacto ambiental. Además, se necesita muy poca agua para mantener y limpiar los paneles solares en comparación con el consumo de agua asociado a la generación eléctrica tradicional. También se evitan los residuos generados por embalajes y otros procesos asociados a la generación convencional de electricidad.

Indicador Ambiental	Consumo Eléctrico de CFE	Uso de Instalación Fotovoltaica
Emisiones de CO2 (kg/año)	1500	0
Consumo de recursos (litros de petróleo/año)	1200	0
Uso de agua (litros/año)	9000	100
Generación de residuos (kg/año)	20	0

Figura 6. Beneficios ambientales de utilizar una instalación fotovoltaica en una casa habitación.

Trabajo a futuro

El proyecto representa un paso significativo hacia la eficiencia energética y la adopción de tecnologías sostenibles en entornos urbanos. Sin embargo, queda un trabajo importante por hacer en el ámbito de las comunidades rurales, donde el acceso limitado a la energía eléctrica sigue siendo un desafío. Es importante desarrollar estrategias adaptadas a las condiciones rurales, considerando factores como la infraestructura local, la capacitación comunitaria y la disponibilidad de recursos. Además, se requiere una colaboración cercana con los habitantes de estas comunidades para garantizar la viabilidad, el mantenimiento adecuado y la gestión de las instalaciones fotovoltaicas, contribuyendo así a mejorar la calidad de vida y fomentar el desarrollo sostenible en estas áreas.

 ISSN: 2007 8102

Se requiere un análisis exhaustivo de las necesidades específicas de cada comunidad, considerando factores como la ubicación geográfica, la demanda energética, la educación local y la participación comunitaria. Además, es esencial establecer alianzas con organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, así como con empresas del sector privado, para garantizar el financiamiento, la logística eficiente y la transferencia de conocimientos. La capacitación local en la operación y el mantenimiento de las instalaciones es también un componente crítico para asegurar la sostenibilidad a largo plazo. Llevar estas instalaciones fotovoltaicas a más comunidades rurales no solo promoverá el acceso equitativo a la energía, sino que también impulsará el desarrollo económico, la resiliencia y la mejora en la calidad de vida de aquellos que han estado históricamente excluidos de este recurso fundamental.

Conclusiones

En conclusión, este artículo destaca las múltiples razones para considerar la implementación de un sistema autónomo y sustentable basado en energía renovable, especialmente en viviendas de zonas rurales con condiciones adversas donde la infraestructura eléctrica es limitada o inexistente. El proyecto propuesto busca proporcionar un ambiente controlado y automatizado, optimizando el uso de recursos según las necesidades de los habitantes.

El enfoque de energía renovable fotovoltaica en sistemas domóticos ofrece beneficios significativos, tanto para el medio ambiente como para los usuarios. La utilización de energías limpias contribuye al cuidado del entorno, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y promoviendo un futuro más sustentable. Además, ayuda a la economía de los ciudadanos al amortizar el incremento de las tarifas eléctricas y ofrece una solución asequible para comunidades remotas y zonas rurales.

En el ámbito industrial, el proyecto beneficia a las empresas al permitirles desarrollar y explotar recursos de manera controlada y eficiente. La implementación de sistemas autónomos y automatizados en la industria contribuiría a reducir los altos costos asociados con las tarifas eléctricas tradicionales.

La preparación y construcción de este tipo de sistema requiere un enfoque técnico, que abarca desde la instalación de paneles solares, inversores y baterías de ciclo profundo, hasta la programación de microcontroladores como Arduino y Raspberry Pi para la automatización y el control inteligente de recursos. Es esencial contar con conocimientos en electricidad, electrónica y sistemas fotovoltaicos para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

La metodología propuesta detalla el uso de materiales específicos, como paneles solares, inversores, baterías y controladores, para lograr una gestión óptima y sostenible de la energía en las viviendas. Además, se destaca el papel del administrador domótico, que se encarga de la administración de los recursos y la automatización de tareas como el bombeo de agua, la iluminación y la seguridad mediante sensores de presencia y alarmas.

El uso de bitácoras basadas en Arduino permitiría recopilar y almacenar datos útiles para optimizar el funcionamiento del sistema. Además, se menciona la importancia de sensores, dispositivos que captan estímulos del entorno y los traducen en información útil para el sistema.

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento por el valioso apoyo y las contribuciones que han hecho posible la realización de este proyecto y la creación de este artículo. En primer lugar, deseo agradecer al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y al Tecnológico Nacional de México por proporcionarme el entorno y los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación. También quiero expresar mi gratitud a mis estimados compañeros de equipo, cuya dedicación y colaboración han sido fundamentales; su compromiso y esfuerzo colectivo han contribuido de manera significativa a cada etapa del proceso.

ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] J. B. Cuesta Ledesma, de *Diseño de solución de energía fotovoltaica para viviendas indígenas del Vaupés*, Barranquilla, Colombia, Corporación Universidad de la Costa, 2021.

[2] D. F. Gruezo Valencia y V. S. Solis Mora, «Inversores inteligentes de energía solar fotovoltaica,» de *Revista Científico-Académica Multidisciplinaria*, Manta - Ecuador, Casa Editora del Polo, 2022.

[3] J. C. Diaz Olivares, de *La ingeniería en edificios de alta tecnología: criterios de diseño, proyectos y puesta en servicio*, España, MC Graw-Hill, 2012.

[4] L. Molina González y J. M. Ruíz Gutierrez, de *Instalaciones automatizadas en viviendas y edificios*, España, MC Graw-Hill, 2005.

[5] C. K. Alexander y M. . N. O. Sadiku, de *Fundamentos de circuitos eléctricos*, Ciudad de México, MC Graw-Hill, 2018.

[6] D. F. Gómez Caro, «Herramienta operativa de instalación y buenas prácticas de equipos y elementos conductores de energía eléctrica en sistemas solares fotovoltaicos distribuidos considerando lineamientos establecidos en la normatividad del sistema eléctrico colombiano,» Bogotá, Universidad Libre de Colombia, 2023.

[7] O. J. Villao Miranda, E. R. Consuegra Mite y J. M. Silva Becherán, de *Dimensionamiento óptimo de un sistema fotovoltaico a través de herramientas computacionales en zonas aisladas.*, Guayaquil Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana Ecuador, 2021.

[8] G. Silvente Niñirola, A. Molina-García y A. Mateo Aroca, de *Sistemas de bajo coste para la monitorizacion de instalaciones fotovoltaicas: aplicación de Arduino y Raspberry Pi*, Cartagena, 23rd International Congress on Project Management and Engineering, 2019.

[9] I. Sarmiento Montenegro, de *Desarrollo e implementación de un sistema domótico basado en software libre para una vivienda unifamiliar*, Santander, Cantabria, España, Universidad de Cantabria, 2019.

[10] E. A. López Pérez y J. F. Méndez Díaz, de *Propuesta de componentes para un sistema híbrido fotovoltaico interconectado a la red, en pozo agrícola oriental Puebla*, Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciencia Latina Revista, 2023.

[11] J. P. Silva Montero, «Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades,» de *Centro de investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas*, España, Gobierno de España, 2019.

 ISSN: 2007 8102

Diseño de turbina de adhesión para fluido de trabajo reducido

Jorge Bedolla-Hernandez[1], Marcos Bedolla-Hernández[2], Vicente Flores-Lara[3], Efrén Sanchez-Flores[4],*
Carlos Alberto Mora-Santos[5], *Rolando Islas-Zistecatl[6]*
[1]Tecnológico Nacional de México / IT de Apizaco, jorge.bh@apizaco.tecnm.mx, [2]Tecnológico Nacional de México / IT de Apizaco, marcos.bh@apizaco.tecnm.mx, [3]Tecnológico Nacional de México / IT de Apizaco, vicente.fl@apizaco.tecnm.mx, [4]Tecnológico Nacional de México / IT de Apizaco, efren.sl@apizaco.tecnm.mx, [5]Tecnológico Nacional de México / IT de Apizaco, carlos.ms@apizaco.tecnm.mx, [6]Tecnológico Nacional de México / IT de Apizaco, m23370017@apizaco.tecnm.mx,

***Área de participación**: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica*

Resumen

Se desarrolla el diseño una microturbina de adhesión que se alimenta de un generador de vapor de dimensiones reducidas, el cual usa biomasa sólida como combustible. El diseño se enfoca en aspectos de sistemas de microgeneración, donde a causa de las dimensiones reducidas, el fluido de trabajo no es continua y se limita a periodos en el orden de minutos. Por lo que se plantea reducir el flujo másico que se alimenta a la microturbina, esto sin modificar la capacidad del sistema térmico ni su consumo de combustible. Se realiza la medición y definición de condiciones del fluido a la salida del generador de vapor, cuya información se usa en un modelo teórico que permite iterar las dimensiones del rotor de la turbina, hasta obtener características que mejoran el tiempo de operación. Como resultado, se obtiene el diseño y se construye la microturbina para probar su operación.

***Palabras clave**: biomasa sólida, diseño, microgeneración, microturbina de adhesión.*

Abstract

The design of an adhesion microturbine powered by a steam generator of reduced dimensions, which uses solid biomass as fuel, is developed. The design focuses on aspects of microgeneration systems, in which, due to the reduced dimensions, the working fluid is not continuous and is limited to periods in the order of minutes. Therefore, it is proposed to reduce the mass flow that is fed to the microturbine, without modifying the capacity of the thermal system or its fuel consumption. The measurement and definition of the fluid conditions at the outlet of the steam generator is carried out, whose information is used in a theoretical model that allows iterating the dimensions of the turbine rotor, until obtaining characteristics that improve the operation time. As a result, the design is obtained and the microturbine is built to test its operation.

***Key words**: solid biomass, design, microgeneration, adhesion microturbine*

Introducción

Un aspecto de interés actual a nivel global es la atención a la demanda de requerimientos energéticos; así como, de las fuentes de energía disponibles para atender esa demanda. Dentro de la matriz energética se consideran diversas fuentes de energía, donde el impacto ambiente es otro aspecto principal para tomar en cuenta en la selección de combustibles y sistemas que se constituyen en fuentes de energía viables.

Una parte importante de la energía obtenido de las fuentes de energía renovable se considera que corresponde a la biomasa sólida, principalmente madera y sus derivados, ya que en 2018 correspondió al 80.4 % del total consumido de fuentes de energía renovable [1]. Esto en parte obedece a que la biomasa se encuentra prácticamente disponible en cualquier entorno y con formas diversas de ésta [2]. También, la biomasa se reconoce actualmente como una fuente prometedora de energía renovable, ya que se considera como un combustible de carbón neutro y sus beneficios ambientales en consecuencia son superiores a los de combustibles convencionales [3]. Generalmente la biomasa considerada como combustible se utiliza para producir electricidad mediante plantas de cogeneración eléctrica, cuya característica es que se aprovechan los residuos energéticos de otros procesos industriales que generan biomasa, como la producción de celulosa; aunque con los inconvenientes de que en algunos casos esta fuente llega a considerarse como una fuente de bajo grado de calor; lo cual limita su aplicación como combustible.

ISSN: 2007 8102

Una característica importante de la aplicación de biomasa a sistemas de producción de electricidad se enfoca en sistemas de microgeneración. Donde se presentan diversas clasificaciones y generalmente la microgeneración hace referencia al tamaño y configuración de pequeños sistemas de producción de energía, que incluso pueden operarse fuera de la red comercial eléctrica [4]. Para establecer la magnitud de los sistemas de producción eléctrica, una clasificación usada para establecer sus niveles de potencia es que la microescala abarca hasta una potencia nominal máxima de 3 kW_{el}, mientras que los sistemas a miniescala abracan hasta una potencia nominal en un rango de 3 a 15 kW_{el}, y además, los sistemas a pequeña escala se consideran en el rango de producción de potencia eléctrica de hasta 100 kW_{el} [5]. De acuerdo con esa clasificación se puede establecer que la microgeneración se presentan como una alternativa de solución de la demanda energética, acorde a los tiempos, requerimientos técnicos y niveles de producción, en donde se conjuga por un lado los objetivos ambientales y por el otro la atención a la demanda de energía particularmente enfocada en niveles residenciales [6]. La biomasa de resido forestal dentro de sus diversas aplicaciones tiene uso como combustible en calderas, que se enfocan en la generación de vapor para aplicaciones a la producción de electricidad a diferentes escalas, en las cuales, como en cualquier sistema energético actual, se considera relevante realizar el uso eficiente de la fuente de energía que se considera renovable (biomasa) y de relevancia para sectores domésticos en la producción de electricidad y calor. Al respecto en [7] se presentan una amplia revisión de diferentes sistemas de microgeneración que usan biomasa sólida como combustible en sus procesos. En ese mismo sentido, en [8] se analizan 6 diferentes tipos de biomasa sólida que se usan como combustible, para la recuperación de energía a través de sistemas de microgeneración.

Se puede considerar que la microgeneración tiende a hacer más eficiente la producción de electricidad y con menores costos, debido a los ahorros de combustible y disponibilidad de estos, a la reducción de las perdidas por transmisión y distribución de una red comercial, y a que se apoya en alternativas tecnológicas actuales, como las microturbinas [9], que en consecuencia se enfocan en esos rangos de generación. Donde la aplicación, selección y diseño de este tipo de sistemas todavía enfrenta diversos retos, iniciando desde estrategias para su apropiada selección, tanto del sistema como del tipo de combustible renovable a considerar; como es el uso de determinadas métricas que contribuyen a la toma de decisiones [10]. Sin embargo, también se han reportado diversos inconvenientes en el ámbito de aceptación de los sistemas de microgeneración. Lo cual tiene diferentes vertientes y se relaciona entre otros aspectos con la operación, mantenimiento e incluso con la falta de empatía con los problemas ambientales; lo cual en su conjunto limita la aplicación de producción de electricidad a esas escalas de microgeneración [11]. También, se ha identificado que una constante en las limitantes para la aplicación de sistemas de microgeneración es que los equipos que componen al mismo no son fáciles de escalar (por ejemplo, las turbinas convencionales de vapor o gas) o las dificultades encontradas en sistemas con la eficiencia para el proceso a microescala de la conversión de la energía [12]. Por lo que se considera necesario no solo examinar los requerimientos del mercado para la aceptación de sistemas de microgeneración; sino también, ahondar en las propuestas que permitan realizar el diseño y selección de sistemas aplicables a condiciones específicas de microgeneración con sistemas de dimensiones reducidas.

De la revisión bibliográfica se establece que uno de los principales problemas en la microgeneración de potencia, para las aplicaciones de conversión de energía térmica lo representa el expansor (turbina) [13]. También, de acuerdo con la bibliografía se identifica que se dispone de diferentes tipos de tecnologías para la microgeneración; donde una de éstas se enfoca a la aplicación de la turbina de adhesión en tal proceso, esto en función de sus bondades relacionadas con su operación y la simplicidad de fabricación de este equipo [14]. Del cual, la mayoría de los estudios relacionados resaltan sus ventajas, enfocándose principalmente en el análisis de su comportamiento y funcionamiento para diversos fluidos de trabajo que incluso pueden ser bifásicos. Las bondades de la turbina de adhesión para aplicación en sistemas de microgeneración se aprecia desde varios aspectos, los cuales muestran la viabilidad de aplicación de este equipo para proceso de microgeneración. Dentro de esos aspectos mkencionados se tiene: a) la velocidad angular del rotor está determinada por la viscosidad del fluido, la velocidad del flujo y la superficie del disco; b) el ángulo y la uniformidad de incidencia del fluido afecta en el desempeño general de la turbina; c) se pueden utilizar diferentes tipos de fluidos; d) la tobera es una de las principales pérdidas de energía, afectando la eficiencia global de la turbina; e) el par de la flecha se puede variar modificando el número, diámetro y espesor de los discos; y f) se debe considerar la condición de la superficie de los discos ya que este provoca su fricción con el fluido.

En función de lo anterior, se aprecia que las necesidades energéticas requieren de considerar alternativas para la producción, y que en cuyo análisis se requiere considerar las características propias de cada uno de los sistemas de generación. Dentro de las alternativas de generación se encuentra la tendencia en aspectos que

 ISSN: 2007 8102

buscan ampliar los sistemas para microgeneración. También se observa que resulta de gran importancia a nivel ambiental el uso de combustibles renovables en el proceso de microgeneración, dentro de los cuales se aprecia que la biomasa sólida tiene una relevancia considerable. También, se observa que existe gran interés en el desarrollo de tecnologías alternativas para atender esquemas de microgeneración, pero en ese sentido se ha encontrado que uno de sus principales problemas para la implementación de este tipo de sistemas radica en que es complicado escalar los equipos convencionales a dimensiones de microgeneración. Donde los esquemas de microgeneración se enfocan en la reducción de los costos de producción y mantenimiento; así como, en la reducción de impactos ambientales, pero aún se presentan múltiples limitantes en su aplicación. Se aprecia que uno de los problemas con para ampliar la aplicación de sistemas de microgeneración se relaciona con la adecuada aplicación/diseño del expansor del sistema; así como también en se disminuye la eficiencia del sistema de dimensiones reducidas, esto a causa de los problemas técnico/tecnológicos que aún se presentan en el diseño de estos sistemas. Con base a esas consideraciones, en el presente trabajo se plantea el diseño de un rotor de una turbina de adhesión, para la cual el fluido de trabajo se obtiene de un generador de vapor de dimensiones reducidas (de tamaño similar a un boiler doméstico) que opera con biomasa sólida. Las dimensiones del sistema tienen implicaciones en cuanto a la cantidad limitada del fluido de trabajo disponible para la turbina, y que además, el flujo másico del presenta reducción en función del tiempo. Lo cual modifica las condiciones de alimentación de fluido que ingresa a la microturbina de adhesión, en consecuencia se tiene condiciones variables de operación de la turbina en periodos cortos de tiempo. Por lo que, una parte central de este trabajo es analizar la reducción de fluido del generador de vapor para aumentar el tiempo de funcionamiento del sistema, y que bajo esa consideración se realice el diseño del rotor. A partir del diseño se realiza la fabricación de la turbina de adhesión y se desarrollan las pruebas que permitan analizar el comportamiento del sistema.

Metodología

De forma general, el proceso para realizar el diseño, construcción y pruebas de la microturbina se basa en determinar los parámetros de entrada del fluido a esta, lo cual permita establecer la geometría del rotor de la turbina, para posteriormente realizar las pruebas. Este proceso se inicia con la definición de los parámetros de entrada a la turbina, mediante las mediciones de presión y flujo másico que se obtiene del generador de vapor de dimensiones reducidas. Se considera una cantidad base inicial de agua líquida en el recipiente cilíndrico del generador de vapor. Posterior a lo cual, mediante la combustión de la biomasa sólida se logra el cambio de fase del agua contenida en el recipiente a presión. El vapor así generado incrementa la presión interna del recipiente cilíndrico del generador de vapor, hasta lograr el valor especificado de presión de trabajo. Una vez que se alcanza la presión especificada, se realiza la apertura de la válvula que permite el paso del vapor hacia la microturbina, lo cual genera el accionamiento de ésta.

Una de las características principales que se establece para realizar el diseño de la microturbina, corresponde a la modificación favorablemente de su tiempo de operación. Para lo cual se requiere dosificar el fluido hacia ésta desde el generador de vapor. Este aspecto se cuantifica por el tiempo en que está ingresando vapor suficiente a la microturbina para lograr su accionamiento. Una vez que se define la presión, el flujo másico y el tiempo del ciclo de operación de la turbina (ya que posterior al mismo es necesario reiniciar el ciclo de generación de vapor), se cuenta con los datos del fluido de entrada. Para realizar el proceso iterativo en la configuración del rotor de la microturbina se hace uso del modelo de Allen [15] (que se describe más adelante en esta sección). Ese modelo se codifica en un código propio en el software Matlab ® para usarse como herramienta en la modificación de la configuración del rotor. Para verificar la confiabilidad del código propio se realiza la comparación de los resultados de este contra los reportados en la literatura por [15]. Posterior a la verificación de viabilidad de uso del código propio para el proceso de diseño, se incorpora esta herramienta en el proceso iterativo de configuración del rotor de la microturbina.

En función de las propias características del modelo [15], se definen a priori parte de sus parámetros requeridos de entrada para el desarrollo de los cálculos que se realiza mediante el código propio. Esa condición permite valorar diferentes configuraciones que se analizan para el rotor de la turbina, principalmente en el aspecto geométrico destinado a la definición de los radios internos y externos de los discos planos que conforman el compacto del rotor. La configuración seleccionada se usa para realizar la ingeniería de detalle de la microturbina, y se procede a la manufactura de los componentes. Con el sistema manufacturado y acoplado el generador de vapor, se realizan las pruebas experimentales para su desempeño. Como parte importante de estas pruebas se modifica la apertura de la válvula que alimenta a la turbina, esto con el objeto de incrementar el tiempo de desfogue del vapor hacia la turbina, en las condiciones que se mantenga suficiente el accionamiento de esta para su potencial aplicación en sistemas de microgeneración.

 ISSN: 2007 8102

El modelo en [15] proporciona una aproximación del comportamiento y el efecto que el fluido de trabajo presenta al pasar entre los discos planos del rotor. El mismo predice las componentes de velocidad del fluido y sus presiones, esto de acuerdo con las configuraciones del rotor. Se selecciona este modelo para el proceso de diseño establecer el comportamiento del flujo del fluido a través del rotor, ya que se basa en relaciones algebraicas que permiten una codificación simplificada y las cuales permiten determinar incluso el par y potencia de salida en la flecha de la turbina. Lo cual se realiza con base en la transferencia de energía del fluido al rotor de la turbina. El modelo tiene en cuenta las siguientes consideraciones y aproximaciones: el flujo es incomprensible, isentrópico, y se encuentra en estado estable a su paso por el rotor; las fuerzas de cuerpo se consideran despreciables y la capa límite a través del rotor se encuentra completamente desarrollada. El modelo matemático establece los parámetros de velocidad radial a, ec. (1), velocidad radial relativa $U(r)$, ec. (2), velocidad tangencial b, ec. (3), velocidad tangencial relativa $\bar{V}(r)$, ec. (4), velocidad angular c, ec. (5), relación del coeficiente viscoso R, ec. (6), medida adimensional de los efectos viscosos R^*, ec. (7), (donde se requiere de una función de serie de potencia adimensional $S_m(R^*)$, ec. (8)), y también el par T en la flecha, ec. (9).

$$a = -\frac{\dot{m}}{4\pi(N+1)\rho\delta} \tag{1}$$

$$U(r) = \frac{a}{r} \tag{1}$$

$$b = \frac{c - {r_o}^2 w + a/tan \propto}{S_m {R^*}_o} \tag{2}$$

$$\bar{V}(r) = \frac{bS_m(R^*) - c}{r} \tag{3}$$

$$c = -\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\frac{w}{R} \tag{4}$$

$$R = -\frac{\lambda_3}{2\lambda_1}\frac{v}{\delta^2 a} \tag{5}$$

$$R^* = Rr^2 = -\frac{\lambda_3}{2\lambda_1}\frac{rv}{\delta^2 U} \tag{6}$$

$$S_m(R^*) = \sum_{m=0}^{\infty}\frac{(-R^*)}{m!} \tag{7}$$

$$T = -\lambda_1 \dot{m}[(r_o \bar{V}_o - r_i \bar{V}_i) + cR(({r_o}^2 - {r_i}^2)] \tag{8}$$

Donde: $\dot{m}$ flujo másico, N número de discos, ρ densidad, δ semiespacio entre los discos, r posición radial, r_o radio exterior del disco, w velocidad angular, $\propto$ ángulo tangencial de incidencia del fluido, S_m función de serie adimensional, ${R^*}_o$ constante del sistema adimensional (parámetro de Allen [15]), $\bar{V}_o$ velocidad tangencial relativa al exterior del disco, r_o radio exterior del disco, $\bar{V}_i$ velocidad tangencial relativa al interior del disco, r_i radio interior del disco. Los coeficientes del perfil de velocidad λ dependen de las condiciones del fluido y corresponden a los valores que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Coeficientes del perfil de velocidad λ [15].

Coeficientes	Laminar	Turbulento
λ_1	8/15	7/9
λ_2	2/3	7/9
λ_3	-2	1/0: indefinido

El parámetro del par en el modelo tiene diversas funciones para establecer el comportamiento de la turbina, ya que un valor positivo de este indica que la turbina obtiene energía del fluido, mientras que un valor negativo es indicativo de que pierde energía; es decir, si el par tiene signo positivo el sistema puede alcanzar la velocidad angular predefinida. Por otro lado, si el par calculado del modelo presenta signo negativo, esto representa que el sistema no puede alcanzar dicho par, por lo que el sistema requiere de la adición de energía. Por definición del modelo, la velocidad máxima posible por el sistema es aquella en la que el torque tiende o es igual a cero. De forma análoga, se tiene un comportamiento en el que el par disminuye conforme aumenta la velocidad angular;

ISSN: 2007 8102

cuando este fenómeno no se cumple, representa una inconsistencia, en la que el código deja de ser válido para representar las características del sistema.

Materiales y equipo

Para el desarrollo se usa un generador de vapor, que consiste en un recipiente cilíndrico de 20 L de capacidad, expuesto a flama de combustión de biomasa sólida, la turbina de adhesión de diseño propio, un manómetro analógico Ashcroft ® con presión máxima de 160 psi, medidor de caudal Vortex de la marca Krohne ® modelo VFC 070, y un tacómetro digital de laser de la marca Twintex modelo TT-736B.

Desarrollo

El flujo másico del fluido de trabajo se obtiene del generador de vapor, al cual para las pruebas iniciales se le suministran 10 L de agua. La cantidad de vapor determina el tiempo en que alimenta a la microturbina de adhesión. Se realiza la combustión de biomasa sólida para que el recipiente a presión del generador de vapor alcance una temperatura de 135 °C y una presión de 80 psi. Cuando se logra esa temperatura y presión se abre la válvula de alimentación por completo, y se registra el flujo másico que proporciona el generador de vapor. El sistema indicado se muestra en la Figura 1.

Con la información de los datos de salida del generador de vapor se procede a realizar las iteraciones de la configuración del rotor del sistema. Para lo cual se hace uso del código propio en un rango de velocidades establecido a priori para la operación del sistema. Para realizar el análisis de las configuraciones del rotor, el modelo [15], además de los datos obtenidos del generador de vapor, se establece condiciones iniciales como la densidad del fluido, los radios interno y externo del disco plano del rotor, el número de discos en el rotor, el espacio entre estos, el ángulo de incidencia del fluido con los discos, la viscosidad del fluido y la velocidad angular propuesta para la turbina.

Para las pruebas del funcionamiento de la microturbina, se realizó una serie de 12 pruebas para las aperturas de la válvula (100%, 75%, 50% y 25%), lo cual se usa para limitar el flujo másico que se alimenta a la tobera de la turbina. En estas pruebas se tomó en cuenta que: la turbina diseñada se conecta al generador de vapor con una válvula de salida entre estos; se inicia con 9 L de agua en la caldera, se espera que mediante la combustión de la biomasa se alcance una presión de 80 psi (temperatura entre 133 °C a 137°C). Una vez alcanzada la presión de 80 psi, se abre el porcentaje correspondiente de la válvula de salida. La prueba se detiene cuando se tiene el valor de 0 en al menos 2 propiedades monitoreadas.



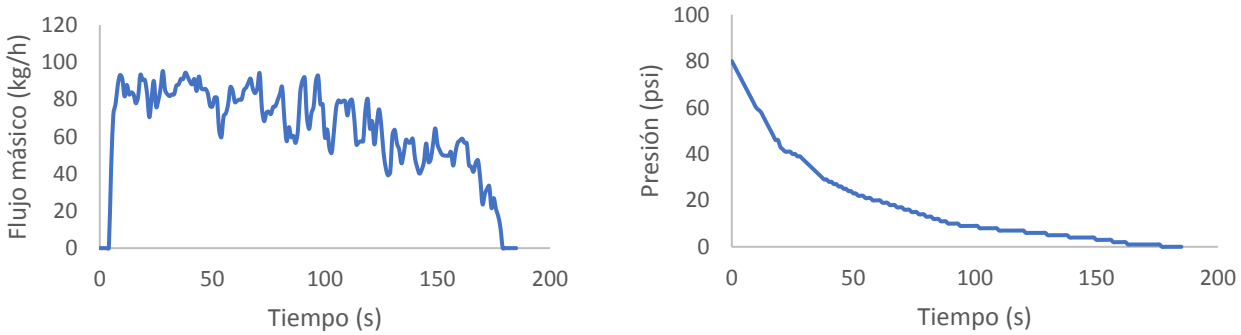
Figura 1. Sistema de generador de vapor con combustible de biomasa sólida, con termómetro, manómetro y medidor de caudal.

 ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Flujo másico inicial del generador de vapor

Para determinar el flujo másico del vapor que se obtiene del generador de vapor se realiza la medición tanto del flujo como de la presión en el recipiente cilíndricos de este. La Figura 2 muestra el flujo másico y la presión en función del tiempo que se obtiene del generador de vapor con una apertura del 100 % de la válvula de alimentación. Se observa que no se mantiene constante en la duración de la prueba que se aproxima a 180 s, por lo que se opta, como parte del diseño, por determinar un valor promedio éste, tomando como referencia el tiempo que se considera se tiene accionamiento de la microturbina.



a) b)

Figura 2. Comportamiento de la salida del fluido del generador de vapor, donde a) flujo másico y b) presión.

Verificación del código propio

El código propio realizado en el software Matlab ® se usa como herramienta en la definición de la geometría del rotor de la turbina. Para revisar la viabilidad de uso del código propio ese código se realiza la comparación de resultados proporcionados por [15] y los obtenidos de este código. De acuerdo con [15] para los cálculos se considera $r_o = 3\,in$, $r_i = 1\,in$, $\delta = 0.016\,in$, N=0, $\rho = 0.25\,lbm/ft^3$, $\nu = 0.12 lbm/fts$, $w = 0$, y $\propto = 15°$. La comparación de resultados se muestra en la Tabla 2. De donde se observa que todas las diferencias se encuentran por debajo de 0.05%. A partir de lo cual se establece que el código propio es confiable para usarse como herramienta en la definición de la geometría del rotor.

Tabla 2. Comparación de resultados.

Parámetro	Resultados [15]	Código propio	Diferencia %
a	-6.636	-6.633	0.045
b	22.826	22.818	0.035
R	8.000	7.998	0.025
U	-26.542	-26.533	0.033
V	150.53	150.477	0.035
T	-0.073	-0.073	0

Iteraciones de configuraciones del rotor

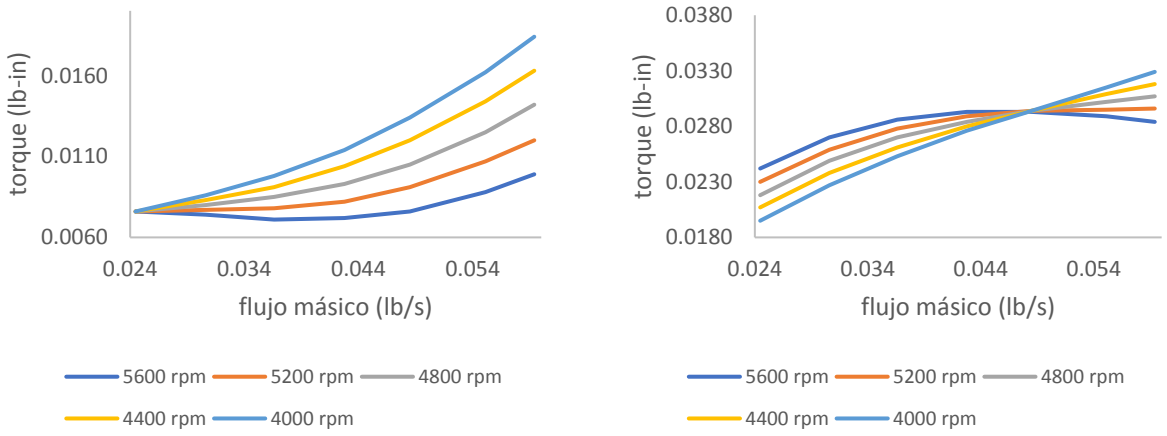
Para definir la configuración del rotor, y una vez verificado el funcionamiento del código propio, se ingresan en este código las características de la turbina planteadas inicialmente, junto con el flujo másico medido en las pruebas. Donde se obtuvo de la Figura 2 un rango de 0.0245 lb/s (40 kg/h) a 0.594 lb/s (97 kg/h), y se considera una velocidad angular máxima de 5600 rpm. También, se considera para las características medidas del vapor una $\rho = 0.07965\,lbm/ft^3$, $\nu = 8.79x10^{-6}\,lbm/ft\,s$. El fluido de trabajo es vapor de agua, por lo que las propiedades de viscosidad y densidad se consideran fijas. En el análisis de la configuración los principales cambios geométricos se centran en las modificaciones del radio exterior de los discos. Donde se establece un rango de 50 mm a 70 mm, y para el análisis se usan incrementos con variaciones de 2.5 mm. Dado que uno de los inconvenientes en el diseño de este tipo de sistemas lo representa la tobera que alimental el fluido al rotor, el área de la tobera queda limitada a la sección de la tubería de alimentación. Por lo tanto, para mantener un flujo

 ISSN: 2007 8102

razonablemente uniforme en la totalidad de los discos planos del rotor, se selecciona el número máximo de discos de 24, los cuales basado en láminas comerciales tienen un espesor de 0.89 mm y están separados entre sí 0.33 mm. La Figura 3 muestra de forma representativo el comportamiento del par torsor en la flecha de la turbina, obtenido con el código propio para un radio externo de 50 mm y 70 mm y para diferentes velocidades.

Para seleccionar el diámetro del rotor, en función de los datos obtenido de las variaciones de radio externo del disco plano se realizan curvas similares a las de la Figura 3, para todos los radios externos del disco considerados indicados previamente en el rango de 50 mm a 70 mm. A partir de esas curvas se consideran los valores máximos y mínimos en los flujos másicos que se calculan. Con esos valores se aplica una relación establecida en este trabajo como índice de par, representado por la ec. (10), y la cual establece la relación entre el torque y el diámetro del disco. Se calculan los índices para los flujos máximos y mínimos, y se establece la diferencia porcentual de estos, con lo cual se obtiene la Tabla 3.

$$I_f = \frac{T}{R} \tag{10}$$



a) b)

Figura 3. Comportamiento del par de la turbina, donde a) 50 mm radio externo y b) 70 mm de radio externo.

Tabla 3. Valores de índice de par.

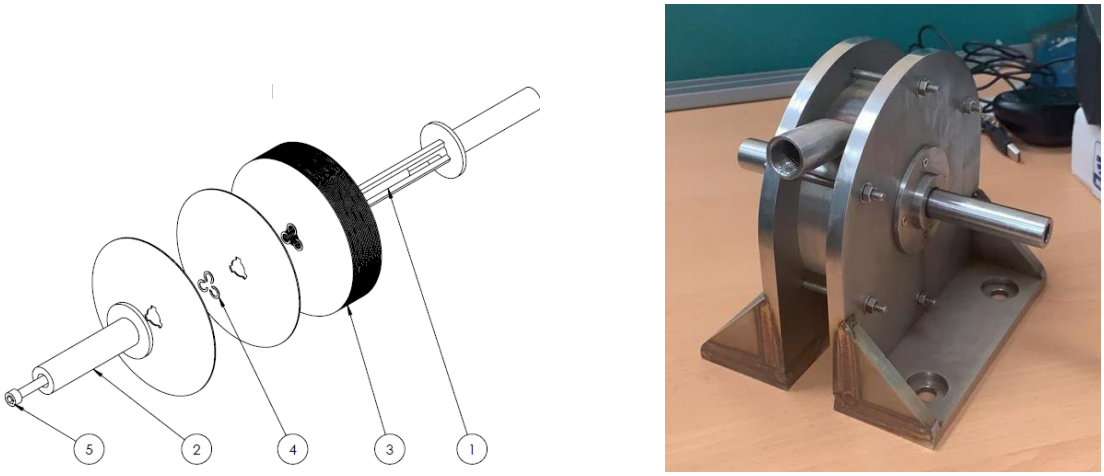
Radio [mm]	Flujo másico [kg/h]	Índice mínimo	Índice máximo	Diferencia %
70	40	7.51E-03	1.19E-02	37.0
	95	8.35E-03	1.03E-02	19.0
67.5	40	6.66E-03	8.20E-03	18.8
	95	9.56E-03	1.12E-02	14.7
65	40	6.29E-03	7.58E-03	17.0
	95	8.01E-03	1.06E-02	24.3
62.5	40	5.89E-02	6.99E-02	15.7
	95	7.03E-03	1.01E-02	30.2
60	40	5.46E-03	6.14E-03	14
	95	6.27E-03	9.65E-03	35
57.5	40	5.39E-03	5.57E-03	11.5
	95	5.65E-03	9.36E-03	39.6
55	40	4.66E-03	5.13E-03	9.0
	95	5.22E-03	9.19E-03	43.2
52.5	40	4.26E-03	4.50E-03	5.4
	95	5.03E-03	9.19E-03	45.3
50	40	3.86E-03	3.86E-03	0
	95	5.03E-03	9.35E-03	46

 ISSN: 2007 8102

De la Tabla 3 se observa que la diferencia porcentual del índice, para el flujo másico mayor, se incrementa conforme se reduce el radio externo del disco a partir de un radio de 67.5 mm, obteniendo que el radio promedio entre 50 mm y 67.5 corresponde a 57.5 mm. De donde, la variación entre las diferencias porcentuales para el gasto másico mayor entre 57.5 mm y 50 mm de radio es de 6.4 %. De manera análoga, al revisar el torque mínimo del radio de 57.5 mm se observa que es mayor en 35.6 % al de torque con discos de 50 mm. Además de lo anterior, el disco de 57.5 mm de radio presentan un comportamiento exponencial moderado para las diferentes curvas de par que se obtienen con las velocidades angulares en los rangos de flujo másico seleccionadas; es decir, no presenta cambios bruscos en los parámetros establecido. En función de lo cual se establece que el radio externo de los discos resulta conveniente en 57.5 mm para las condiciones de operación del sistema considerado en el diseño.

Turbina diseñada

Con los datos obtenidos en la cuantificación de componentes del rotor, se estableció el diámetro externo del rotor en 115 mm, diámetro interno del disco de 12.38 mm, el espesor del disco de 0.89 mm, con 24 discos en el rotor y separados 0.33 mm. La Figura 4 muestra el esquema del rotor y la turbina fabricada, donde en la Figura 4a) se tiene que 1) es eje motriz, 2) es eje contenedor, 3) son los discos, 4) son los separadores y 5) tornillo de ajuste.

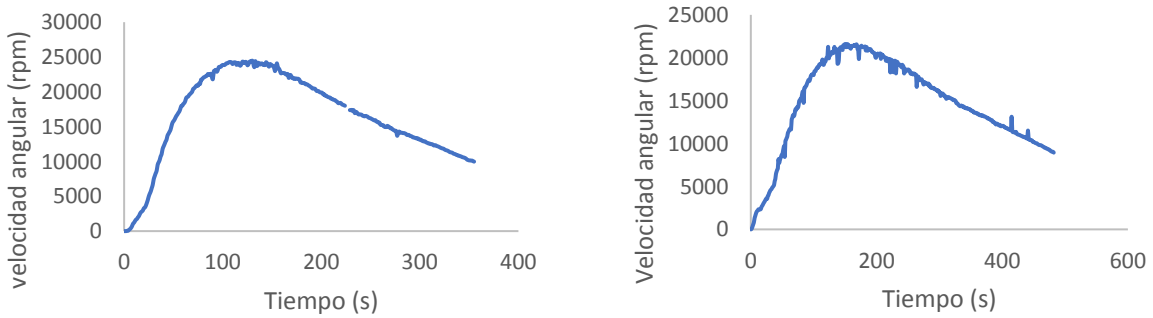


a) b)

Figura 4. Turbina de adhesión, donde a) esquema del rotor y b) turbina manufacturada.

Funcionamiento de la microturbina

Las pruebas experimentales se realizaron para la apertura de la válvula de alimentación a diferentes porcentajes. Para cada uno de los porcentajes de apertura se alcanzó la presión y temperatura de trabajo, con una cantidad inicial de 9 L en el generador de vapor a. La figura 5 muestra ejemplos de la relación de velocidad angular que logra la microturbina con relación al tiempo y al porcentaje de apertura de la válvula de alimentación. En la Tabla 4 se muestran los datos de funcionamiento de la turbina para las diferentes aperturas de la válvula.



a) b)

Figura 4. Velocidad de la turbina de adhesión para diferentes aperturas de válvula, donde a) 100% y b) 75%.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 4. Valores de funcionamiento de la microturbina.

Apertura de la válvula [%]	Velocidad máxima [rpm]	Flujo másico máximo [kg/h]	Tiempo total de operación [s]	Tiempo de operación mayor al 50 % de rpm máxima [s]
100	25000	93	360	268
75	21610	66	480	378
50	15000	42	430	313
25	5400	20	700	365

Con las pruebas experimentales se cuantifica el flujo y revoluciones máximos de la turbina, cuya información se retroalimenta al código propio del modelo. Con los datos de par torsor, apertura de la válvula, comportamiento del flujo másico y de la modificación en tiempo que se obtiene para la turbina, se establece que los parámetros adecuados para el funcionamiento del sistema corresponden a los que se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores de operación de la turbina diseñada.

Parámetro	valor
Apertura de válvula [%]	75
Flujo másico máximo [kg/h]	66.14
Flujo másico promedio [kg/h]	41.69
Velocidad angular máxima [rpm]	21610
Tiempo total de operación [s]	480
Tiempo de operación superior al 50% de velocidad máxima [s]	378
Porcentaje de tiempo superior al 50 % de velocidad máxima	78.8

Trabajo a futuro

Las pruebas se desarrollaron para la turbina en vacío, de acuerdo con el modelo considerado que se codificó. Por lo que es necesario considerar y desarrollar las pruebas de generación con carga de un generador eléctrico acoplado a la turbina. En ese mismo sentido y dado que la operación del sistema no presenta comportamiento constante, también es necesario identificar una estrategia para el proceso de carga eléctrica o almacenamiento de la energía que se genera por las condiciones de variaciones en el tiempo.

Conclusiones

Se diseñó una turbina de adhesión para un sistema de dimensiones reducidas de generación de vapor que opera con biomasa como combustible, y cuyo sistema se enfoca a la microgeneración. El análisis se basa en el incremento de tiempo de operación de la microturbina, al reducir el flujo másico que entra en la misma, pero observando que la cantidad de fluido sea adecuada para el accionamiento de la misma. Como herramienta en el diseño iterativo se desarrolló un código propio en Matlab ® del modelo presentado por [15]. El cual permitió realizar aproximaciones del comportamiento de la turbina, en función de la variación de la geometría de su rotor. El modelo requiere ingresar parámetros de entrada, que en primera instancia se plantean a prior para el modelo, pero que se complementan en una segunda etapa con los resultados de las pruebas experimentales.

La turbina diseñada consta de un rotor con 24 discos, 69 separadores, un eje motriz, un eje contenedor y un tornillo de ajuste, montado en una carcasa con un total de 56 partes. La turbina se fabricó con acero inoxidable AISI 430 para los discos y AISI 304 para los elementos restantes. El flujo másico máximo del sistema se estableció en 93 kg/h, con lo cual se obtiene una velocidad angular de 25000 rpm máxima y un tiempo de funcionamiento de 360 segundos. Lo cual se puede modificar cambiando la apertura de la válvula para incrementar el tiempo de operación y manteniendo un flujo suficiente para el accionamiento de la turbina. Se realizó el diseño, la fabricación de la turbina y se analizó experimentalmente su comportamiento. Con lo cual se plantea la configuración optima

 ISSN: 2007 8102

del sistema diseñado, que consiste en un flujo másico de 70 kg/h alcanzando una velocidad angular máxima de 21610, equivalente a una apertura de la válvula de alrededor del 75 %, con un tiempo de funcionamiento de 480 segundos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al TECNM por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo, dentro del proyecto de investigación clave 17184.23-P.

Referencias

[1] J. Kramens, E. Vīgants, I. Liepiņš, L. Vērnieks y V. Terjanika, "Research of a Biomass Boiler with Stirling Engine Microgeneration Unit", *Environmental Climate Technol.*, vol. 25, n.º 1, p. 587–599, enero de 2021. Disponible: https://doi.org/10.2478/rtuect-2021-0043.

[2] J. Bedolla--Hernández, M. Bedolla-Hernández , V. Flores-Lara, J. M. Cruz-García yC. A. Mora-Santos, "Feasible microgeneration system for small amounts of solid biomass as fuel", *Int. J. Smart Grid Clean Energy*, p. 270–277, 2021. Disponible: https://doi.org/10.12720/sgce.10.4.270-277.

[3] D. Roy, "Multi-objective optimization of biomass gasification based combined heat and power system employing molten carbonate fuel cell and externally fired gas turbine", *Appl. Energy*, vol. 348, pp. 121486, octubre de 2023. Disponible: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121486.

[4] R. B. Soares, M. F. Martins y R. F. Gonçalves, "A conceptual scenario for the use of microalgae biomass for microgeneration in wastewater treatment plants", *J. Environmental Manage.*, vol. 252, pp. 109639, diciembre de 2019. Disponible: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109639.

[5] T. Schneider, D. Müller y J. Karl, "A review of thermochemical biomass conversion combined with Stirling engines for the small-scale cogeneration of heat and power", *Renewable Sustain. Energy Rev.*, vol. 134, pp. 110288, diciembre de 2020. Disponible: https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110288.

[6] S. Karytsas, I. Vardopoulos y E. Theodoropoulou, "Factors Affecting Sustainable Market Acceptance of Residential Microgeneration Technologies. A Two Time Period Comparative Analysis", *Energies*, vol. 12, n.º 17, pp. 3298, agosto de 2019. Accedido el 15 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.3390/en12173298.

[7] A. C. Ferreira, J. Silva, S. Teixeira, J. C. Teixeira y S. A. Nebra, "Assessment of the Stirling engine performance comparing two renewable energy sources: Solar energy and biomass", Renewable Energy, vol. 154, p. 581–597, Disponible: https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.020.

[8] Y. Torreiro, L. Pérez, G. Piñeiro, F. Pedras y A. Rodríguez-Abalde, "The Role of Energy Valuation of Agroforestry Biomass on the Circular Economy", *Energies*, vol. 13, n.º 10, pp. 2516, mayo de 2020. Disponible: https://doi.org/10.3390/en13102516.

[9] W. Drożdż, Y. Bilan, M. Rabe, D. Streimikiene y B. Pilecki, "Optimizing biomass energy production at the municipal level to move to low-carbon energy", *Sustain. Cities Soc.*, vol. 76, pp. 103417, enero de 2022. Disponible: https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103417.

[10] A. C. Biboum, A. Yilanci y R. Mouangue, "Comparative analysis of hybrid renewable energy systems based on concentrating solar and biomass technologies for Faro-Poli , Cameroon", *Environmental Prog. & Sustain. Energy*, junio de 2022. Disponible: https://doi.org/10.1002/ep.13933.

[11] A. Barragán-Escandón, D. Jara-Nieves, I. Romero-Fajardoc, E. F. Zalamea-Leónesteban y X. Serrano-Guerrero, "Barriers to renewable energy expansion: Ecuador as a case study", Energy Strategy Rev., vol. 43, pp. 100903, septiembre de 2022. Disponible: https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100903.

[12] F. S. Marra, F. Miccio, R. Solimene, R. Chirone, M. Urciuolo y M. Miccio, "Coupling a Stirling engine with a fluidized bed combustor for biomass", Int. J. Energy Res., vol. 44, n.º 15, p. 12572–12582, julio de 2020. Disponible: https://doi.org/10.1002/er.5662.

[13] G. Manfrida y L. Talluri, "Fluid dynamics assessment of the Tesla turbine rotor", *Thermal Sci.*, vol. 23, n.º 1, p. 1–10, 2019. Disponible: https://doi.org/10.2298/tsci160601170m.

[14] A. d. F. D'ercole, G. T. M. Silva, J. G. B. Dos Santos y E. R. Carvalho, "Dynamo in tesla turbine, based on recyclable materials, for decentralized energy generation and recharge batteries: system evaluations", *Latin Amer. J. Energy Res.*, vol. 8, n.º 2, p. 14–26, enero de 2022. Disponible: https://doi.org/10.21712/lajer.2021.v8.n2.p14-26.

[15] J. Allen, "A model for fluid flow between parallel, co-rotating annular disks", MS Thesis, Dayton University, 1973.

 ISSN: 2007 8102

Monitoreo Automatizado de la Calidad del Agua en Granjas Acuícolas Utilizando un Dron

Mendoza-López Ramón[1], Verduzco-Ramírez Jesús-Alberto[1], Barrios-Hernández Carlos-Jaime[2], García-Díaz Noel[1], Morán-López Luis-Eduardo[3]*
[1]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Colima
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Av. Tecnológico No. 1, Col. Liberación, Villa de Álvarez, Colima, C.P. 28976
[2]Universidad Industrial de Santander
[3]Universidad de Colima
G2246014, averduzco, ngarcia {@colima.tecnm.mx}, cbarrios@uis.edu.co, lmoran72@ucol.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica*

Resumen

La producción en la acuicultura es afectada por diversos factores, siendo la calidad del agua en los estanques de cultivo un elemento vital. Garantizar un estado óptimo del agua de cultivo es esencial y requiere un monitoreo continuo. Sin embargo, los métodos actuales son laboriosos, costosos, lentos y propensos a errores, lo que pone en riesgo el cultivo. Este trabajo aborda los desafíos técnicos y las consideraciones de diseño para desarrollar un eficiente sistema de monitoreo mediante un dron. Incluye aspectos cruciales como la selección de sensores para medir la calidad del agua, el uso de algoritmos de navegación, estrategias de rutas de monitoreo y la integración de elementos de protección y flotación. Los resultados muestran las ventajas potenciales de emplear un dron acuícola en términos de costo, accesibilidad y precisión en la obtención de datos, lo que contribuye a optimizar el proceso de monitoreo en granjas acuícolas.

***Palabras clave**: Acuicultura, Calidad del Agua, Monitoreo Automatizado, Dron.*

Abstract

Production in aquaculture is affected by several factors, with water quality in culture ponds being a vital element. Ensuring optimal crop water status is essential and requires continuous monitoring. However, current methods are laborious, costly, time-consuming and error-prone, putting the crop at risk. This paper addresses the technical challenges and design considerations for developing an efficient drone monitoring system. It includes crucial aspects such as the selection of sensors to measure water quality, the use of navigation algorithms, monitoring route strategies and the integration of protection and flotation elements. The results show the potential advantages of using an aquaculture drone in terms of cost, accessibility and accuracy in obtaining data, which contributes to optimizing the monitoring process in aquaculture farms.

***Key words**: Aquaculture, Water Quality, Automated Monitoring, Drone.*

Introducción

La acuicultura es una actividad económica primaria basada en el cultivo y producción de organismos de agua dulce o salada. Esta práctica convierte las presas, lagos, ríos, océanos y espejos de agua artificiales en zonas de explotación de recursos naturales marinos [1]. La calidad del agua desempeña un papel fundamental en el proceso de cultivo de las especies acuáticas, su estado es determinante para el éxito del cultivo [2]. De no ser la recomendada para la especie, causa múltiples afectaciones, tales como: falta de apetito, estrés, enfermedades, falta de crecimiento, etc., reflejándose en una producción muy deficiente y originando la pérdida de rentabilidad del negocio a los productores acuícolas [3].

Para determinar la calidad del agua de los estanques de cultivo, es necesario tener en cuenta principalmente cuatro parámetros: el oxígeno disuelto, el pH, la salinidad y la temperatura [4]. Estos parámetros deben ser medidos de manera continua durante todo el ciclo de cultivo con el fin de detectar valores fuera de los rangos establecidos y aplicar oportunamente los tratamientos necesarios para mantenerlos en estos rangos y, con ello, minimizar el impacto negativo en la especie cultivada [5].

ISSN: 2007 8102

Actualmente, en la mayoría de las granjas acuícolas, se emplean dos métodos para monitorear los parámetros mencionados. Uno es el método manual, consiste en que una persona vaya de estanque en estanque tomando las mediciones usando un medidor multiparamétrico [4]. Este método ha demostrado su ineficacia, pues es propenso a errores e incorrectas interpretaciones, además de lento para informar de manera expedita la variabilidad de los parámetros, retrasando la toma oportuna de decisiones tendientes a recuperar el correcto estado del agua. El otro método es el proceso automatizado de monitoreo, permite conocer en todo momento el comportamiento de estos parámetros incorporando la funcionalidad de detectar y notificar valores fuera de los rangos establecidos que pongan en riesgo el cultivo [6]. Este método de monitoreo se realiza con estaciones fijas en un punto, sin considerar el comportamiento de los parámetros en otras áreas de los estanques. Una oportunidad de mejora de este método se basa en monitorear los estanques en todo el volumen del cuerpo de agua. Las soluciones existentes no contemplan este aspecto.

La superficie de los estanques de cultivo varía de 8 m^2 en estanques de geomembrana hasta más de 1,000 m^2 en estanques de tierra, se deduce que los valores de los parámetros del agua no guardan un comportamiento uniforme, sino que varían de una zona a otra al interior del mismo estanque [7]. Esto implica que, para lograr un monitoreo uniforme en todo el cuerpo del estanque, se requeriría la instalación de varias estaciones de monitoreo en diferentes zonas o el uso de una estación móvil capaz de desplazarse sobre la superficie total de los estanques. Además, es importante tomar en cuenta que la mayoría de las granjas acuícolas cuentan con más de un estanque de cultivo, lo que implicaría la necesidad de al menos una estación de monitoreo por cada uno de ellos. Estos aspectos representan inversiones fuera del alcance del presupuesto, especialmente para acuicultores con instalaciones de pequeña/mediana escala.

Una solución novedosa que contribuye a paliar los inconvenientes del método manual y el de las estaciones fijas, consiste en implementar un vehículo aéreo (dron) configurado con los elementos necesarios para realizar recorridos y acuatizar en varios puntos sobre la superficie de los estanques para la lectura de los parámetros de calidad del agua, logrando describir su estado de manera homogénea en todo su volumen.

Varios trabajos han abordado el uso de drones para este ámbito, destacando su potencial para cumplir con aspectos del muestreo de parámetros fisicoquímicos que satisfaga los programas de monitoreo del agua a gran escala de un modo seguro, eficiente y rentable [8]. Se han implementado soluciones a un nivel general de monitoreo de sitios de acuicultura que se basan en vigilancia visual utilizando un dron autónomo cuyo sistema de control está basado en la nube computacional, logrando integrar diferentes modelos de reconocimiento basados en inteligencia artificial [9]. Asimismo, se ha combinado la adquisición de información espectral de imágenes tomadas por drones con una red de sensores inalámbricos en estanques de cultivo con el fin de diseñar una predicción de parámetros de la calidad del agua [10]. Además, se han desarrollado y probado sistemas de muestreo de agua implementados con un dron y un mecanismo que captura el agua con experimentación en exteriores e interiores, mostrando su potencial para la toma de muestra en cuerpos de agua extensos [11]. A su vez, el uso de drones acoplados con un medidor multisonda construido con sensores para medir los parámetros en el agua, han permitido desarrollar sistemas de medición de la calidad del agua, obteniendo diferencias de porcentajes mínimas entre los resultados de medición usando el dron y de manera manual [12].

Este trabajo tiene el propósito de dotar a los acuicultores de pequeña/mediana escala, con un producto tecnológico basado en un método de monitoreo automatizado de la calidad del agua en granjas acuícolas utilizando un dron. Consiste en la implementación de módulos funcionales a la estructura de un dron, cubriendo los requisitos necesarios para garantizar la seguridad del vuelo, el monitoreo de los parámetros, la flotación y la capacidad de crear rutas basadas en estrategias de monitoreo.

Metodología

Para el desarrollo de esta propuesta en fases ordenadas y de manera incremental, se aplicaron las pautas de la metodología en espiral de Pressman [13]. Para llevar a cabo el desarrollo se identificaron y establecieron los objetivos para cada uno de los módulos funcionales en los que se estructuró el proyecto.

Módulos funcionales

La Figura 1 muestra los dos módulos funcionales que integran la propuesta. El primero corresponde al dron, equipado con los módulos de flotación y monitoreo. El segundo se basa en la estación de control terrestre formada por el módulo de control y programación, que incluye la creación de rutas de monitoreo y de tolerancia a fallas. Estos dos módulos intercambian mensajes de control utilizando facilidades de comunicación. Finalmente, el usuario puede controlar el dron manualmente utilizando un radio control o por medio de un software para configurar y programar las rutas de monitoreo.

 ISSN: 2007 8102

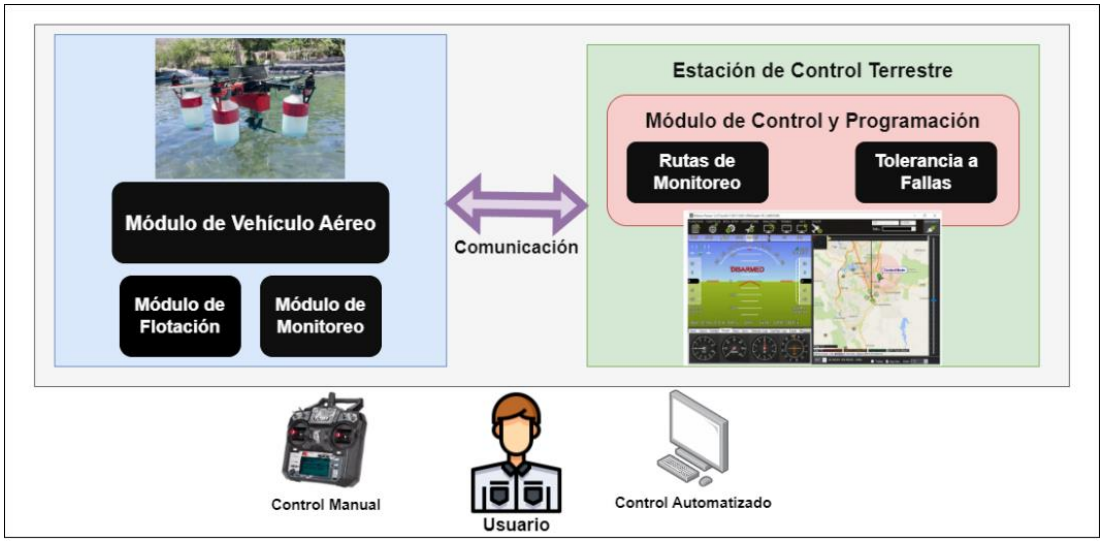


Figura 1. Esquema General de los Módulos Funcionales (Fuente: Propia).

Módulo de vehículo aéreo

Este módulo comprende los componentes físicos que conforman el cuerpo del dron. Estos elementos incluyen el chasis, los motores, los controladores electrónicos de velocidad, las hélices, el controlador de vuelo, el sistema de posicionamiento global (GPS), el transmisor de radio telemetría y la batería. Un componente importante es el controlador de vuelo, que actúa como el cerebro del dron. Para este prototipo, se ha utilizado el modelo "Pixhawk" [14], un controlador de hardware libre ampliamente utilizado en la automatización de vehículos. Para implementar este módulo, se ha seleccionado la base de un hexacóptero. En la Tabla 1 se describen las características principales de los componentes, considerando su peso para utilizarlo en el diseño del módulo de flotación.

Tabla 1. Especificaciones de los Componentes del Dron (Fuente: Propia).

Componente	Modelo	Especificaciones	Función	Peso (g)
Batería (Li-Po)	Turnigy 5.0	25C 3S 5000 mAh	Fuente de alimentación	412
Controlador	Pixhawk 2.4.8	Hardware abierto	Control de vuelo	42
GPS	SE100	10 Hz	Ubicación y orientación	45
Hélices (6)	1045	Fibra de carbono	Propulsión	51
Marco	F550	Fibra de vidro y nylon	Base para sostener otros componentes	540
Módulo de alimentación	XT60	2.25A 5.3V 6S	Alimenta el controlador y mide el consumo	25
Motores (6)	920KV	Sin escobillas	Actuador principal	318
Radio telemetría	Holybro	915 MHz	Comunicación con estación terrestre	24
Receptor de radio control	R8EF	2.4 GHz	Recibir comando del radio control	8
Variadores (6)	Simonk	30A	Control de velocidad de los motores	160
		Total:		**1,625 g**

Módulo de monitoreo

El objetivo de este módulo es adquirir los valores de los cuatro parámetros que determinan la calidad del agua: temperatura, oxígeno disuelto, pH y salinidad. Está compuesto por sensores, sondas, una tarjeta de control, una unidad de tiempo real y una memoria micro-SD. Los sensores utilizados en este módulo son de la marca "Atlas Scientific" [15]. Cada sensor lleva acoplada una sonda que se introduce en el agua y actúa como transductor de la información para cada parámetro. Estos sensores ofrecen una funcionalidad que asegura que los valores medidos describen con precisión cada parámetro.

 ISSN: 2007 8102

La Figura 2 muestra el diagrama de conexiones y el diagrama de flujo del módulo de monitoreo. Como se puede observar, se utilizó una tarjeta Arduino Uno para controlar los sensores de monitoreo, un módulo de almacenamiento en memoria micro-SD para guardar los datos y un módulo de reloj de tiempo real para obtener la fecha y hora. Cabe destacar que la tarjeta Arduino Uno actúa como una unidad esclava del controlador Pixhawk que la activa con un requerimiento de interrupción para realizar la lectura de los sensores.

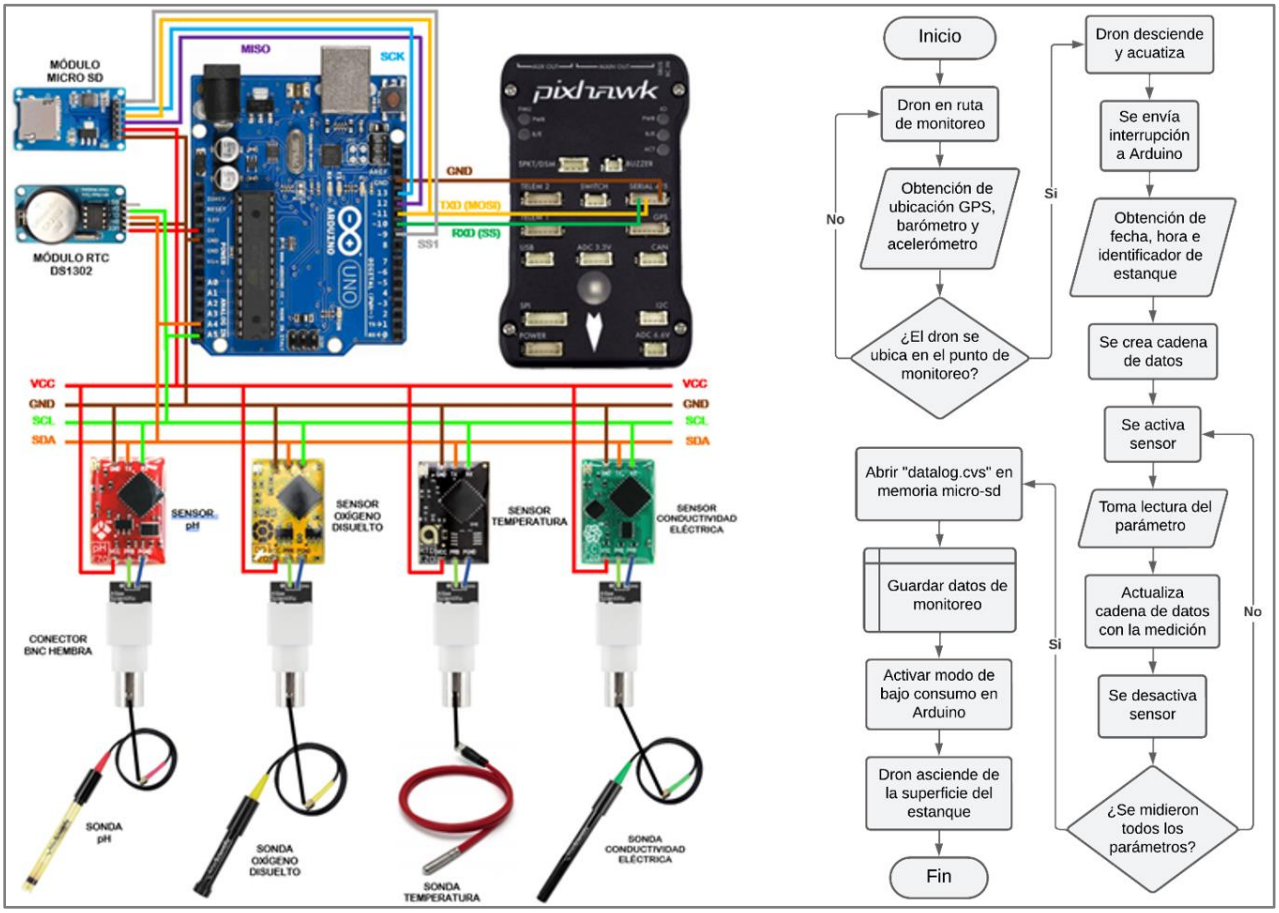


Figura 2. Diagrama de Conexiones y Diagrama de Flujo del Módulo de Monitoreo (Fuente: Propia).

Para integrar el módulo de monitoreo al cuerpo del dron, se diseñó una carcasa utilizando el software Fusion 360 [16]. Este elemento fue diseñado con el propósito de contener, proteger y aislar los componentes electrónicos del agua, cuenta con dimensiones de 19x5x6 cm. Para garantizar una protección adicional, los circuitos electrónicos se recubrieron con una sustancia anticorrosiva. La Figura 3 muestra el modelo desarrollado. Este módulo añade un peso de 400 gramos al dron.

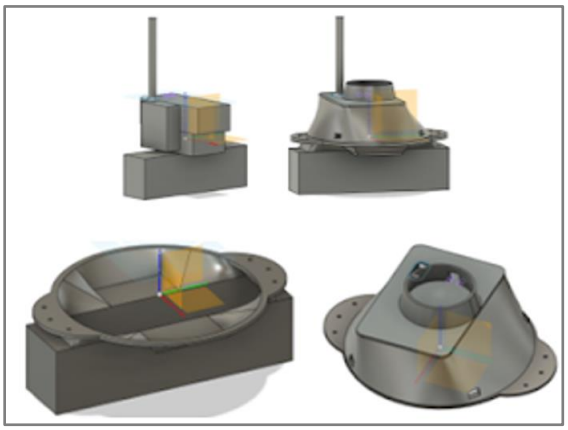


Figura 3. Modelado de la Carcasa de Protección que Integra los Sensores de Monitoreo (Fuente: Propia).

 ISSN: 2007 8102

Módulo de flotación

Este módulo es un elemento acoplado a la parte inferior del dron, cuyo objetivo es garantizar una flotación estable en la superficie de los estanques acuícolas. Para su diseño, se consideraron los siguientes parámetros:

1. **Peso.** El peso del dron, sin tener en cuenta el módulo de flotación, es de 2,025 gramos.
2. **Área de flotación.** Esta área permite distribuir el peso del dron en el agua, proporcionando estabilidad y minimizando los riesgos de hundimiento.
3. **Materiales.** Se utilizaron cilindros de PET (Polietileno Tereftalato) como elementos de flotación debido a su ligereza, resistencia y capacidad para contener un volumen de aire.

La Figura 4 muestra el diseño del módulo de flotación, modelado en el software Fusion 360. Consiste en 6 cilindros de PET con dimensiones de 24 cm de alto y 8 cm de diámetro, cada uno con capacidad para contener 1 litro de aire. Estos cilindros se colocaron en el extremo de cada brazo del dron. Junto con el sistema de sujeción, este diseño añade un peso de 175 gramos al dron, lo que resulta en un peso total del dispositivo de 2.2 kg.



Figura 4. Modelado del Módulo de Flotación (Fuente: Propia).

Para realizar el cálculo de la fuerza de flotación (Ff) se aplicó el principio de Arquímedes [17], mostrado en (1):

$$Ff = \rho * V * g \tag{1}$$

Donde:
ρ es la densidad del fluido.
V es el volumen del fluido desplazado por el objeto.
g es la aceleración debida a la gravedad.

Para llevar a cabo los cálculos correspondientes al módulo de flotación, se consideró lo siguiente:

- **Densidad del agua:** 1,000 kg/m³
- **Volumen de un cilindro:** 0.001m³
- **Fuerza de la gravedad:** 9.81 m/s²

Sustituyendo los valores en (1):

$$Ff = (1000\,kg/\mathrm{m}^3) * (0.001\ \mathrm{m}^3) * (9.81\,m/s^2) = 9.81\,N$$

Se obtuvo que un cilindro tiene una fuerza de flotación de 9.81 N. Considerando que se utilizan seis cilindros en el dron, se obtiene una fuerza de flotación de 58.86 N.

Para obtener la masa (en kg) que el módulo de flotación es capaz de soportar, se aplicó la segunda ley de Newton [18], mostrada en (2):

$$F = m * a \tag{2}$$

Donde:
F es la fuerza.
m es la masa en kg.
a es la aceleración debida a la gravedad.

 ISSN: 2007 8102

Sustituyendo los valores de la fuerza de flotación y de la gravedad, se despejó (2) para encontrar la masa, obteniendo:

$$m = \frac{Ff6cilindros}{a} = \frac{58.86\ kg * m/s^2}{9.81\ m/s^2} = 6\ kg$$

Se obtuvo que, con la fuerza de flotación proporcionada por los cilindros, se puede soportar una masa de hasta 6 kg. Entonces, considerando el peso final del dron de 2.2 kg, se obtiene un coeficiente de seguridad de 2.7.

Módulo de control y programación

Este módulo se basa en la estación de control terrestre, la cual es un software que gestiona el funcionamiento del dron durante sus operaciones y los recorridos de rutas de monitoreo. En este proyecto, se utilizó el software "Mission Planner" [19], desarrollado por "Ardupilot" [20]. Es un software de libre distribución, que proporciona un entorno gráfico para configurar distintos controladores de vehículos, calibrar los sensores de navegación y configurar dispositivos de entrada y salida. Además, permite la creación de rutas basadas en coordenadas GPS. A través de esta estación de control terrestre, se pueden planificar y establecer rutas de monitoreo, así como activar la tolerancia a fallas. A continuación, se detallan ambas funcionalidades:

- **Rutas de monitoreo.** Para la creación de rutas, el software "Mission Planner" ofrece una sección denominada "Flight Planner", que utiliza comandos y parámetros específicos. El procedimiento para crear las rutas se basa en una imagen satelital que muestra la posición actual del dron y los puntos del recorrido. Esta representación visual permite planificar de manera simple las rutas de monitoreo del dron.

- **Tolerancia a fallas.** La tolerancia a fallas es un subsistema incluido en la estación de control terrestre, que se ejecuta previamente y durante el vuelo. Consiste en un conjunto de rutinas de verificación, cuyo objetivo es prevenir accidentes del dron. Para este fin, se comprueban los componentes de navegación como GPS, barómetro, acelerómetro, brújula, giroscopio, entre otros. También se verifica el voltaje de la batería y el estado de la conexión con la estación terrestre. En caso de presentarse alguna falla durante el vuelo, este se cancela automáticamente y el dron regresa a la base de despegue.

Estrategias de monitoreo

Las granjas acuícolas utilizan diversos tipos de estanques de producción, pero principalmente destacan dos: los estanques construidos con geomembrana y los estanques de tierra o tradicionales. Los estanques construidos con geomembrana presentan dimensiones de 3 a 30 metros de diámetro, con una profundidad de 1.20 metros. Los estanques de tierra o tradicionales se elaboran cavando pozos en la tierra, aprovechando las características naturales de rocas y diversos elementos para la contención del agua. Estos estanques poseen dimensiones de hasta 10,000 m².

Para obtener un monitoreo homogéneo relacionado con el volumen de los estanques, se diseñaron dos estrategias. La primera estrategia se aplica a los estanques de geomembrana, los cuales tienen una dimensión máxima de 30 metros de diámetro. En este caso, se consideró únicamente un punto de monitoreo para el descenso del dron y la lectura de los parámetros. Esto se debe a que se estima que, en cualquier punto dentro del volumen de agua, los cuatro parámetros presentan un comportamiento cuya variabilidad no es relevante para el monitoreo general. La Figura 5 describe el procedimiento que sigue el dron durante el monitoreo en un recorrido que abarca dos estanques.

La segunda estrategia se aplica en estanques cuya extensión supera los 900 m². En este tipo de estanques, la distribución de los parámetros, en específico del oxígeno disuelto, no suele ser homogénea en todo su volumen, siendo notable esta diferencia a partir de los 30 metros de distancia [21-23]. Basado en este criterio, se consideró implementar una división estratégica en sectores de 30x30 metros, situando el punto de monitoreo al centro de estos recuadros debido a que es el punto de máxima concentración del oxígeno. La difusión del oxígeno disuelto en el agua de un estanque se puede describir mediante la Ley de Fick para la difusión [24]. Si colocamos un aireador en un punto “X” del estanque, la lectura de oxígeno disuelto en ese punto es del 100%. A partir de ese punto, se puede calcular el decremento de porcentaje de oxígeno por metro, hasta llegar a los 30 metros con un valor del 40% representando lo mínimo necesario para la supervivencia de las especies, estas pruebas fueron realizadas en estanques de tilapias en etapa de engorda. La Figura 6 muestra el procedimiento para el monitoreo en estanques extensos.

 ISSN: 2007 8102

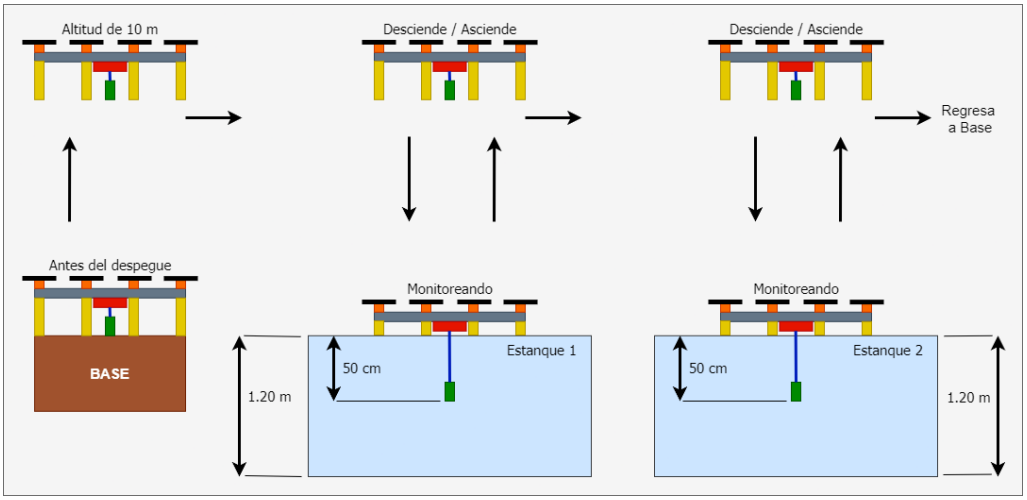


Figura 5. Rutina de Monitoreo de Dos Estanques con un Punto de Monitoreo (Fuente: Propia).

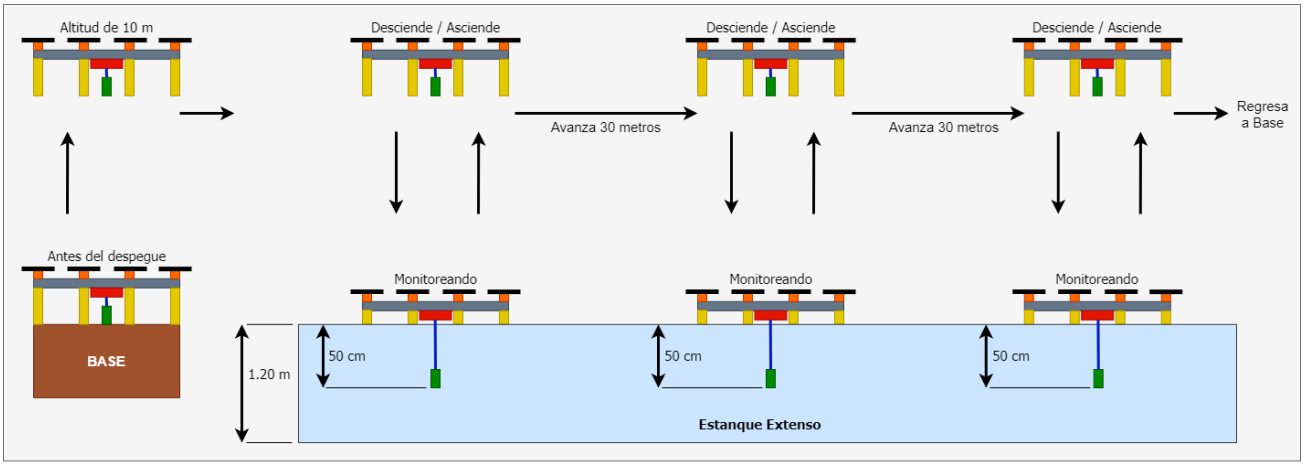


Figura 6. Rutina de Monitoreo de un Estanque con Múltiples Puntos de Monitoreo (Fuente: Propia).

Resultados y discusión

Una vez desarrollados e integrados los módulos al dron para el monitoreo de la calidad del agua en estanques acuícolas, se llevaron a cabo un conjunto de pruebas con el objetivo de validar su funcionalidad. Se consideraron tres pruebas que buscan validar funcionalidades críticas de este dispositivo.

Prueba de flotación

La flotación del dispositivo fue puesta a prueba en diferentes condiciones, consistiendo en lo siguiente:

- **Estabilidad en la flotación.** Para esta prueba, se colocó el dron de manera manual en la superficie de un estanque y se analizó el comportamiento durante el tiempo contemplado para el monitoreo. Durante este tiempo, se crearon olas de baja intensidad y hubo ráfagas de viento controlado.
- **Comportamiento al acuatizar.** En esta prueba, el dron acuatizó en la superficie de un estanque, simulando un escenario real, supervisando el nivel de hundimiento adicional de los cilindros que ejerce la velocidad vertical del descenso.

Los resultados de las pruebas fueron satisfactorios, al no superar los 5 cm de hundimiento adicional en los cilindros y presentando una flotación estable aún en condiciones provocadas de viento y olas. La Figura 7 muestra al dispositivo flotando en un estanque de cultivo de tilapia.

 ISSN: 2007 8102



Figura 7. Dron de Monitoreo Acuícola en la Prueba de Flotación (Fuente: Propia).

Prueba de precisión en el punto de acuatizaje

Para realizar esta prueba, se utilizó un espacio abierto donde se estableció un punto de despegue y aterrizaje específico para el dron. Después de completar el recorrido, el dron regresó al punto de despegue. Para determinar la precisión en el aterrizaje, se midió la distancia entre la ubicación del dron y el punto marcado inicialmente. La Figura 8 muestra los resultados de una batería de 10 pruebas realizadas.

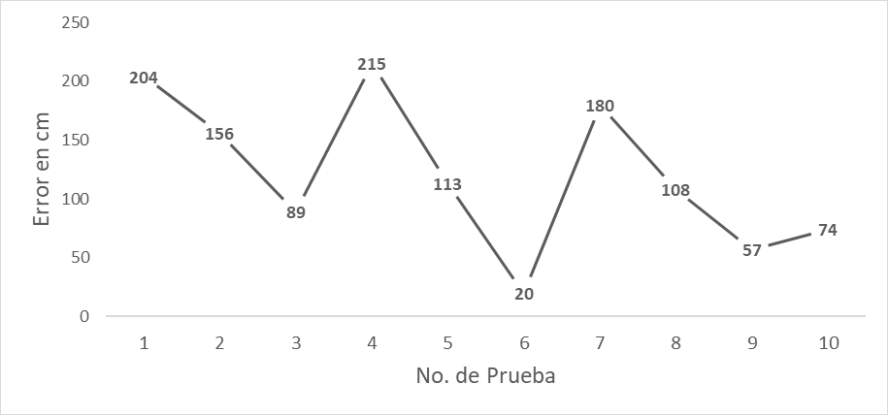


Figura 8. Resultados de las Pruebas de Precisión (Fuente: Propia).

El promedio del error fue de aproximadamente 105.9 cm y la desviación estándar de 63.9 cm, lo que indica una variabilidad significativa en la precisión de los aterrizajes. Esta variabilidad es ocasionada por el número de satélites conectados al GPS; entre más satélites tenga conectados, mayor grado de precisión se obtendrá. Este factor debe de considerarse al planear las rutas de monitoreo y el punto de acuatizaje.

Prueba de autonomía

El objetivo de esta prueba es determinar la autonomía del prototipo desarrollado. Se realizaron dos tipos de pruebas de vuelo, de acuerdo con las dos estrategias de monitoreo diseñadas. En el desarrollo de estas pruebas, no se tuvieron en cuenta factores ambientales como la velocidad del viento, la temperatura ambiente, entre otros. El procedimiento consistió en configurar el dron con una velocidad de despegue y aterrizaje de 2 m/s, así como una velocidad de desplazamiento horizontal de 5 m/s, mientras se variaba la altitud y la distancia recorrida. En

 ISSN: 2007 8102

cada una de las pruebas, se midió el voltaje de la batería antes y después con el objetivo de determinar el consumo de energía y así obtener el rendimiento energético de este prototipo. La Tabla 2 muestra los resultados.

Tabla 2. Resultados de la Prueba de Autonomía (Fuente: Propia).

Tipo de Prueba	Descripción	Recorrido	Voltaje Inicial	Voltaje Final	Consumo de Voltaje	Rendimiento
Monitoreo a estanques con un punto de monitoreo	Altitud de 10 m, recorrido de 50 m y aterrizaje	500 m^2	12.6 V	11.92 V	0.68 V	1.36 mV/m
	Altitud de 10 m, recorrido de 20 m y aterrizaje	200 m^2	12.6 V	12.28 V	0.32 V	1.6 mV/m
	Altitud de 10 m, recorrido de 70 m y aterrizaje	700 m^2	12.6 V	11.77 V	0.83 V	1.18 mV/m
Monitoreo a estanque con múltiples puntos de monitoreo	Altitud de 10 m, recorrido de 45 m y aterrizaje	450 m^2	12.6 V	11.96 V	0.64 V	1.42 mV/m
	Altitud de 10 m, recorrido de 30 m y aterrizaje	300 m^2	12.6 V	12.16 V	0.44 V	1.46 mV/m
	Altitud de 10 m, recorrido de 100 m y aterrizaje	1000 m^2	12.6 V	11.52 V	1.08 V	1.08 mV/m
Promedio del voltaje consumido por metro:						**1.35 mV/m**

Los resultados de esta prueba muestran un rendimiento promedio de 1.35 mV/m. Estos resultados determinan la relación de la distancia con el rendimiento, a menor distancia recorrida se presenta un menor rendimiento, debido principalmente a que los movimientos de despegue y aterrizaje demandan una mayor potencia del dron y, por consecuencia, un mayor consumo de energía que se atenúa al realizar los recorridos.

Trabajo a futuro

Para la continuación de este trabajo, se proporcionan las siguientes pistas:

- La precisión del acuatizaje en los puntos de monitoreo se ve comprometida por el funcionamiento del GPS, se propone complementar la obtención de la ubicación mediante la incorporación de un sistema de reconocimiento de estanques integrado en el dron, basado en el procesamiento de imágenes utilizando redes neuronales.
- Para incrementar la usabilidad de este dispositivo, se propone integrar un módulo de agenda en el software de la estación de control terrestre que posibilite al usuario la calendarización de las rutas de monitoreo.

Conclusiones

Este trabajo reporta el desarrollo de un método de monitoreo automatizado de la calidad del agua aplicado en granjas de cultivo mediante el uso de un dron acuícola, un hexacóptero al que se le han acoplado módulos de monitoreo y de flotación. Los niveles de usabilidad implementados en este dispositivo ofrecen un modo de operación manual orientado a usuarios expertos en el manejo de drones, así como un modo automatizado pensado para usuarios con poca experiencia. Este modo automatizado utiliza un software para diseñar las rutas de monitoreo bajo un entorno gráfico, con la ayuda de mapas y coordenadas GPS.

Comparado con los métodos manuales y de estación fija en un punto, este desarrollo tecnológico responde a las necesidades de los acuicultores de contar con un monitoreo homogéneo que describa la calidad del agua en el volumen total de los estanques de cultivo. Esto se logra al aplicar estrategias específicas que consideran el tipo de estanque acuícola, sus dimensiones y el comportamiento de los parámetros de calidad del agua en el cuerpo del estanque, particularmente el oxígeno disuelto, contribuyendo de esta manera a generar un entorno más propicio para el desarrollo de las especies cultivadas.

Los resultados obtenidos demuestran las ventajas potenciales de los drones como una opción viable para el monitoreo automatizado de la calidad del agua. Considerando los aspectos de costos, accesibilidad y precisión en este proceso, se resaltan las ventajas significativas de este enfoque en comparación con los métodos actualmente empleados, lo que lo convierte en una opción al alcance de los productores acuícolas.

 ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] S. de A. y D. Rural, “Acuacultura, producción y conservación de organismos acuáticos”, *gob.mx*. http://www.gob.mx/agricultura/articulos/acuacultura-produccion-y-conservacion-de-organismos-acuaticos (accedido 6 de julio de 2023).

[2] “2. MEJORA DE LA CALIDAD DE AGUA EN LOS ESTANQUES”. https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s02.htm (accedido 6 de julio de 2023).

[3] C. E. Boyd, “Chapter 6 - General Relationship Between Water Quality and Aquaculture Performance in Ponds”, en Fish Diseases, G. Jeney, Ed., Academic Press, 2017, pp. 147-166. doi: 10.1016/B978-0-12-804564-0.00006-5.

[4] J. Verduzco-Ramírez et al., “Dispositivo portátil para monitoreo de calidad del agua en granjas acuícolas de camarón”, Ingeniantes, vol. 2, no. 2, pp. 54-59, 2019.

[5] “¿Cómo se mide la calidad del agua en la acuicultura?”, Envira IOT, 14 de junio de 2019. https://enviraiot.es/mide-calidad-agua-acuicuiltura/ (accedido 6 de julio de 2023).

[6] M. Olivo-Gutiérrez et al., “Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón”, Científica, vol. 22, n.º 2, pp. 87-95, 2018.

[7] Z. Duan, Y. Li, J. Wang, G. Zhao, y S. Svanberg, “Aquatic environment monitoring using a drone-based fluorosensor”, *Appl. Phys. B*, vol. 125, n.º 6, p. 108, may 2019, doi: 10.1007/s00340-019-7215-y.

[8] H. T. Lally, I. O’Connor, O. P. Jensen, y C. T. Graham, “Can drones be used to conduct water sampling in aquatic environments? A review”, *Science of The Total Environment*, vol. 670, pp. 569-575, jun. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.252.

[9] N. A. Ubina, S.-C. Cheng, H.-Y. Chen, C.-C. Chang, y H.-Y. Lan, “A Visual Aquaculture System Using a Cloud-Based Autonomous Drones”, *Drones*, vol. 5, n.º 4, Art. n.º 4, dic. 2021, doi: 10.3390/drones5040109.

[10] L. Wang *et al.*, “Dynamic Inversion of Inland Aquaculture Water Quality Based on UAVs-WSN Spectral Analysis”, *Remote Sensing*, vol. 12, n.º 3, Art. n.º 3, ene. 2020, doi: 10.3390/rs12030402.

[11] C. Koparan, A. B. Koc, C. V. Privette, C. B. Sawyer, y J. L. Sharp, “Evaluation of a UAV-Assisted Autonomous Water Sampling”, *Water*, vol. 10, n.º 5, Art. n.º 5, may. 2018, doi: 10.3390/w10050655.

[12] C. Koparan, A. B. Koc, C. V. Privette, y C. B. Sawyer, “In Situ Water Quality Measurements Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) System”, *Water*, vol. 10, n.º 3, Art. n.º 3, mar. 2018, doi: 10.3390/w10030264.

[13] R. S. Pressman, “Ingeniería de Software”, McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2010.

[14] “Pixhawk Overview — Copter documentation”. https://ardupilot.org/copter/docs/common-pixhawk-overview.html (accedido 7 de julio de 2023).

[15] “Atlas Scientific | Environmental Robotics”, *Atlas Scientific*. https://atlas-scientific.com/ (accedido 9 de julio de 2023).

[16] “Fusion 360 | Software CAD, CAM, CAE y de circuitos impresos 3D basado en la nube | Autodesk”. https://www.autodesk.mx/products/fusion-360/overview (accedido 11 de julio de 2023).

[17] L. Vite Terán, “Principio de Arquímedes”, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n3/m4.html (accedido 11 de julio de 2023).

[18] G. B. Córdova, “Aplicaciones de la Segunda Ley de Newton”, *Revista Mexicana de Bachillerato a Distancia*, vol. 1, n.º 1, Art. n.º 1, feb. 2009, doi: 10.22201/cuaed.20074751e.2008.1.46998.

[19] “Mission Planner Overview — Mission Planner documentation”. https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html (accedido 7 de julio de 2023).

[20] ArduPilot, “ArduPilot”, *ArduPilot.org*. https://ardupilot.org (accedido 7 de julio de 2023).

[21] C. E. Boyd, “Water Quality for Pond Aquaculture”. International Center for Aquaculture and Aquatic Environments, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, 1998.

[22] R. H. Mejía, “Dinámica del oxígeno disuelto en una laguna facultativa”, *Agua, Saneamiento & Ambiente*, vol. 15, n.º 1, Art. n.º 1, dic. 2020, doi: 10.36829/08ASA.v15i1.1136.

[23] “Dinámica del oxígeno disuelto - Responsible Seafood Advocate”, *Global Seafood Alliance*, 4 de septiembre de 2018. https://www.globalseafood.org/advocate/dinamica-del-oxigeno-disuelto/ (accedido 19 de julio de 2023).

[24] H. S. Celi Freire, “Factores que contribuyen a la variación espacial de la concentración de oxígeno disuelto en estanques acuícolas en época fría”, 2021, Accedido: 19 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/17512.

 ISSN: 2007 8102

Variación de la Fuerza de Arrastre en un Retrovisor al Implementar Relieves en U

Israel Gonzalez-Neria[1], Alejandro Alonzo-García[2], Sergio A. Martínez-Delgadillo[3], J. Antonio Yañez-Varela[4], Jesús E. Lugo-Hinojosa[5],*
[1]División de Gestión de la Producción, Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl, Nezahualcóyotl, Estado de México C.P. 57000, México. isrgonner@gmail.com, [2]CONACyT-Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Nuevo León, Av. Eloy Cavazos No. 2001, Colonia Tolteca, Cd. Guadalupe, N.L., C.P. 67170, México. aalonzo@conahcyt.mx, [3]Universidad Autónoma Metropolitana. Av. San Pablo 420, Col. Nueva el Rosario, C.P. 02128, CDMX. samd@azc.uam.mx, [4]Unidad de Estudios Superiores Tultitlán, Universidad Mexiquense del Bicentenario, Av. Ex Hacienda de los Portales, s.n. CP. 54910, Tultitlán, Estado de México, Mexico. antonioy2v@gmail.com,[5]Universidad Autónoma Metropolitana. Av. San Pablo 420, Col. Nueva el Rosario, C.P. 02128, CDMX. Jessedulugo@gmail.com

***Área de participación**: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica*

Resumen

Este trabajo muestra los resultados obtenidos al modificar la geometría de un retrovisor, con el objetivo de reducir el arrastre que se genera por la interacción con el aire que lo rodea. La modificación se inspiró en estudios de biomimética, ciencia que estudia las características de la naturaleza y las replica para generar soluciones útiles al ser humano. En este caso en particular las investigaciones están relacionadas con las características que poseen algunos animales para obtener una reducción del arrastre, cuando éstos se desplazan en su entorno. Lo cual llevo a la implementación de relieves en forma de U sobre las superficies laterales del retrovisor. El análisis aerodinámico se realizó mediante una herramienta de dinámica de fluidos computacional, implementando una simulación numérica en estado estable con un modelo de turbulencia denominado “κ-ε realizable”, con el fin de determinar los mecanismos que permiten decrementar el arrastre.

***Palabras clave**: retrovisor, arrastre, vórtices.*

Abstract

This paper presents the results obtained by modifying the geometry of a rear-view mirror in order to reduce the drag generated by the interaction with the surrounding air. The modification was inspired by biomimetic studies, a science that studies the characteristics of nature and replicates them to generate useful solutions for humans. In this particular case, the research is related to the characteristics of some animals in order to obtain a reduction in drag when they move in their environment. This led to the creation of U-shaped riblets on the sides of the rear-view mirror. The aerodynamic analysis was performed using a computational fluid dynamics tool, implementing a steady-state numerical simulation with a turbulence model called "κ-ε realizable", in order to determine the mechanisms that allow decreasing drag.

***Key words**: rear-view, drag, vortex.*

Introducción

El constante incremento del costo de los combustibles en los últimos años y en especial aquellos que utilizan los vehículos a incentivado la búsqueda de una reducción en su consumo. Sumado a lo anterior, también se tiene el incentivo para reducir la huella de carbono que generan los combustibles, por lo tanto, cualquier mejora que conduzca a una reducción en el consumo de combustibles fósiles es de gran interés para cualquier industria [1].

La industria automotriz ha presentado una constante búsqueda para mejorar el diseño de los automóviles, con el fin de obtener una reducción de la energía que requieren para operar. Uno de los enfoques utilizados se centra en la reducción de la fuerza de arrastre que se genera por la interacción del automóvil con el aire que lo rodea. En el caso específico de los retrovisores, se han realizado modificaciones de la geometría de estos con la

 ISSN: 2007 8102

intención de obtener formas que ostenten características aerodinámicas mejoradas, dicho de otra forma, que se obtenga una reducción de la fuerza de arrastre que éstos generan.

En este sentido Binfei H. et al. [2] implementaron una modificación de la sección transversal del retrovisor utilizado en un camión, con el objetivo de reducir la fuerza de arrastre y el sonido que se genera a causa de éste. Reportando una disminución de ambas características, además comentan que al comparar un camión sin retrovisor y uno con retrovisor, el primero tiene un valor mayor de la fuerza de arrastre, dejando claro que la interacción del fluido con el retrovisor tiene un impacto en el comportamiento entre el aire y el resto del vehículo.
Liviu S. et al. [3] realizaron una modificación del retrovisor de un automóvil eléctrico al incrementar el radio en la sección transversal de éste, reportando un decremento de la fuerza de arrastre al reducir el tamaño de los vórtices que se generan en la parte posterior. Sumado a lo anterior, mencionan que el retrovisor es un elemento importante con respecto a la fuerza de arrastre que genera un vehículo, debido a que este afecta el comportamiento del flujo del fluido en las zonas cercanas a este.

Fenella De S. et al. [4] reportan la variación de la fuerza de arrastre al modificar diferentes elementos de un vehículo. En referencia al retrovisor realizan una sustitución de este por un sistema de cámaras, con la intención de reducir el área que se encuentra en contacto con el fluido, sin embargo, no apreciaron que la variación de la fuerza fuese significativa.
Yong-Ju C. et al. [5] por su parte modificaron la geometría de un retrovisor al incorporar ductos con la intención de modificar el comportamiento del flujo. Proponiendo dos casos de análisis, uno con un ducto exterior y otro con el ducto interior, reportando que este último mejora las características de los perfiles de velocidad y vorticidad.

Qiliang W. et al. [6] analizaron la variación del comportamiento del fluido al incrementar el área transversal del retrovisor, así como la incorporación de barras y agujeros en los bordes del mismo. Mencionando que se observa un decremento de la longitud de los vórtices que se producen en la parte posterior del retrovisor.

Estas investigaciones ponen en evidencia que el método que comúnmente se emplea para mejorar la interacción del fluido con el retrovisor, es un rediseño conduciendo a una modificación considerable de la geometría base. En el presente trabajo se utilizó un enfoque de biodiseño, el cual toma como inspiración las características que exhiben algunos animales en estudios de biomimética.

Bushnell D. M. [7] ponen en evidencia que en cualquier momento de la historia las crisis provocan una búsqueda de nuevas soluciones, ya que menciona que durante la crisis energética de 1970 se buscaron nuevas soluciones para reducir el arrastre que se genera en el transporte terrestre, aéreo y marítimo, centrándose en la recreación de las características que presentan algunos animales.
Abdulbari H. A. et al. [8] por su parte mencionan que el estudio de la piel del tiburón evidencio que no es necesario el tener una superficie lisa para lograr una reducción del arrastre, idea que prevaleció durante mucho tiempo en el estudio de la interacción de los fluidos con algún objeto sólido. Debido a que los patrones presentes en este mamífero tienen la función de controlar la capa limite turbulenta, conduciendo a un decremento del arrastre que se genera cuando se desplaza en el agua.

Por su parte Luo Y. et al. [9] mencionan que la imitación de la piel del tiburón se ha aplicado en barcos y en aviones, obteniendo resultados favorables en ambos casos. Además de mencionar el uso de herramientas de dinámica de fluidos computacional por algunos investigadores, con el fin de evaluar su aplicación como método de reducción del arrastre.
Rose J. B R. et al. [10] comentan que la aplicación de la biomimética en el campo de la aerodinámica no solo se reduce al decremento de la fuerza de arrastre, sino que también puede emplearse para la mejora de la fuerza de levantamiento y el control del desprendimiento del fluido de las paredes del solido con el que interactúa, como por ejemplo una aeronave.

Han J. et al. [11] comentan que la aplicación de la biomimética no solo conduce a replicar ciertas características de la naturaleza, sino que también puede llevar a la propuesta del diseño de todo un sistema, de forma concreta un sistema de vuelo, en el cual se replican las estructuras y los movimientos presentes en aves e insectos.
En las investigaciones antes mencionadas se observa que se tiene el objetivo de buscar una forma de reproducir una característica observada en la naturaleza para generar una solución útil al ser humano, siendo en este caso la característica de interés la reducción de la fuerza de arrastre. Con base en este enfoque en la presente investigación se decidió adicionar relieves en forma de U sobre las superficies laterales del retrovisor, con el objetivo de obtener una reducción de la fuerza de arrastre que éste genera.

ISSN: 2007 8102

Metodología

Para visualizar el efecto que tienen los relieves en el retrovisor se realizó una comparación con una configuración base, la cual fue propuesto por los autores para evitar algún problema de propiedad intelectual. Posteriormente fue modificada para agregar los relieves sobre las superficies laterales de la misma. Para llevar a cabo este paso se utilizó un programa de dibujo asistido por computadora conocido como SolidWorks®. En la Figura 1a) se observa la configuración base, la cual no tiene ninguna modificación sobre las superficies laterales, en tanto que la Figura 1b) se muestra la configuración que incluye relieves en las superficies laterales del retrovisor con un diámetro de 6 mm.

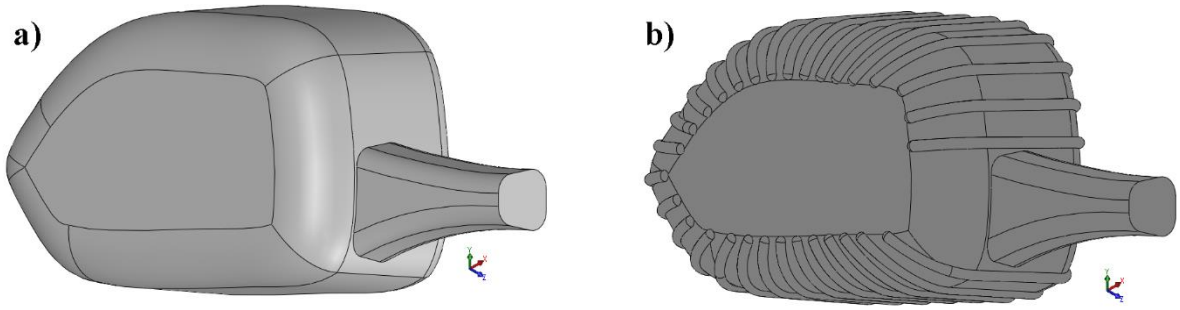


Figura 1. Geometría del retrovisor a) base y b) con relieves.

Para llevar a cabo el análisis aerodinámico donde se determinó el comportamiento del fluido sobre el retrovisor, se empleó una herramienta de dinámica de fluidos computacional. Por tal motivo las geometrías del retrovisor se introdujeron dentro un volumen finito (120 cm x 40 cm x 40 cm), con la intención de reducir el tamaño del sistema que se analizará y de esta forma poder definir las condiciones de frontera que se requieren utilizar. Para realizar la discretización del dominio computacional, es decir la subdivisión del sistema en pequeños volúmenes de control se utilizó un programa de mallado conocido como ANSYS® Meshing™ en el cual se determinó adoptar celdas tipo Cutcell, Figura 2.

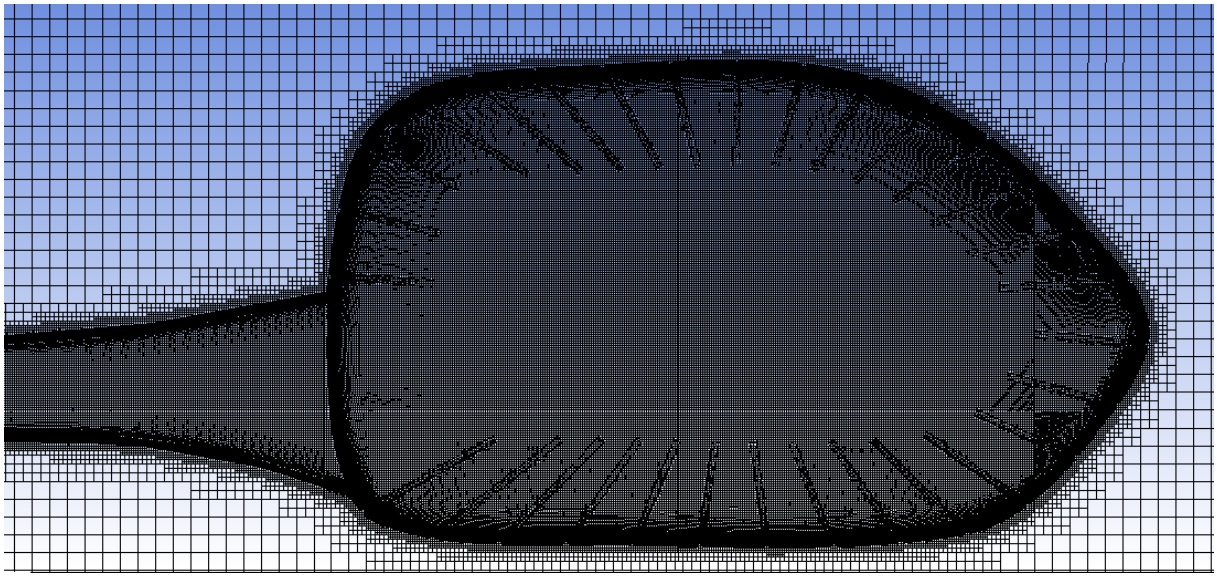


Figura 2. Discretización del dominio computacional.

 ISSN: 2007 8102

La simulación numérica en estado estable se realizó con el programa de dinámica de fluidos computacional conocido como ANSYS® Fluent®. Para la configuración de la simulación se empleó un modelo de turbulencia denominado “κ-ε realizable” con una función de pared estándar, las propiedades del fluido de trabajo, en este caso el gas con el que interactúa el retrovisor corresponden a las del aire. En las cuatro caras laterales del sistema se aplicó la condición de no deslizamiento, en la cara posterior se aplicó una condición de salida de presión y en la cara delantera una condición de entrada de velocidad, siendo las magnitudes empleadas de 100 km/h y 150 km/h.

En este punto también se establecieron los valores de referencia que el programa emplea para el cálculo del coeficiente de arrastre, los cuales son el área frontal del retrovisor y la velocidad a la que se desplaza el fluido. En este caso las magnitudes de la velocidad son las antes mencionadas y el valor del área es de 401 cm^2 y 402 cm^2, para la configuración base y la configuración con relieves, respectivamente. Para los métodos de solución se seleccionó el esquema SIMPLE para el acoplamiento de la presión y la velocidad, en tanto para la discretización espacial se utilizaron esquemas de segundo orden. Con respecto a los residuales se establecieron en un orden de 10^{-6} y se determinó realizar 7000 iteraciones en cada simulación para asegurar un comportamiento estable de las variables.

Resultados y discusión

Para llevar a cabo el análisis del comportamiento del flujo del fluido sobre las superficies del retrovisor, se determinó obtener cinco planos de forma transversal en diferentes puntos para visualizar de forma más clara su evolución sobre las superficies laterales. La Figura 3 muestra cada uno de estos, teniendo al plano P1 a 25 mm, el plano P2 a 50 mm, el plano P3 a 75 mm, el plano P4 a 101 mm y el plano P5 a 102 mm de la superficie frontal del retrovisor.

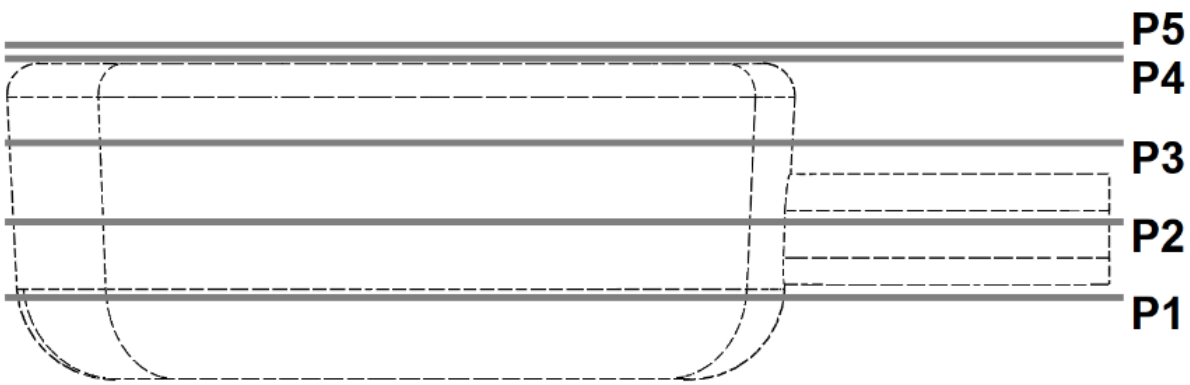


Figura 3. Planos de análisis.

Los contornos velocidad se obtuvieron en los planos P1, P2 y P3, sin embargo, se observó un comportamiento similar en los tres planos, lo cual condujo a tomar la decisión de solo presentar la comparación de la distribución en P3 por simplicidad. La Figura 4 presenta los contornos de velocidad, donde se observa la mayor variación en la cercanía del borde inferior y superior izquierdos, así como en el extremo derecho del retrovisor en comparación con la configuración base. Cabe mencionar que la variación de la distribución también es visible en el extremo de cada uno de los relieves en los tres planos de análisis. Este comportamiento tiende a incrementarse conforme el plano está más lejos de la superficie frontal del retrovisor, siendo esta una de las razones por las cuales se eligió mostrar únicamente la distribución en el plano P3. Se hace notar que la distribución de la velocidad no se modifica de forma abrupta, en la cercanía del retrovisor con el incremento de la magnitud de velocidad que se establece en la condición de frontera, esto es, al pasar de 100 km/h a 150 km/h.

 ISSN: 2007 8102

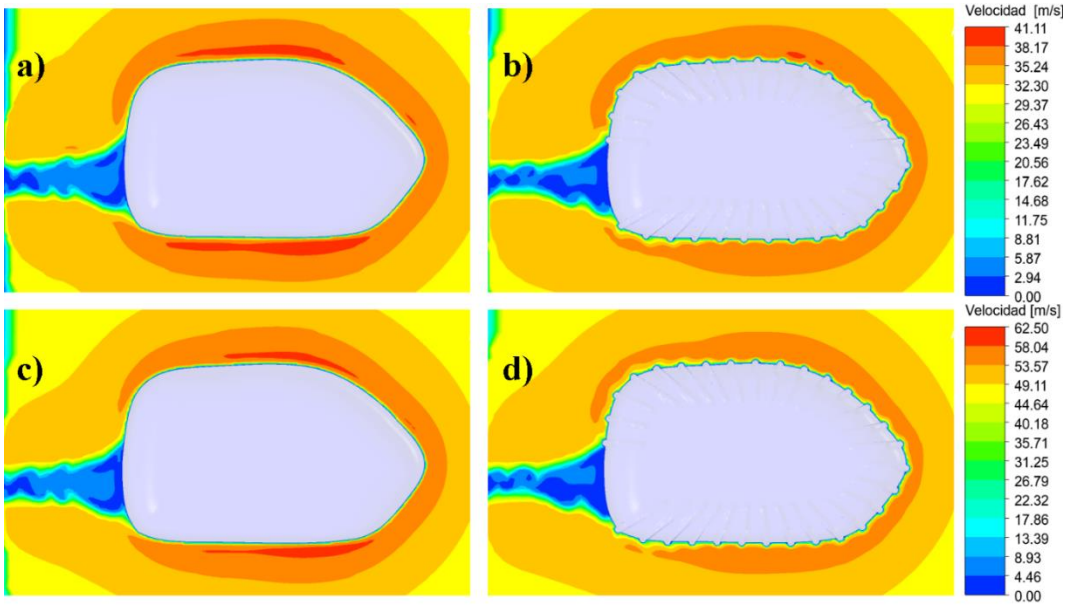


Figura 4. Contornos de velocidad en el plano P3, para las configuraciones a) base y b) con relieves para una velocidad de entrada de 100 km/h y c) base y d) con relieves para una velocidad de entrada de 150 km/h.

Los vectores de velocidad se obtuvieron en los planos P4 y P5, sin embargo, se observó un comportamiento similar en ambos, por lo cual solo se presenta la comparación de la distribución en P5 por simplicidad. La Figura 5 presenta los vectores de velocidad en el plano que se encuentra a 2 mm de la cara posterior del retrovisor, donde se observa que en la zona cercana a los relieves del retrovisor se forman vórtices a lo largo de todas las superficies laterales, a diferencia del retrovisor base donde únicamente en algunas zonas se forman dichos vórtices. Por otra parte, se hace notar que los vórtices de mayor tamaño se generan en el borde superior e inferior izquierdo, así como en el borde del extremo derecho del retrovisor, observándose que su tamaño disminuye cuando los relieves se encuentran en las superficies laterales del retrovisor. Sumado a lo anterior, se tiene que el comportamiento antes mencionado no se modifica con el incremento de la magnitud de velocidad que se establece en la condición de frontera de velocidad del aire, esto es al pasar de 100 km/h a 150 km/h.

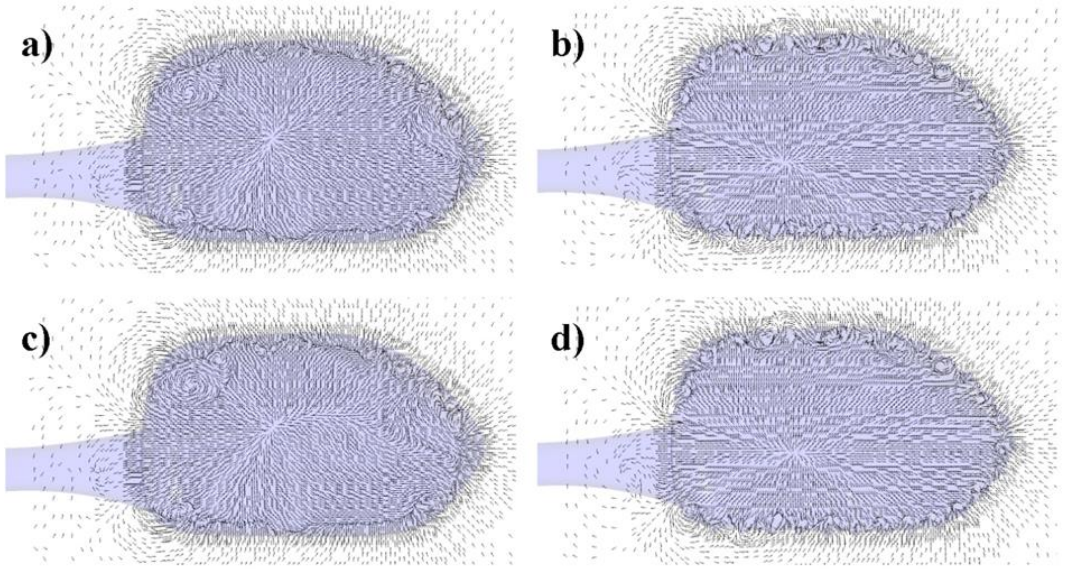


Figura 5. Vectores de velocidad en el plano P5, para la configuración a) base y b) con relieves para una velocidad de 100 km/h y c) base y d) con relieves para una velocidad de 150 km/h.

 ISSN: 2007 8102

Por su parte en la Tabla 1 se muestran los valores del coeficiente de arrastre (Cd) que se obtuvieron para cada configuración por medio del programa de dinámica de fluidos computacional, al utilizar los valores de referencia que se mencionaron en la sección de la metodología. Este coeficiente representa de forma adimensional la fuerza de arrastre que generan los objetos y permite su comparación de forma directa. En la tabla se tiene que al incorporar los relieves sobre las superficies laterales del retrovisor se obtiene una reducción de ≈ 4%, la cual se mantiene para ambas condiciones de la velocidad de análisis. Por lo tanto, la incorporación de los relieves en forma de U sobre las superficies del retrovisor, recrea de forma exitosa la característica de reducción del arrastre observada en algunos animales cuando se desplazan en su ámbito natural.

Tabla 1. Variación del coeficiente de arrastre.

	100 km/h		150 km/h	
Configuración	**Cd**	**diferencia**	**Cd**	**diferencia**
Base	**0.3726**		**0.3668**	
Relieves	**0.3568**	**4.23 %**	**0.3509**	**4.33%**

Trabajo a futuro

Una vez determinado que los relieves en forma de U sobre las superficies laterales del retrovisor conducen a un decremento del arrastre que se genera por la interacción con el aire, para futuros trabajos se analizará si existe una relación entre el tamaño, el número de relieves y el decremento del arrastre que se genera en un retrovisor. Por otra parte, también se analizará si el comportamiento observado se mantiene al modificar el diseño base del retrovisor.

Conclusiones

Los resultados presentados muestran claramente que los relieves alrededor de las superficies laterales del retrovisor, modifican la distribución de los campos de velocidad en esta zona, siendo más evidente en los bordes superior e inferior izquierdos y en el borde derecho del retrovisor.

Lo anterior conduce en primer lugar a incrementar el número de vórtices que se generan alrededor de las superficies laterales del retrovisor. Siendo este mecanismo una de las razones del decremento del coeficiente de arrastre, debido a que estos vórtices incrementan la turbulencia en la zona y conducen a un retraso en la separación del fluido de las paredes del retrovisor. Este mecanismo es bastante popular en las alas de las aeronaves y en la carrocería de los carros de carreras.

En segundo lugar, se tiene la reducción del tamaño de los vórtices que se generan en los bordes superior e inferior izquierdos y en el borde derecho del retrovisor. Si bien se menciono que la generación de vórtices puede conducir al retraso del desprendimiento del fluido, también se debe tener en cuenta que éstos son responsables de parte del arrastre que se genera por la interacción del aire y el retrovisor. Es por esto que, al reducir el tamaño de los tres principales vórtices, también se obtiene una reducción del arrastre que éstos generan. Este mecanismo es similar al que se obtiene mediante el uso de los dispositivos de punta a alar en las aeronaves, donde se busca reducir el tamaño de los vórtices generados en esta zona en particular.

Otro punto a considerar, es que los comportamientos antes mencionados se mantienen para las dos condiciones de operación que se analizaron, por lo que la aplicación de estos surcos se puede considerar como una aproximación viable para la reducción del arrastre que se genera por parte del retrovisor cuando interactúa con el aire que lo rodea.

 ISSN: 2007 8102

Agradecimientos

El autor Israel Gonzalez Neria reitera su agradecimiento a COMECYT por el apoyo otorgado en el programa Investigadoras e investigadores COMECYT EDOMEX 2022 - CAT2022-0087 y a la Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl.

Referencias

[1] E. Institute, “Statistical Review of World Engergy,” 2023.
[2] B. Hu, Z. Lu, Q. Cui, R. Tang, Z. Feng, and D. Bi, “Prediction and Aerodynamic Analysis of Interior Noise and Wind Drag Generated by the Outside Rear-View Mirror for Commercial Vehicles,” *Shock and Vibration*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/8893959.
[3] S. Scurtu, L., Borzan, AI., Mariasiu, F., Vlad, N., Varga, B., Morariu, “Drag Coefficient Analysis for Side Mirrors of an Electric Vehicle Prototype,” in *The 30th SIAR International Congress of Automotive and Transport Engineering. SMAT 2019*, 2019.
[4] F. De Souza, A. Raeesi, M. Belzile, C. Caffrey, and A. Schmitt, “Investigation of Drag Reduction Technologies for Light-Duty Vehicles Using Surface, Wake and Underbody Pressure Measurements to Complement Aerodynamic Drag Measurements,” *SAE Technical Papers*, vol. 2019-April, no. April, pp. 1–18, 2019, doi: 10.4271/2019-01-0644.
[5] Y. J. Chu, Y. S. Shin, and S. Y. Lee, “Aerodynamic Analysis and Noise-Reducing Design of an Outside Rear View Mirror,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 8, no. 4, Mar. 2018, doi: 10.3390/app8040519.
[6] Q. Wang, X. Chen, Y. Zhang, and W. Meng, “Unsteady Flow Control and Wind Noise Reduction of Side-View Mirror,” *SAE Technical Papers*, vol. 2018-April, pp. 1–13, 2018, doi: 10.4271/2018-01-0744.
[7] D. M. Bushnell and K. J. Moore, “Drag Reduction in Nature,” 1991.
[8] H. A. Abdulbari, H. D. Mahammed, and Z. B. Y. Hassan, “Bio-Inspired Passive Drag Reduction Techniques: A Review,” *ChemBioEng Reviews*, vol. 2, no. 3, pp. 185–203, Jun. 2015.
[9] Y. Luo, D. Zhang, and Y. Liu, “Recent Drag Reduction Developments Derived from Different Biological Functional Surfaces: A Review,” *J Mech Med Biol*, vol. 16, no. 2, Mar. 2016.
[10] J. B. R. Rose, S. G. Natarajan, and V. T. Gopinathan, “Biomimetic Flow Control Techniques for Aerospace Applications: A Comprehensive Review,” *Rev Environ Sci Biotechnol*, vol. 20, no. 3, pp. 645–677, Sep. 2021.
[11] J. Han, Z. Hui, F. Tian, and G. Chen, “Review on Bio-inspired Flight Systems and Bionic Aerodynamics,” *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 34, no. 7, pp. 170–186, Jul. 2021.

 ISSN: 2007 8102

Dispositivo electromecánico controlado por IoT para distribución equitativa de agua potable en casas habitación

M. Aguilar Cortés[1], M. A. Aguilar Cortés [2], H. Vicenteño Rivera[3]*
*[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II s/n Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla, México, *miguel.ac@teziutlan.tecnm.mx*
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II s/n Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla, México, marco.ac@teziutlan.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II s/n Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla, México, hector.vr@teziutlan.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica*

Resumen

La creciente problemática de la escasez de agua es un desafío global urgente. La distribución desigual de este recurso esencial agrava la situación, afectando la vida de millones de personas. Para abordar esta crisis, se propone la implementación de un dispositivo electromecánico innovador. Este sistema modular regulará el flujo de agua en tiempo real, garantizando una distribución equitativa y eficiente en áreas afectadas. El dispositivo, controlado por sensores y software avanzado controlado por internet de las cosas (IoT), optimizará la asignación de agua según la demanda y la disponibilidad. Esta solución no solo asegurará el acceso justo al recurso, sino que también reducirá el desperdicio y mitigará el impacto ambiental. Al aliviar la presión sobre los sistemas hídricos, el dispositivo electromecánico representa un paso crucial hacia la resolución de la crisis hídrica, promoviendo la sustentabilidad y el bienestar de las comunidades en todo el mundo.

***Palabras clave**: Dispositivo, electromecánico, control, IoT*

Abstract

The growing issue of water scarcity is an urgent global challenge. The uneven distribution of this vital resource exacerbates the situation, affecting the lives of millions of people. To address this crisis, the implementation of an innovative electromechanical device is proposed. This modular system will regulate the flow of water in real-time, ensuring equitable and efficient distribution in affected areas. The device, controlled by sensors and advanced IoT (Internet of Things) software, will optimize water allocation based on demand and availability. This solution will not only ensure fair access to the resource but also reduce waste and mitigate environmental impact. By alleviating pressure on water systems, the electromechanical device represents a crucial step towards resolving the water crisis, promoting sustainability and the well-being of communities worldwide.

***Key words**: Device, electromechanical, control, IoT*

Introducción

El agua es el recurso más valioso para el desarrollo humano, en cualquier ámbito de la vida, como lo menciona la Organización de las Naciones Unidas para la Cultura, las Ciencias y la Educación (UNESCO) [1]; hablando meramente de las necesidades corporales, citando a Salas Salvadó [2] menciona que el agua es el nutriente esencial para la vida y es el que se encuentra en mayor cantidad en el cuerpo ya que participa en todos los procesos fisiológicos; sin embargo, González Villareal y Arriaga Medina [3] en su informe sobre crisis climática y recursos hídricos menciona que, bajo la luz de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), alrededor de cuatro mil millones de personas experimentan escasez hídrica severa por al menos un mes durante todo el año. Por ello, es de suma importancia considerar al sector hídrico como uno de los pilares para el combate al cambio climático, destinando recursos tanto económicos, científicos y tecnológicos que coadyuven alcanzar los objetivos establecidos en la agenda 2030 [4] que son el establecimiento de una visión transformadora hacia la sostenibilidad

 ISSN: 2007 8102

económica, social y ambiental en diferentes países, entre los cuales sobresale México, al incluir temas altamente prioritarios en cuando a necesidades sociales y ambientales. En ese sentido se prioriza el tópico del agua como recurso importante para toda la población, así como la mejor forma de dosificar la distribución equitativa del agua [5], objeto del presente trabajo.

Respecto a México, Cárdenas Gómez [6] menciona que el 29 de septiembre del año 2011 se reformó el artículo cuarto de la Constitución con el fin de determinar al agua como un derecho para todos, dando cabida a aumentar más los esfuerzos para poder garantizar su distribución dentro del territorio mexicano, acción que no se ha logrado completamente en varias regiones; sin embargo, según la reunión de ministros de finanzas [7] del recurso hídrico de agua dulce en el país, el 75.7% se destina a la agricultura, 14.7% al abastecimiento público, 4.6% a la energía eléctrica (excluyendo la hidroelectricidad) y 4.9% a la industria autoabastecida. Debido a ello, se hace patente el hecho de poder responer a las necesidades de cuidar este recurso vitalicio en todo el territorio mexicano.

Citando a Gómez Díaz [8], el estado de Veracruz es uno de los estados con alto nivel de disponibilidad agua, ya que el 88.1% de la población cuenta con acceso a agua potable por debajo de la media 95.3%. En miras a salvaguardar estos estándares, se debe buscar las gestiones necesarias tanto de juridica, social, tecnológica y científica posible para que se pueda seguir cuidando este recurso y que todos los veracruzanos gocen, de manera equitativa, el beneficio de agua potable.

Dentro del municipio de Jalacingo, perteneciente al estado de Veracruz, no se cuenta con un registro exacto de la distribución de agua dentro de sus habitantes; sin embargo, y gracias a boletines noticieros [9], han existido casos de desabaste de agua en los años pasados, donde los mismos pobladores han tomado la iniciativa de buscar la intervensión del gobierno tanto estatal como federal, para un suministro de agua que alcance todos los moradores de esas tierras, ya que su exigencia esta en relación con la actividad economíca importante que sobresale este municipio (agricultura); por ello, las cosechas al no contar con agua para riego, no logran su total desarrollo, lo que impacta dentro de la economía del muncipio y más aún dentro del mismo consumo del agua potable.

Con lo anterior se puede deducir que si existe desabasto de agua gran parte del mundo; Veracruz es un estado rico en este invaluable recurdo líquido pero que Jalacingo (municipio de Veracruz) necesita gestiones necesarias para poder repartir el agua de manera equitativa dentro de su extensión, de manera que satisfaga las necesidades personales y económicas de esa region. Es por ello que se piensa en el diseño de un dispositivo electromecánico, que sea controlado por internet de las cosas (IoT) para poder suministrar agua de manera equitativa agua potable a las casas habitación de ese municipio, en miras que a todos llegue el vital líquido de manera que el 100% de la población tenga acceso a estos beneficios.

Metodología

El dispositivo electromecánico comenzó a realizarse por medio de simulaciones digitales con ayuda de software con licencia libre. Se estará mencionando paulatinamente cada paso para su realización. Antes de ello, se hizo una pequeña investigación sobre los principales dispositivos, entre otros muchos, que se asemejan a lo que se pretende realizar dentro de esta investigación.

Estado del arte

Con el fin de poder realizar un diseño que cumpla con estándares de calidad y funcionamiento, fue necesario indagar sobre dispositivos a fines al propuesto, enmarcando similitudes y diferencias.

IoT based smart water management system: A systematic review [10]
La función que se utiliza en este dispositivo es la de monitorizar algunas magnitudes del agua, mismas que son adquiridas por medio de una serie de sensores: el dispositivo controlador es un Rasperry Pi el cual, contectado ya sea por medio de Ethernet o de Wireless, envia las variables obtenidas a un sistema de control el cual, al guardar dicha información en una base de datos, otros dispositivos tienes la posibilidad de poder ser consultadas. Dichas variables son adquiridas en forma hidrostática, es decir, en mantos acuírfeos que no tienen corriente. A diferencia de este trabajo, el dispositivo diseñado cuenta tanto con sensor y actuador controlador por medio de la variable medida. La figuar 1 muestra el proceso de muestreo de variables del artículo citado.

 ISSN: 2007 8102

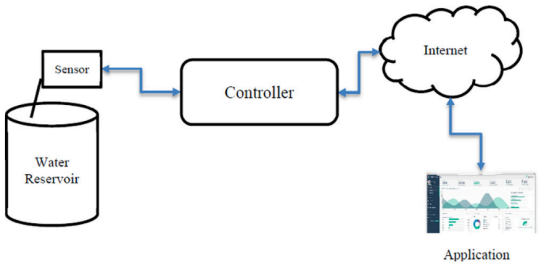


Figura 1. Proceso de adquisición de datos por parte del proceso de administración

Válvula de control remoto inalámbrico Nb-Iot Medidor de agua fría [11]
La principal función de este dispositivo es medir el caudal, mismo que es monitoreado de manera telemática con fines de controlar anomalias que puedieras sucitarse al momento de transoportar algún líquido, y en caso de presentar algun problema, tiene la capacidad de poder cerrar el paso del fluido de manera que pueda salvaguardar el recurso hídrico que esté trasitando por este dispositivo. El dispositivo electromecánico que se presenta, también en un diseño propio e innovador al implemenatar ciertas características para el abrir y semi cerrar, sin embargo, una innovación es la implementación del sensor YF-s201 el cual, al conectarse al ESP32 tiene la posibilidad de poder indicar cuál es la cantidad de liquido que pasa dentro de sí y, gracias al sistema experto, poder predecir si se encuentra alguna fuga por medio de procesos permutatorios-probabilísticos. La Figura 2 muestra esta válvula de controd remoto Nb-lot.



Figura 2. Válvula de control remoto Nb-lot Fuente: es.made-in-china.com

Water Monitoring System Embedded with Internet of Thing (IoT) Device: A Review [12]
Nuevamente se muestra una metodología de cómo poder medir magnitudes de agua con ayuda de sensores. La diferencia radica en que éste está controlado por un Arduino UNO que, al adquirir señales por medio de sensores interconectados y utilizando la función de convertidor Analógico Digital (ADC), envia los registros a una computadora personal y/o a una aplicación alojada en la nube con protocolo FTP, para poder guardar los datos en una base de datos y ser consultados por una aplicación móvil. Evidentemente, el trabajo aquí propuesto se caracteriza por la utilización tanto de sensores como de actuadores, y bajo el diseño propio puede ser manipulado por un sistema experto para (no solo medir valores por medio de sensores) poder controlar el paso de agua aprovechando al máximo la relación ariete gravedad y con ello, el agua llegue a más casas habitación. La figura 3 muestra cómo fue el proceso de desarrollo de este sistema.

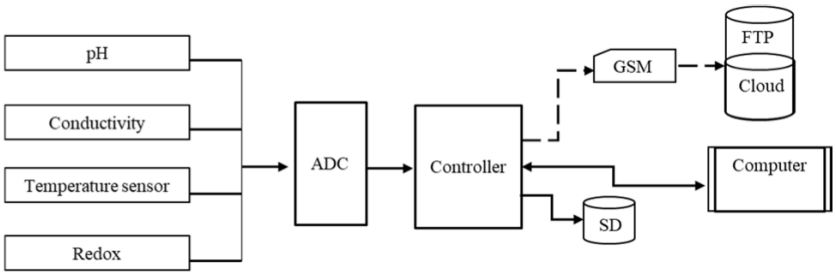


Figura 3. Diagrama de bloques del sistema embebido de monitoreo de agua con IoT.

Desing of water quality monitoring system for aquaculture ponds based on NB-IoT [13]
Este artículo habla sobre un diseño de un dispositivo que mide y controla variables por medio de la tecnología NB-IoT (Internet de las cosas por banda estrecha) dirigido al sector agropecuario; tiene por objetivo, monitoriar el

 ISSN: 2007 8102

agua para que pueda ser de calidad para los cultivos que se realizan en la zona de aplicación (ChangZhou). Los resultados obtenidos fueron favorables: el dispositivo de este artículo tiene como objetivo el mismo que el que se presenta en el diseño de la electroválvula, es decir controlar variables para poder hacer más eficiente un proceso determinado, para este caso, la distribución de agua.

Materiales

Para la realización de este dispositivo se ha considerado dos apartados: mecánica y electrónica. Por ello, es necesario describir qué materiales se van a utilizar para cada área antes mencionada. Respecto al área mecánica se tiene como materiales:

- Impresora 3D
- Filamento para impresora 3D PLA
- Vernier
- Galga para rosca

Conforme al área electrónica los materiales utilizados son:

- ESP32
- YF-S201
- Generador eléctrico F50-12V
- Servomotor MG996R
- LCD OLED 128x64
- Potenciómetro de 10KΩ
- 4 resistencias de 10KΩ
- 4 botones pulsadores

Preparación

Se realizó una investigación de campo en la ciudad de Jalacingo Veracruz, para poder conocer las necesidades de distribución de agua. La premisa es que la población carece de distribución equitativa de agua.

Para poder dar cumplimiento a lo vislumbrado anteriormente, es necesario hacer simulaciones para poder asegurar el funcionamiento tanto eléctrico como mecánico de dicho dispositivo; por ello, y comenzando con el apartado mecánico, se ha utilizado el software de licenciamiento libre FreeCAD el cual es un modelador 3D paramétrico de propósito general CAD, orientado especialmente al diseño de ingeniería mecánica y al diseño de productos [14].

A continuación, se describe cada parte que estructura el dispositivo, tomando como base la Figura 4 Se muestra una forma parecida a una cruz de color rojiza, donde se coloca, del lado de la entrada, un generador eléctrico por medio de fuerza hidrodinámica F50-12V el cual será quien suministre de corriente eléctrica al circuito; del lado de la salida, se coloca un sensor YF-s201 (sensor de caudal), el cual mide, por medio de frecuencias, la cantidad de caudal que pasa por todo el sistema, enviando dicha información al sistema ESP32 el cual lo reenvía a un sistema experto alojado en un servidor; tanto del lado de la entrada como el de la salida del dispositivo cuenta con el estándar del cople de roscado interno para tubos de media pulgada. También se considera un émbolo, el cual está en color naranja en la figura mismo que tiene un área diferencial de sección transversal que, al ser movida por parte de un sistema cremallera piñón, reduce o aumenta el área, aprovechando la relación de presión y ariete; para el diseño de la cremallera y piñón se considera el diseño de los engranajes, entonces:

$$p = \frac{\pi * d_p}{Z}$$

donde:

$p =$ Paso del diente
$d_p =$ diámetro primitivo

 ISSN: 2007 8102

Z = Número de dientes

$$p = \frac{\pi * d_p}{Z} = \frac{\pi * 10.8}{15} = 2.2619mm \approx 2\,mm$$

Con ello, FreeCAD tiene la opción de generar sistemas de engranajes con solo agregar los valores mostrados anteriormente. Cabe mencionar que el piñón esta ajustado para poder ser usado en un servomotor que se encargará de transmitir la potencia a la cremallera que está incluida en un émbolo (de color naranja) que realizará la acción de regular el paso de agua por medio de ella, en función de la decisión que tome el sistema experto que controla este dispositivo.

La caja contenedora está de color verde, la cual fue diseñada para poder contener a todos los dispositivos y salvaguardarlos las condiciones climáticas a las cuales se encuentre.

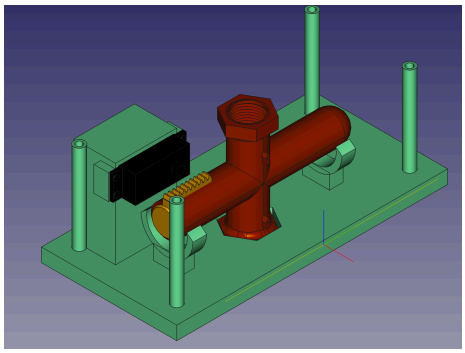


Figura 4. Diseño de la electroválvula: Sección interna del cajón contenedor.

Teniendo en cuenta el diseño mecánico, se puede pasar al diseño de la parte electrónica, encargada de conectar el sistema una red, enviar información al servidor y controlar la posición para que la distribución de agua sea correcta para todas las casas que tengan este dispositivo. La descripción de la parte eléctrica se menciona dentro del apartado desarrollo.

Desarrollo

Después de comprobar por separado que la parte eléctrica como la parte mecánica funcionan se procedió al armado del dispositivo, conjuntado ambas partes.

Para realizar pruebas de funcionalidad, se consideró imprimir toda la estructura con ayuda de una impresora 3D con precisión milimétrica para asegurar la movilidad de cada elemento mecánico. La Figura 5 muestra cómo fue el resultado final del dispositivo integrando la válvula, el émbolo, el soporte para el servomotor y el piñón.



Figura 5. Piezas hechas en impresora 3D.

Por otro lado, la parte electrónica fue ensamblada en un protoboar para corroborar la conexión a internet, ya que, en el apartado de simulación, no se pudo validar. La Figura 6 muestra el ensamble realizado en un protoboard.

 ISSN: 2007 8102

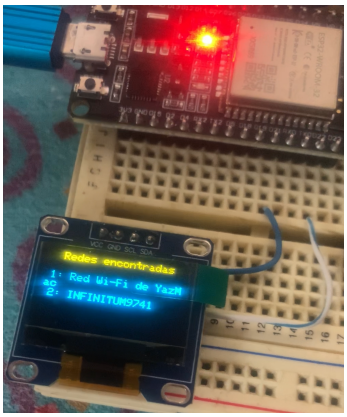


Figura 6. Ensamble y simulación de la parte electrónica que controlará la posición del émbolo para el control eficiente de agua.

Finalmente se hace mención sobre el sistema de distribución de agua que se utiliza en una región de Jalacingo; cabe mencionar que este proceso de muestre será bajo la luz de un muestreo no probabilístico por conveniencia debido a la versatilidad de poder atender a las regiones que han tenido más problemas de distribución de agua con una muestra total de 5 casas habitación. Con ello, se sabe que la distribución de agua la da un pequeño yacimiento de agua denominado *la mele*, misma que cuenta con una bomba de agua marca STX modelo: 75STX250N6-7, la cual tiene como valor de fuerza 25HP según la hoja de fabricante [15] con NTP de 3''; considerando eso con eficiencia 70% se calcula el caudal:

$$Q = 300\ GPM\ \approx 81.829\ \frac{m^3}{h} \approx 0.0227 \frac{m^3}{s}$$

y presión

$$P_{max} = 3.6\ MPa$$

Tomando en cuenta la hoja técnica del [16] para asegurar el esfuerzo máximo que tiene el PLA (ácido poliláctico, con el cual fueron hechas las piezas con impresora 3D) no tenga deformación ni ruptura con respecto a la presión para este ensayo, se tiene que:

$$\sigma_{def} = \frac{F}{A} = 49.6\ MPa$$

Lo anterior es considerado bajo el método de ensayo ISO 527: por tanto, aunque se utilice un material con impresión 3D, se asegura que soportará a la presión de la bomba.

La Figuar 7 muestra la instalación y los resultados obtenidos en tiempo real de los dispositivos instalados en 5 casas habitación.



Figura 7. 5 dispositivos instalados en diferentes tinacos.

 ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Primeros resultados

Para las primeras pruebas, se configuraron e instalaron los 5 dispositivos a internet para comunicarse con un sistema experto a través de un Web API con el objetivo de generar información y realizar un acción para cada uno de ellos. La figura 8 muestra los datos obtenidos por el caudalímetro en esas 5 viviendas.

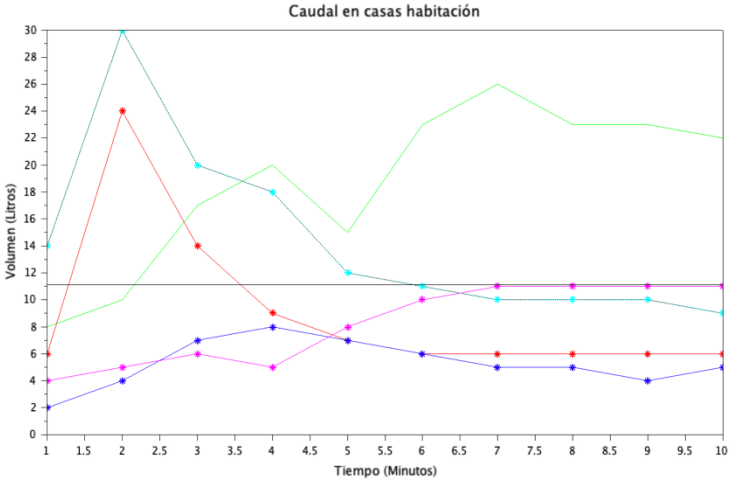


Figura 8. Gráfica en donde se muestra la distribución del caudal en 5 casas habitación de una región de Jalacingo, Ver.

Con lo anterior, se busca que las gráficas de caudal sea lo más aproximado a la media (visualizada en color negro dentro de la gráfica). El proceso de adquisición de datos fue correcto.

Segundos resultados

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 9, se muestra los mismos valores de la gráfica mostrada en la figura 8 con los datos obtenidos con la regulación del área regulable del dispositivo, la cual, bajo el fenómeno ariete, logra incrementar de manera considerable la presión y, en contraste, el caudal suministrado en las casas habitación; sin embargo, aún no está controlado para una forma equitativa. Este ensayo se hizo con el fin de poner a prueba la funcionalidad del émbolo controlado por la cremallera y piñón, con la fuerza proporcionada por el servomotor.

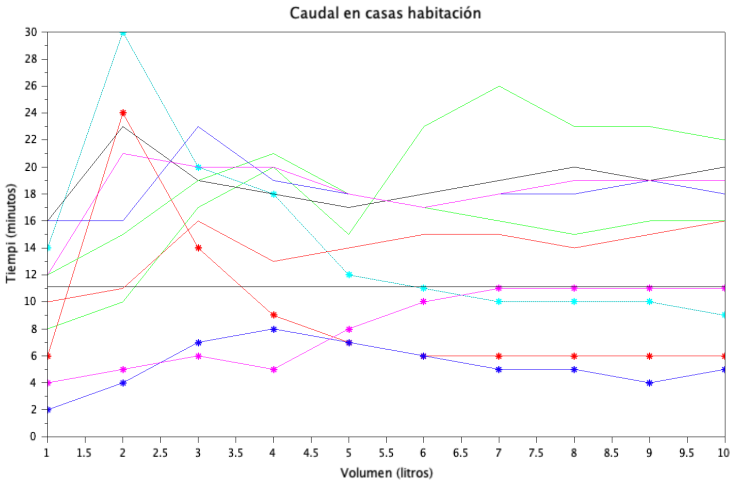


Figura 9. Comparación de caudales bajo la manipulación del área por donde está fluyendo el agua en el diseño de la válvula.

Últimos resultados

 ISSN: 2007 8102

Para las últimas pruebas, se obtuvo la media y a partir de esa información conseguir una distribución igualitaria para las 5 casas; sin embargo, hubo una desviación estándar debido a que, la presión y consumo en otras casas que no entran en la muestra, modificó de manera paulatina el resultado obtenido; sin embargo, se logra ver una mejora en cuanto a la distribución de agua en los sujetos analizados. La Figura 10 muestra la gráfica de los nuevos datos obtenidos al ajustar los datos, con ayuda del sistema experto, a un valor equitativo.

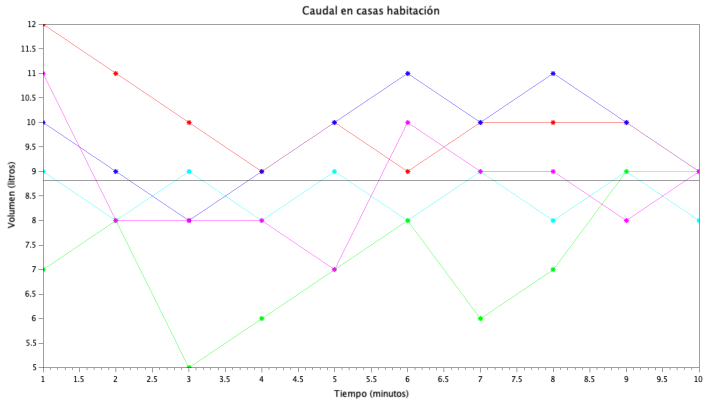


Figura 10. Caudales obtenidos gracias a la igualación del caudal promedio para todas las casas habitación.

Finalmente se considera un análisis de varianza de un solo factor ANOVA para poder demostrar sí existe un cambio significativo en lo descrito aquí. La Tabla 1 muestra los resultados del análisis donde los valores de la columna F y Valor crítico de F se compara siendo la relación:

- Si $Valor\ crítico\ de\ F > F$ no hubo cambios en las muestras
- Si $F > Valor\ crítico\ de\ F$ hubo cambios en las muestras

Tabla 1. Análisis de varianza de un solo factor.

RESUMEN

Grupos	*Cuenta*	*Suma*	*Promedio*	*Varianza*
Columna 1	50	555	11.1	46.5408163
Columna 2	50	441	8.82	1.94653061

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	129.96	1	129.96	5.36057377	0.02268251	3.93811108
Dentro de los grupos	2375.88	98	24.2436735			
Total	2505.84	99				

Como se puede apreciar se obtiene que:

$$F = 5.36057377 > Valor\ crítico\ de\ F = 3.93811108$$

Entonces se acepta que hubo cambios significativos en las muestras; por tanto, los datos se ajustaron de manera oportuna para poder distribuir el agua de manera equitativa entre las muestras.

Trabajo a futuro

 ISSN: 2007 8102

Una vez que se pueda implementar en una ciudad, se considera hacer un sistema de control digital para que pueda funcionar con una exactitud deseable y se aplique a todos los habitantes de un municipio. Por otro lado, se considera realizar una aplicación móvil disponible para cualquier plataforma con el fin de que los usuarios consulte los consumos de agua, así como el cálculo de las tarifas por la misma. Así mismo se planea implementar esta propuesta en las regiones donde el agua escasea de manera alarmante para que este vital líquido sea repartido de manera equitativa.

Conclusiones

El uso del agua es indispensable para todos los sectores de la humanidad; sin embargo, el poder distribuir agua de manera equitativa es un reto que toda la sociedad tiene que afrontar tarde o temprano para que todos puedan tener una mejor calidad de vida. El trabajo en cuestión fue favorable debido a su respuesta a la necesidad presentada. Aún hay mucho trabajo para que la utopía de que todas las casas no sufran escasez de agua se haga realidad, pero con ayuda de la ciencia y la tecnología, esto se puede vislumbrar a corto plazo.

Agradecimientos

Se extiende esta gratitud a las personas que cooperaron en la realización de pruebas del dispositivo, la comunidad de Ranchito los Perales, Jalacingo, Veracruz.

Referencias

[1] E. Koncagül, M. Tran y R. Connor, «Agua y cambio climático datos y cifras,» UNESCO, Colombella, Perugia, Italia, 2020.

[2] J. Salas Salvadó, F. Maraver, L. Rodríguez Mañas, M. Sáenz de Pipaon, I. Victoria y L. A. Moreno, « Importancia del consumo de agua en la salud y la prevención de la enfermedad: situación actual,» *Nutrición Hospitalaria ,* vol. 37, nº 5, pp. 1072-1086, 2020.

[3] F. González Villareal y J. A. Arriaga Medina, «Impluvium Crisis climática y recursos hídricos,» Publicación digital de la Red del Agua UNAM, Ciudad de México, 2020.

[4] Organización de las Naciones Unidas, «La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una Oportunidad para América Latina y el Caribe,» Naciones Unidas CEPAL, Santiago, 2018.

[5] S. Menchada Dávila, A. Calva Maldonado, G. D. Jimenez Windsor y S. F. Juárez Cerrillo, «Disponibilidad hídrica del manantial “Ojo de Agua” ubicado enla microcuenca del río Pixquiac, Veracruz,» *UVSERVA,* nº 14, pp. 9-20, 2022.

[6] E. P. Cardenas Gomez, «Desabasto de agua potable en algunas colonias del área metropolutana de Guadalajara: incumplimiento y consecuencias políticas,» *Opera,* nº 31, pp. 71-93, 2022.

[7] Reunión de Ministros de Finanzas, «El sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento en México,» FMM, 2020.

[8] M. Gómez Díaz, «Los retos que enfrentan los organismos operadores de agua en Veracryz,» *Impluvium Crisis climática y recursos hídricos,* pp. 57-63, 2021.

[9] I. Rúiz, «Pobladores de Jalacingo piden intervención de AMLO ante desabasto de agua,» *Diario de Xalapa,* 2 Diciembre 2022.

[10] S. Manmmet y A. Suhaib, «IoT based smart water management systems: A systemativs review,» *Materials Today: Priceedings,* vol. 46, nº 11, pp. 2214-7853, 2021.

[11] NINGBO ZHIYITONG ENERGY TECHNOLOGY Co., «Made in china,» 8 Noviembre 2016. [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_zeton01/product_Wireless-Remote-Valve-Control-Cold-Nb-Iot-Water-Meter_eroeeuony.html. [Último acceso: 3 Agosto 2023].

[12] N. S. Kamaruidzaman y S. N. Rahmat, «Water Monitoring Embedded with Internet of Things (IoT) Device: A Review,» *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,* vol. 498, 2020.

[13] J. Huan, L. Hui, F. Wu y W. Cao, «Design of water quality monitoring system for aquaculture ponds based on NB-IoT,» *Aquacultural Engineering,* vol. 90, nº 102088, 2020.

ISSN: 2007 8102

[14] Equipo de FreeCAD, «FreeCAD,» Digital Ocean, KiCad Services cop y otros, 30 Abril 2023. [En línea]. Available: https://www.freecad.org. [Último acceso: 15 Julio 2023].

[15] Bombas Suarez, «Características Generales,» [En línea]. Available: https://www.bombassuarez.com.mx/fichas_tecnicas/75stx.pdf. [Último acceso: 4 Agoto 2023].

[16] Ultimaker, «Doc.RS,» 16 mayo 2017. [En línea]. Available: https://docs.rs-online.com/7ade/0900766b81698006.pdf. [Último acceso: 06 agosto 2023].

[17] Marskoko, «Santiapps,» 1 Diciembre 2022. [En línea]. Available: https://santiapps.com/arduino-iot-simple-tutorial-valvula-solenoide-con-mosfet/. [Último acceso: 3 Agosto 2023].

 ISSN: 2007 8102

Evaluación térmica de un sistema de enfriamiento en panel fotovoltaico

V. Flores Lara, J. Bedolla Hernández, M. Bedolla Hernández, E. Sánchez Flores, O. Pérez Pérez
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Apizaco
Carretera Apizaco-Tzompantepec, esquina con Av. Instituto Tecnológico,
Tlaxcala c.p 90491
Email: f117u2@yahoo.com

***Área de participación**: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica*

Resumen

En este trabajo se evalúa el desempeño térmico de un sistema de remoción de calor acoplado a un panel fotovoltaico. Se construye a base de lámina de policarbonato alveolar y tubería de cpvc empleado como cabezales, para hacer la función de intercambiador de calor. Se coloca en la parte posterior de un panel de 110 W y se hace circular agua a través de los alveolos del policarbonato, al mismo tiempo que retira calor del panel. 0.076 kg/s y 0.060 kg/s son los flujos másicos de agua para evaluar el calor retirado y la eficiencia térmica del sistema térmico. Se obtiene como resultado la capacidad de recuperación de calor, reflejado en el calentamiento de 60 litros de agua con gradientes térmicos de 14°C y 27°C dependiendo del flujo másico de trabajo. El enfriamiento del panel aumenta su capacidad eléctrica, así como, su eficiencia, hasta en 14 W y 2%, respectivamente.

***Palabras clave**: Enfriamiento, Panel, Recuperación, Calor.*

Abstract

In this work, the thermal performance of a heat removal system coupled to photovoltaic panel is evaluated. It is built based on alveolar polycarbonate sheet and cpvc pipe used as heads, to act as a heat exchanger. It is placed on the back of a 110 W panel and water is circulated through the polycarbonate alveolar, while removing heat from the panel. 0.076 kg/s and 0.060 kg/s are the mass flows of water to evaluate the heat removed and the thermal efficiency of the thermal system. The heat recovery capacity is obtained as a result, reflected in the heating of 60 liters of water with thermal gradients of 14°C and 27°C depending on the mass flow of work. The cooling of the panel increases its electrical capacity, as well as its efficiency, up to 14 W and 2%, respectively.

***Key words**: Cooling, Panel, Recovery, Heat.*

Introducción

La tecnología con mayor desarrollo comercial para el aprovechamiento de las energías renovables es la fotovoltaica, principalmente las de celda policristalina y monocristalina. Debido a las propiedades ópticas de los materiales el 80% de la radiación solar incidente es absorbida por el módulo fotovoltaico, pero solo una pequeña parte de esta se convierte en energía eléctrica y el resto se disipa como energía térmica por la parte posterior del panel principalmente, [1, 2]. Estas tecnologías operan con una eficiencia en el rango del 15% al 20%. Sin embargo, derivado de que la celda solar opera bajo el principio de un semiconductor su desempeño eléctrico es función de la temperatura. En este contexto se ha experimentado y reportado que para la tecnología citada se reduce su eficiencia eléctrica hasta en 0.43% por cada grado de aumento de su temperatura de diseño (298K) [2].

 ISSN: 2007 8102

Lo anterior ha conducido a proponer técnicas y dispositivos para el enfriamiento de paneles fotovoltaicos con lo cual se incrementa su eficiencia y se mejora la producción de energía eléctrica, así mismo, da origen al desarrollo tecnológico de sistemas híbridos termofotovoltaicos, en el que se ha puesto como propósito principal la generación simultanea de energía eléctrica y energía térmica a través de la remoción, almacenamiento y/o manejo del calor, empleando diferentes fluidos de transferencia de calor, en su mayoría; aire, agua y nanofluidos [4]. La selección del fluido de transferencia de calor depende de sus propiedades termofísicas, de la aplicación y el método de remoción de calor, clasificándose como sistemas pasivos por termosifón, o por circulación forzada, estos últimos requieren de un elemento mecánico que demanda energía eléctrica, por lo que, si se busca mejorar el desempeño de los paneles fotovoltaicos mediante el acoplamiento de un sistema de remoción de calor, debe haber un criterio de selección o de diseño, que involucre el comportamiento del flujo de fluido con bajos factores de fricción, para no demandar cantidades de energía que contrarresten el desempeño del sistema hibrido termofotovoltaico [6,8].

Por otro lado, los sistemas de enfriamiento poseen diversas restricciones de acuerdo con la tecnología y configuración usada para el enfriamiento, siendo la más relevante la unión del sistema de enfriamiento con el módulo fotovoltaico, ya que se busca tener entre los dos sistemas, el mejor contacto mecánico para lograr una máxima transferencia de calor, [1, 6]. Se han empleado diferentes técnicas de enfriamiento de paneles fotovoltaicos y al mismo tiempo recuperar el calor para procesos térmicos como la calefacción de espacios habitables o invernaderos, así como el calentamiento de agua para uso doméstico, al mismo tiempo que se mejora el desempeño eléctrico de los paneles. En [4, 5], se clasifican las técnicas más utilizadas y viables para controlar el aumento de la temperatura de los paneles, a saber, mediante aire acondicionado, enfriamiento a base de agua, enfriamiento por inmersión líquida, enfriamiento termoeléctrico, enfriamiento por tubo de calor, micro-canales, intercambiadores de calor mejorado, enfriamiento por chorros, micro-canales híbridos, sistemas con cambio de fase, [7]. Considerando lo anterior, en este trabajo se hace el estudio experimental del comportamiento térmico de un sistema de enfriamiento, basando su construcción en una placa de policarbonato alveolar. Su desempeño se evalúa con respecto a la eficiencia térmica, reducción de temperatura del panel y el calor retirado del panel, considerado como calor útil.

Fundamento teórico

En la Figura 1 muestran las diferentes formas de energía más sifnificativas que interactúan con el conjunto panel fotovoltaico, parte superior y sistema de enfriamiento, parte posterior.

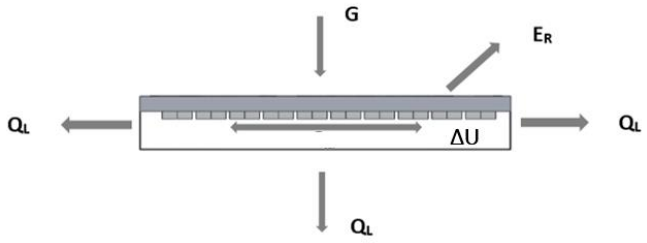


Figura 1.- Balance de energía del sistema termofotovoltaico

Donde:

G: energía solar que incide en el panel fotovoltaico
Q_L: pérdida de energía a través de las paredes al ambiente
ΔU: cambio de energía interna en el panel fotovoltaico
E_R: energía reflejada, por la superficie del panel fotovoltaico

La energía considerada como pérdida a través del panel fotovoltaico hacia el ambiente, es la que el sistema de enfriamiento podría teoricamente remover y se evalúa con los parámetros considerados en la ecuación 1.

 ISSN: 2007 8102

$$Q_L = U_L * A_c(T_{placa} - T_a) \quad (1)$$

Donde:

U_L : Coeficiente global de pérdidas $\frac{W}{m^{2\circ}C}$
A_c : área del colector m^2
T_{placa} : temperatura de la placa de policarbonato °C
T_a : temperatura ambiente °C

Al flujo másico del fluido empleado por el sistema de enfriamiento se le provoca un aumento en su temperatura. Lo anterior se representa con la ecuación 2 y es lo que se considera como calor útil o calor recuperado.

$$Q_u = \dot{m}c(T_{en} - T_{sal}) \quad (2)$$

Donde:

Q_u: calor útil W
$\dot{m}$: flujo másico kg/s
c: calor especifico J/kg K
T_{en}: Temperatura de entrada °C
T_{sal}: Temperatura de salida °C

La eficiencia térmica, es fundamental para evaluar el desempeño térmico de sistemas que involucran transformación de energía en su funcionamiento, considerada como el cociente de la energía útil y la energía que se requiere para disponer de dicha energía útil, en este caso, la solar. Se expresa como en la ecuación 3.

$$\eta_{ter} = \frac{Q_u}{A_c G} \quad (3)$$

Donde:

η_{ter} : eficiencia térmica %
Q_u : calor útil W
A_c : área del colector m^2
G : radiación $\frac{W}{m^2}$

Materiales y Métodos

Materiales

El sistema de enfriamiento es un intercambiador de calor construido de lámina de policarbonato alveolar de 6 mm de espesor, tubería hidráulica de policloruro de vinilo clorado (cpvc), de 19 mm de diámetro, silicón para alta temperatura o junta automotriz, la tubería de cpvc hace la función de cabezales en el intercambiador. En el proceso de construcción los cabezales con longitud de 1.35 m se les hace una ranura longitudinal, equivalente al ancho de la lámina de policarbonato (1.22 m), y el ancho de la ranura es equivalente al espesor de la lámina (0.006 m), lo anterior con la finalidad de ensamblar 0.005m cada extremo de la lámina en las ranuras realizadas en los tubos de cpvc. A continuación, en todo el contorno de la unión entre los dos materiales se aplica de tres a cuatro películas de pegamento para tubería cpvc y finalmente una película de silicón para alta temperatura con el propósito de sellar la unión. La Figura 2, muestra el esquema del sistema de acoplamiento panel fotovoltaico sistema de enfriamiento (intercambiador de calor).

 ISSN: 2007 8102

Métodos

Se hace pasar agua a temperatura ambiente a través del sistema térmico a base de lámina de policarbonato, al fluir el fluido en los alveolos de la lámina se retira calor del panel, provocando en el agua un gradiente de temperatura y en el panel el enfriamiento. El agua se almacena en un depósito térmico de 60 litros y esta se hace recircular por diferentes periodos de tiempo. Al final del día de pruebas por retiro de calor del panel, el agua alcanza condiciones térmicas que puede ser útiles para otros procesos. La Figura 3, muestra el sistema experimental con la instrumentación apropiada para su estudio. Los valores de las variables, tanto climáticas como de operación del sistema se registraron cada 10 minutos.

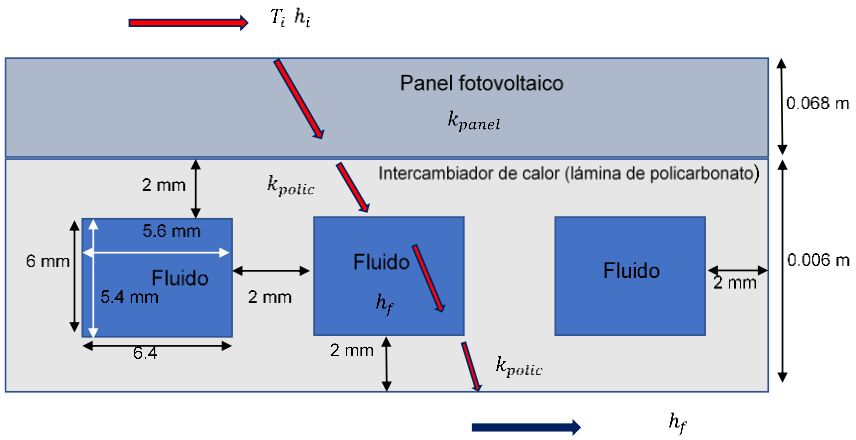


Figura 2. Esquema de acoplamiento panel fotovoltaico-sistema de enfriamiento

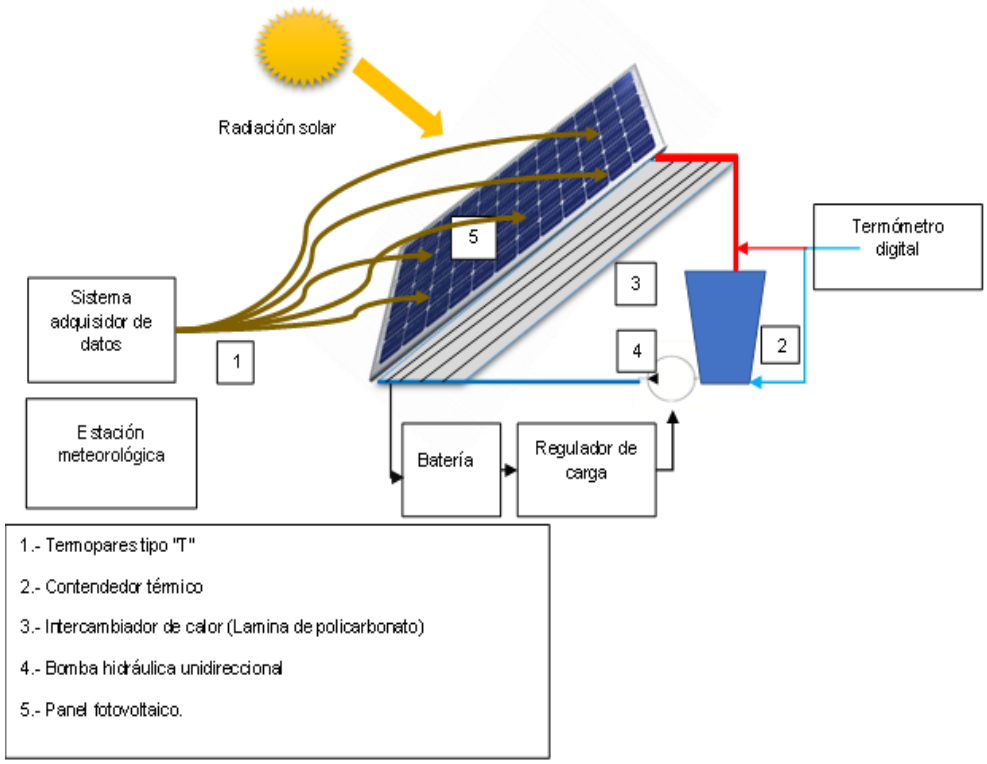


Figura 3.- Sistema experimental e instrumentación

ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

En un día de trabajo del panel fotovoltaico con valores de las variables climáticas promedio, para el mes de octubre en la ciudad de Apizaco Tlaxcala la temperatura ambiente es de 23°C, radiación solar de 870 W/m^2 y velocidad del viento de 1.2 m/s. Estos valores y los valores de las propiedades ópticas del panel conducen a tener la temperatura de la superficie del panel como se muestra en la Figura 4, a través de termografía.

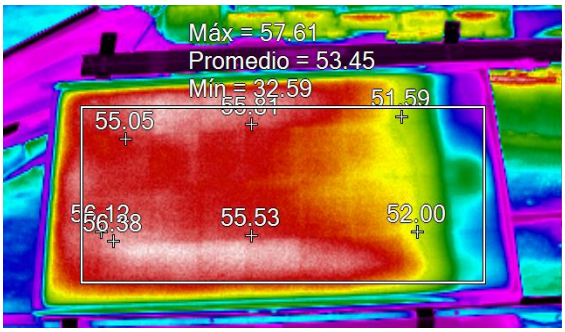
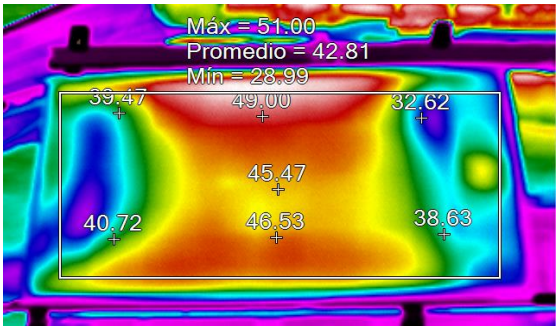
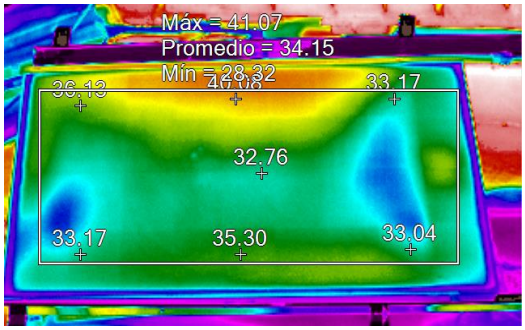


Figura 4. Temperatura en la superficie del panel antes de operar el sistema de enfriamiento

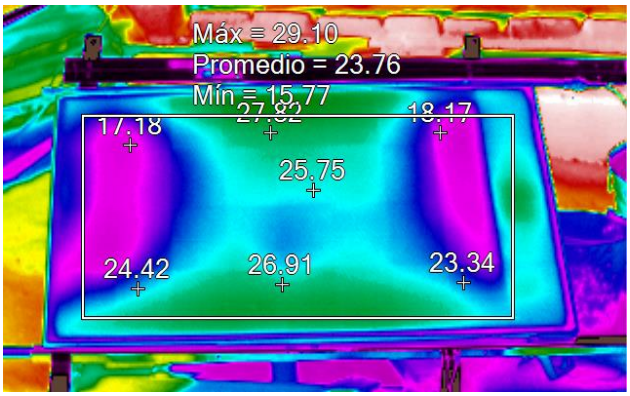
A continuación, comienza a operar el sistema de enfriamiento durante 1200 segundos y se observa como decrece la temperatura de la superficie del panel hasta llegar a la temperatura próxima a la del ambiente. En las siguientes figuras, por termografía se muestra el proceso de enfriamiento, Figura 5a, 5b, y 5c. Para este proceso se empleó un flujo másico de 0.066 kg/s, provocando un gradiente térmico de 20°C



a)



b)



c)

Figura 5. Reducción de la temperatura del panel mediante el sistema de enfriamiento

 ISSN: 2007 8102

El calor retirado del panel puede ser útil para proceso térmicos de calefacción o secado, por lo que el sistema de enfriamiento puede evaluarse su desempeño mediante el calor útil retirado y la eficiencia térmica del sistema. La grafica de la figura 6, es el resultado de operar el sistema de forma intermitente con un flujo másico de 0.060 kg/s, la temperatura inicial del panel es de 52°C y la del agua de enfriamiento de 11.4°C, en un espacio de tiempo de 2 horas, 36 minutos, el sistema de enfriamiento opera 5 veces llevando el agua de enfriamiento hasta los 30.1°C, lo cual es equivalente a una energía retirada acumulada de 3,335.5 kJ, con respecto a la cantidad de agua almacenada en el depósito de 60 litros podría elevarse su temperatura 14°C por arriba de su temperatura inicial. En la Figura 6, también se muestra el descenso de temperatura del panel solar cada vez que opera el sistema de enfriamiento, quedando en una temperatura media de 37°C.

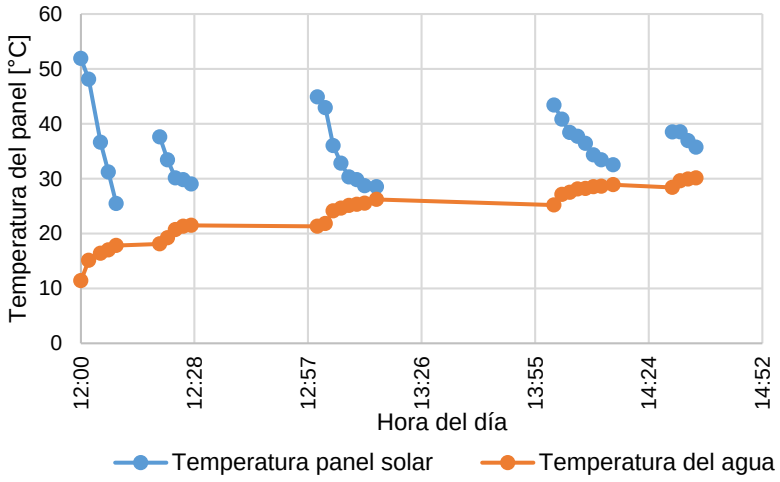


Figura 6.- Funcionamiento del sistema a 0.060 kg/s

En otro ensayo de remoción de calor también operando el sistema de enfriamiento de forma intermitente durante 5 horas 20 minutos, pero con tiempo más prolongado entre un proceso y otro, además con flujo másico de 0.076 kg/s, como se observa en la Figura 7, la energía removida es 6,095.7 kJ, equivalente a calentar los 60 litros de agua, 27°C por arriba de su temperatura inicial; siendo el flujo másico un factor importante en la remoción de calor, por favorecer la transferencia de energía y el aumento la eficiencia térmica del sistema, lo cual se corrobora mediante las gráficas de eficiencia térmica con los dos flujos másicos, en la Figura 8.

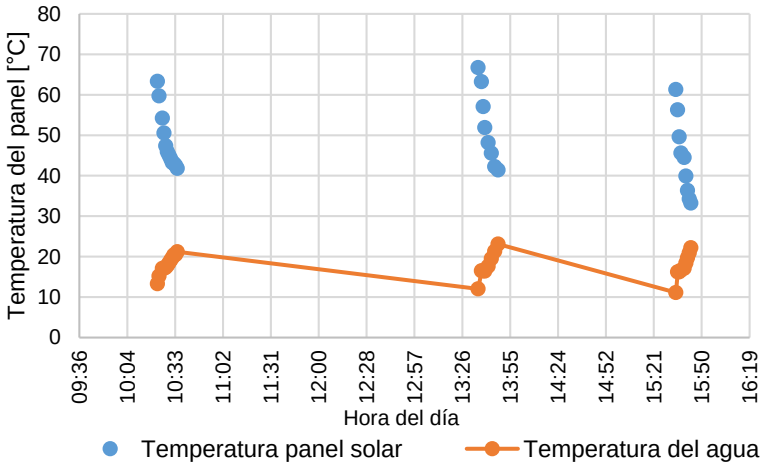


Figura 7.- Funcionamiento del sistema de enfriamiento a 0.076 kg/s

 ISSN: 2007 8102

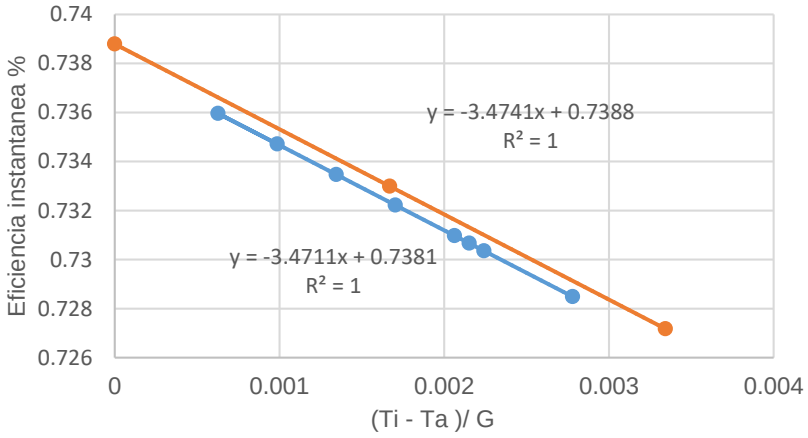


Figura 8.- Eficiencia del sistema térmico para diferente flujo másico 0.066 k/s y 0.76 kg/s.

El efecto de enfriar el panel fotovoltaico, se muestra en el aumento de su potencia eléctrica, así como, en su eficiencia eléctrica y debido a que a través del enfriamiento el panel se hace trabajar en condiciones semejantes a las de diseño, principalmente de temperatura, se espera se aumente su vida útil. En la Figura 9, se muestran el caso donde al reducir la temperatura del panel por enfriamiento 20 °C, se aumenta su eficiencia eléctrica 2%, pudiendo aumentar la eficiencia si se llevara al panel a su temperatura de diseño, 25°C, lo anterior al hacer trabajar el sistema de enfriamiento con diferentes flujos másicos o fluidos con mayor capacidad de transferencia de calor. En la Figura 10, se muestra la relación entre la eficiencia eléctrica y potencia, además de la influencia que tiene el variar el flujo másico, ya que, a mayor flujo, mayor posibilidad de transferirse calor desde el panel hacia el fluido, en este caso mayor enfriamiento que se refleja en el aumento de eficiencia y potencia eléctrica del panel. Para el flujo de 0.06 kg/s la eficiencia eléctrica aumenta 0.82% y la potencia 7.5 W, para el caso con flujo de 0.076 kg/s la eficiencia aumento 2.26% y su potencia aumenta en 13.8 W.

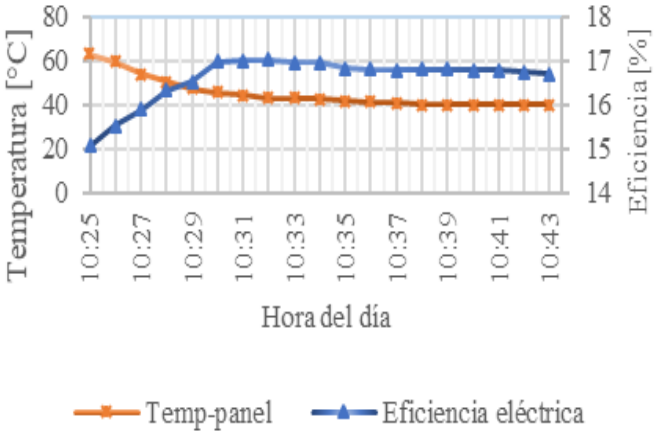


Figura 9.- Desempeño eléctrico por enfriamiento del panel

 ISSN: 2007 8102

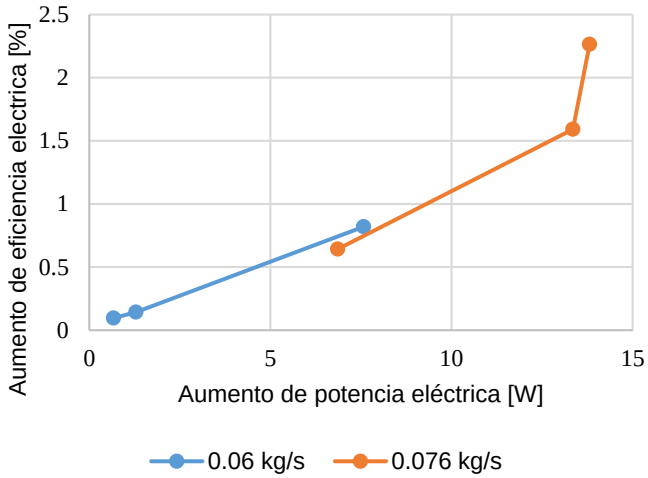


Figura 10.- Desempeño eléctrico del panel con respecto al flujo másico.

Conclusiones

Se construyó un sistema para retirar energía térmica a un panel fotovoltaico con el propósito de disponer calor útil para procesos térmicos. Se desarrolló un intercambiador de calor a base de lámina de policarbonato, del cual se aprovechó su configuración para el transporte del fluido y retirar calor al fluir. La recuperación del calor removido del panel fotovoltaico, se hizo mediante el calentamiento de 60 litros de agua almacenados en un depósito térmico.
También se mostró en los resultados que el flujo másico es fundamental en los procesos de transferencia de calor, al aumentar el flujo en 20%, además de operar el sistema de enfriamiento de forma intermitente, se dobló el valor de la energía recuperada de 3,335.5 kJ a 6,905.7 kJ. En la eficiencia térmica el efecto del aumento del flujo másico es poco significativo ya que solo aumenta en 1%. En el caso del desempeño eléctrico del panel por el efecto del enfriamiento se logró un aumento de la eficiencia eléctrica del 2% mientras que la potencia aumentó hasta en 13.8 W con el flujo másico de 0.076 kg/s. Finalmente, los sistemas de recuperación de calor con un diseño apropiado resultan convenientes para disponer de una segunda forma de energía mediante un solo dispositivo. Al mismo tiempo que se genera energía eléctrica.

Referencias

[1] T. Chow. A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. Applied Energy, vol. 2, No. 87, pp. 365-379, 2010.
[2] C.S. Rajoria, S. Agrawal, S. Chandra, G.N. Tiwari, D.S. Chauhan. A Novel investigation of building integrated photovoltaic termal (BiPVT) system: A comparative study. Solar Energy, 131, 107-118, 2016.
[3] J. Siecker, K. Kusakana, B.P. Numbi. A review of solar photovoltaic systems cooling technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 79, 2017.
[4] R. Bjørk, K.K. Nielsen. The performance of a combined solar photovoltaic (PV) and thermoelectric generator (TEG) system, Solar Energy 120, 187–194, 2015
[5] H.A. Zondag, D.W. de Vries, W.G.J. van Helden, R.J.C. van Zolingen, A.A. van Steenhoven. The yield of different combined PV-thermal collector designs. Solar Energy No. 74, pp. 253–269, 2003.
[6] A. Baloch, H. Bahaidarah, P. Gandhidasan, and F. Al-Sulaiman. Experimental and numerical performance analysis of a converging channel heat exchanger for PV cooling. Energy Conversion and Management, No.103, pp. 14-27, 2015.
[7] S. Nizˇetic´, D. Cˇoko, A. Yadav, F. Grubišic´-Cˇabo. Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response. Energy Conversion and Management. No. 108, 2016.
[8] M. Dida, S. Boughali, D. Bechki, H. Bouguettaia. Experimental investigation of a passive cooling system for photovoltaic modules efficiency improvement in hot and arid regions. Energy Conversion and Management, No. 243, 2021.

ISSN: 2007 8102

Sistema de monitoreo de tiempos de producción en una máquina CNC con IoT en la empresa VEMAQ, Hidalgo

Norberto Ortega Hernández[1], Víctor Rodríguez Marroquín[2], Carmin Hernández Domínguez[2]*, Isabel Mendoza *Saldivar[4]*,
[1,2,3,4]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo
18030194@itesa.edu.mx, vrodriguez@itesa.edu.mx, chernandez@itesa.edu.mx[*], imendoza@itesa.edu.mx

***Área de participación**: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica*

Resumen

En un entorno empresarial altamente competitivo con miras a la implementación de industria 4.0, la mejora continua de los procesos de maquinado en el área de producción es esencial para mantenerse a la vanguardia. Sin embargo, la falta de una medición precisa de los tiempos ha generado un desafío para la empresa VEMAQ, ya que no logra cumplir con la producción esperada ni alcanzar el indicador clave de desempeño (KPI) de entregas a tiempo. Para abordar este desafío, este trabajo propone una implementación para realizar el sistema de registro de tiempos de trabajo y tiempos improductivos de las máquinas CNC. Dicho sistema se centra en proporcionar una visión precisa del tiempo de operación, identificando de manera precisa cuándo la máquina está en funcionamiento y cuándo está detenida, otorgando beneficios a VEMAQ brindando una evaluación precisa de la producción real, lo cual es fundamental para cumplir con los objetivos establecidos y al conocer los tiempos de operación reales, la empresa puede ajustar su planificación y asegurarse de que se produzcan según lo planeado.

***Palabras clave**: KPIs, CNC, maquinado, VEMAQ*

Abstract

In a highly competitive business environment with a view to implementing industry 4.0, the continuous improvement of machining processes in the production area is essential to stay ahead. However, the lack of an accurate measurement of the times has created a challenge for the VEMAQ company, since it fails to meet the expected production or achieve the key performance indicator (KPI) of on-time deliveries. To address this challenge, this paper proposes the implementation of a recording system for working times and unproductive times for CNC machines. Said system focuses on providing an accurate vision of the operation time, accurately identifying when the machine is running and when it is stopped, giving benefits to VEMAQ by providing an accurate evaluation of the actual production, which is essential to comply with the requirements. Set targets and knowing the actual operating times, the company can adjust its schedule and ensure that they occur as planned.

***Key words**: KPIs, CNC, machining, VEMAQ*

Introducción

VEMAQ es una empresa ubicada en el estado de Hidalgo, México, fundada en 1985 dedicada a la fabricación de piezas maquinadas para la industria metalmecánica, cuya visión es fabricar partes maquinadas de alta precisión mediante la adopción de nuevas tecnologías y personal capacitado. Tiene como principal objetivo la industria aeroespacial, el principio principal de la manufactura es agregar valor al material a través del cambio de forma, propiedades, o una combinación de ello. En Hidalgo,las empresas con el crecimiento del sector industrial, se han visto forzadas a modificar la forma de realizar sus procesos así como incursionar en las TICs en el monitoreo y control de la producción, lo que les otorgue nuevos métodos ejecutados en interfaces humano máquina (HMI).

 ISSN: 2007 8102

Las HMI, realizadas en computadora, se utilizan para reproducir la realidad de los procesos en tiempo real mediante el internet de las cosas (IoT), permitiendo a los usuarios y supervisores interactuar con los equipos físicos de la planta, así como los virtuales de las interfaces gráficas de usuario (GUI), visualizando en tiempo real el estatus de diversa maquinaria.

La información forma gran parte y es decisiva en el éxito de las empresas, contando para ello con una buena orientación y con la disponibilidad adecuada, esto permite influir en la toma de decisiones[1]. En este sentido el control de KPI son los principales factores que permitirán medir y mejorar los procesos, ayudando a la empresa a comprender si está en el camino correcto y el cumplimiento de los objetivos. Un KPI deberá estar alineado con la estrategia organizacional, mostrando los datos actuales de los procesos o maquinaria que permitan visualizar su tendencia y así proyectar a futuro el comportamiento de los datos. Los KPI deben ser confiables y debidamente alineados a rangos de variación aceptables, de modo que si los valores son mayores o menores a los rangos establecidos se encontrar una solución a dicho problema y así lograr una estandarización que repercuta directamente en la optimización de la producción y con ello mejorar la economía de la empresa y calidad de los productos [2]

IoT se usa ampliamente para monitorear variables en salud, agricultura, medio ambiente, industria y deportes entre otros [3], [4], y para lograrlo, se utilizan diversos sensores entre ellos teléfonos móviles y otros objetos en el entorno para ejecutar tareas de recolección, transmisión, procesamiento y almacenamiento de datos con el fin de tomar acciones a partir de su análisis. La capa de dispositivos es de tipo físico y se forma por sensores que obtienen datos. La capa de red funciona como responsable de conectar los sensores y demás objetos inteligentes para que la información obtenida sea trasmitida, implementando uno o varios protocolos de red; es entonces que los datos serán procesados y analizados. Dicha información será utilizada en la capa de middleware, donde se ubican los servicios y el soporte de la capa de aplicación y consiste básicamente de la interfaz de usuario [5].

En innovación, control y automatización en diversos procesos y contextos se aplica el Internet de las Cosas [6],[7],[8] estos son sistemas de dispositivos físicos que reciben y transmiten información a través de redes inalámbricas abiertas que tienen la capacidad de gestionar, compartir información, datos y recursos, reaccionando ante situaciones y cambios en el entorno. Con base en lo anterior, se han realizado investigaciones aplicadas en agricultura de precisión [9] en diversos campos. A su vez, se utilizan herramientas de hardware y software estructuradas por capas IoT para monitorear el análisis de variables climáticas de cultivos agrícolas [10] estas son la adquisición, almacenamiento, análisis y visualización.

El IoT al ser una innovación mundial se utiliza cada día más en la mayoría de las industrias [11]. Está integrado por una red de dispositivos interconectados para generar intercambiar datos que sirven en la toma de decisiones ésto permite optimizar y automatizar procesos, predecir acciones y monitorear sin intervención humana.

Es importante para las empresas establecer metas y estrategias para mejorar sus procesos y esto permita alcanzar las metas planificadas. Las medianas y pequeñas empresas deben promover el fortalecimiento de la competitividad, la excelencia y la calidad. Es importante contar con indicadores que incluyan personas, procesos, aplicaciones y herramientas que permitan organizar la información, favoreciendo la disponibilidad de datos y su análisis para mejorar la toma de decisiones y aumentar el desempeño [12].

Por lo anterior, para VEMAQ es muy importante que el proceso de fabricación de piezas sea monitoreado en tiempo real através del internet de las cosas con el fin de lograr un incremento la producción y conocer el estatus de productividad de sus máquinas CNC mediante el control de tiempos basados en indicadores KPI (Key Performance Indicator) para la toma de decisiones..

ISSN: 2007 8102

Metodología

1.Observación Se realizó una visita a la empresa VEMAQ ubicada en el estado de Hidalgo para diagnosticar el estatus de los procesos de producción.

2.Planteamiento del problema Se identificó la falta de control y monitoreo de la maquinaria CNC.

3. Obtención de la señal de salida Se diseñó e implementó un dispositivo de monitoreo posicionado en la torreta de la máquina CNC el cual a través de un sensor LDR (Light dependent resistor) permite obtener una señal luminosa de salida, mostrando diferencias de intensidad en los colores de la misma de acuerdo al estatus del equipo.

4. Diseño de un sistema de adquisición de datos Se realizó un método de comunicación no invasivo entre la máquina CNC y la plataforma Adafruit.IO lo que permitió obtener los datos de la máquina en tiempo real mediante el internet de las cosas.

5. Programación Se realizó la programación de la tarjeta arduino así como la conexión con la red local para la obtención de información y control del KPI “entregas en tiempo”.

6. Obtención de información IoT Se realizó una prueba desde un dispositivo móvil conectado a internet el cual mostraba los gráficos de los tiempos muertos y tiempos de trabajo en tiempo real de la máquina.

7. Mejoras de implementación Se obtuvieron los detalles de la programación y la configuración de los dispositivos los cuales fueron modificados y corregidos.

8. Documentación Se generó el informe de la investigación otorgado al supervisor de la empresa.

Materiales

Tablero de control de KPI de la empresa
Placa de desarrollo NodeMcu (ESP8266)
LDR
Red local
Dispositivo móvil
Plataforma Adafruit.IO

Desarrollo

Como primer paso se realizó la visita a la empresa, en la cual se identificó el problema el cual radica en que el KPI “entregas a tiempo” no se cumplía en tiempo y forma por la falta de control y monitoreo de la maquinaria. En la figura 1 se muestra el tablero de control del KP “entregas a tiempo” de la empresa VEMQ.

 ISSN: 2007 8102

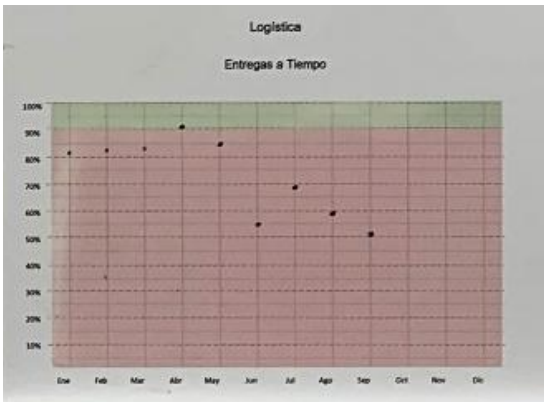


Figura 1. Tablero de control de KPI “entregas a tiempo

Una vez identificada la máquina CNC a la cual se le realizará el monitoreo, se diseñó el dispositivo que permite obtener la señal de salida que mostraba los tiempos de trabajo y tiempos muertos de la máquina. La máquina y la luz indicadora de la máquina CNC (Figura 2).



Figura 2. Luz indicadora de la máquina CNC

Posteriormente se realizó la conexión de los dos componentes principales para la obtención de datos de la torreta los cuales son la tarjeta de adquisición de datos ESP8266 la cual está conectada a la entrada A0 que a su vez conectada al segundo componente principal la cual es una fotorresistencia LDR que tiene una resistencia de 4.7k y conexiones positivó y negativo (Figura 3).

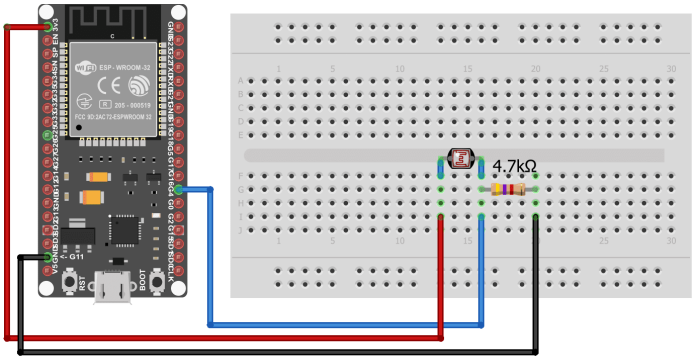


Figura 3. Diagrama de conexión

En la figura 4, se observa que una vez realizada la conexión se instaló el dispositivo en el centro de torneado en la parte superior donde se encuentra una torreta multicolor.

 ISSN: 2007 8102

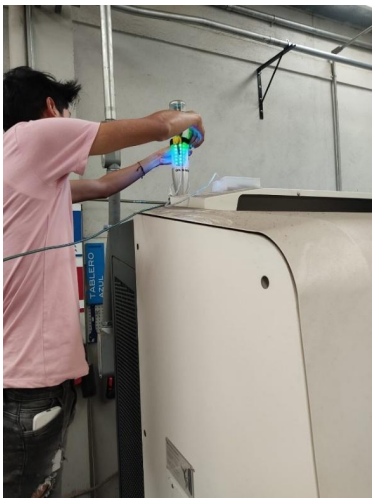


Figura 4. Instalación del dispositivo en el centro de torneado

La fotorresistencia se coloca en la torreta multicolor como se muestra en figura 5 de la cual se obtiene la señal del momento en el que el centro de torneado se encuentra trabajando, esta se muestra con un color verde en la torreta.



Figura 5. Torreta activa

Para la obtención de información mediante IoT se utilizó la plataforma Adafruit.IO la cual es un servicio gratuito en la nube diseñado para recuperar datos en tiempo real. La obtención de datos de la fotorresistencia en la plataforma Adafruit.IO se muestra en la figura 6.



Figura 6. Obtención de datos en Adafruit.IO

La programación del código principal de Arduino se baso en el lenguaje de programación C en el cual se diseñó el código para establecer la conexión de la tarjeta de adquisición de datos en donde se encuentran librerías

 ISSN: 2007 8102

para facilitar la programación y conexión, como primera parte se conecta a una red local en la cual se nombra el nombre de la red y la contraseña que permitirá la conexión wifi a la tarjeta, posteriormente se conectará a la plataforma adafruit en donde previamente se dió de alta una cuenta, esta plataforma permite observar gráficas y esquemas que ayudan al análisis de datos de tiempos de maquinado, después estos datos se mandan a la plataforma adafruit obteniendo gráficas diarias y semanales de los datos en tiempo real y el indicador de torreta y la luz que es emitida, así como un historial del modo en que opera la máquina: sus tiempos muertos y paros realizados, estos datos pueden ser descargados en formato XLSX para su análisis en un programa de hojas de cálculo y así determinar los KPI's. La figura 7 muestra un extracto de la programación mencionada anteriormente.

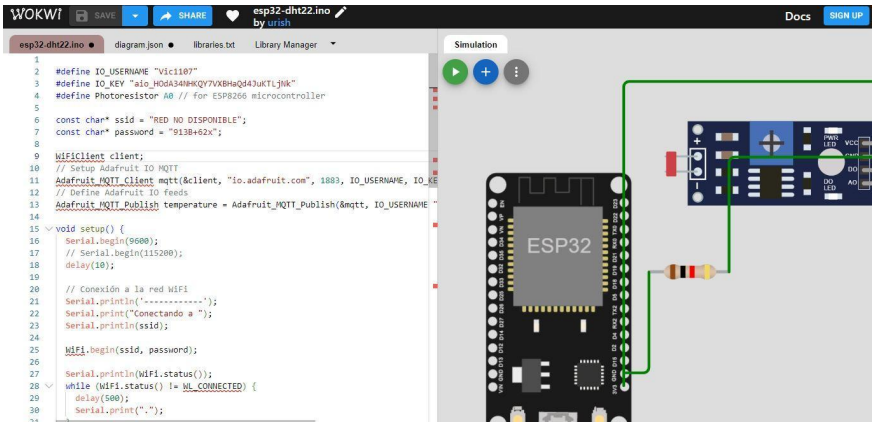


Figura 7. Programación

Resultados y discusión

Primeros resultados

Los datos de los tiempos muertos y de los tiempos de trabajo de la máquina se obtuvieron de la luz indicadora de la máquina CNC con la ayuda de un sensor LDR, donde este indica el estatus de trabajo de la máquina dependiendo el color mostrado es decir si la máquina se encuentra trabajando, en paro por algún cambio de herramienta o de material, o si la máquina se encuentra totalmente detenida, todo esto se ve reflejado en la base de datos de adafruit, donde se encuentra una gráfica que muestra cada minuto lo que está ocurriendo con la máquina en tiempo real como se muestra en los ejemplos de las Figura 8 y Figura 9



Figura 8-9. Ejemplo de los resultados obtenidos con Adafruit.IO con respecto al estatus de la máquina CNC

Segundos resultados

 ISSN: 2007 8102

El periodo de captura fue de un día de trabajo de ocho horas de la máquina, obteniendo estos resultados, teniendo en cuenta que cada dos segundos se realiza la medición. La Figura 10 muestra el trabajo de un día, respecto al trabajo de antes y después de la hora de comida, lo que vemos es que al día la máquina trabaja un 78% del horario de trabajo a lo que equivale a 6.24 horas de producción, mientras que el 22% restante es tiempo no trabajado por algún cambio de herramienta, programa o inclusive algún tipo de falla.

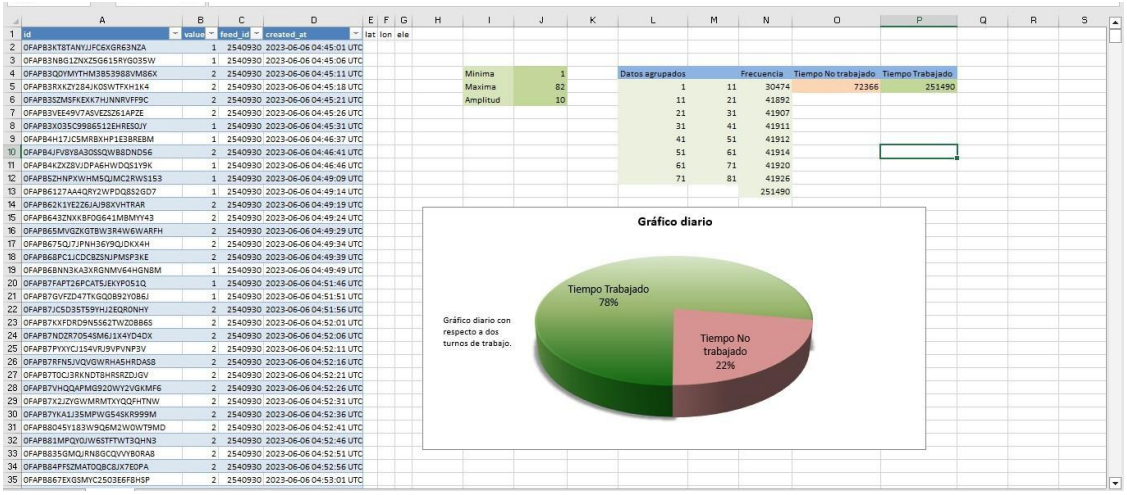


Figura 10. Gráfico diario

Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro se pretende realizar un Sistema de monitoreo en línea de tiempos de producción en una máquina CNC en conjunto con el ERP para el cumplimiento de KPI´s efectivos cuyo objetivo sea optimizar el tiempo de producción mediante el desarrollo de un sistema de monitoreo en línea de la máquina CNC, en alineación a los requerimientos de uso del ERP de la empresa, para eficientar el seguimiento y monitoreo de los KPI´s. Dicho plan se divide en las siguientes etapas:

Tabla 1. Planeación de actividades para el trabajo a futuro

Diagnóstico ERP	- Comparar las características de los sistemas de información ERP -Identificar las áreas de oportunidad en la utilización del ERP de la empresa Realizar estudio de factibilidad técnica del ERP
Implementación de estrategias Logística	Reconfiguración de los permisos del sistema Definición de actividades y responsabilidades para el uso del ERP
Análisis de KPI´s actuales	Identificación de los indicadores clave de la empresa Realizar el diseño de plantilla de control de datos en la nube Realizar pruebas con base en la metodología de prototipado evolutivo
Estandarización de KPIS	Determinar los KPI's generados por la empresa y los otorgados por el ERP Seleccionar los KPI's de control de mayor impacto
Implementar dashboard	Diseñar dashboard para los KPI's de control Alimentar la información requerida por el dashboard

 ISSN: 2007 8102

Comunicación de Tiempos de maquinado y ERP para cumplimiento de KPI´s	Identificar los requisitos de comunicación entre el ERP, tiempos de maquinado y dashboard de KPI's
	Realizar la comunicación entre el ERP, los tiempos de maquinado y dashboard de KPI's
	Realizar pruebas en la comunicación para la toma de decisiones

Discusión

Una de las principales ventajas de la incorporación de la tecnología IoT en el monitoreo de la máquina CNC es la capacidad de obtener datos en tiempo real de forma precisa y continua. La integración de sensores ha permitido una recopilación automatizada de información, eliminando la necesidad de registros manuales y minimizando el riesgo de errores humanos. La disponibilidad inmediata de datos ha permitido a los responsables de la toma de decisiones contar con información actualizada para tomar medidas correctivas o preventivas de manera oportuna. El acceso remoto a los datos a través de dispositivos móviles y computadoras ha sido otro aspecto destacado de esta implementación. Esto ha permitido a los gerentes y supervisores monitorear la producción incluso fuera de las instalaciones de la empresa. La capacidad de supervisión remota ha mejorado la capacidad de respuesta ante problemas o eventos inesperados, lo que ha permitido una gestión más ágil y efectiva. El sistema de monitoreo IoT también ha permitido identificar patrones y tendencias en el proceso de producción. Al recopilar datos de manera continua y a largo plazo, se han podido identificar áreas de mejora y oportunidades de optimización que, de otra manera, podrían haber pasado desapercibidas. Esto ha permitido realizar ajustes en la planificación de la producción y en la asignación de recursos, lo que ha resultado en una mayor eficiencia y una reducción de costos. Además, la implementación del sistema ha promovido una mayor cultura de la mejora continua dentro de la empresa VEMAQ. Los operadores y empleados se han mostrado más involucrados en el proceso de producción al ser conscientes de que sus acciones y decisiones están siendo monitoreadas y analizadas en tiempo real. Esta conciencia ha impulsado un enfoque más proactivo hacia la productividad y la calidad. No obstante, es importante mencionar que la implementación de la tecnología IoT en el monitoreo de la máquina CNC también ha presentado algunos desafíos. La infraestructura tecnológica requerida y los costos asociados pueden ser una barrera para algunas empresas, especialmente para aquellas de menor tamaño o recursos limitados. Además, la seguridad de los datos recopilados es un aspecto crítico que debe ser abordado cuidadosamente para evitar vulnerabilidades y posibles riesgos de ciberseguridad.

Conclusiones

En este trabajo, se presentaron los resultados de la implementación de un sistema de obtención de datos del proceso de producción de la máquina CNC a través de un dispositivo de comunicación para el monitoreo de los tiempos de maquinado, los resultados reflejaron el tiempo de trabajo de la máquina, el tiempo en el que se encuentra trabajando la máquina. Esto quiere decir que de las ocho horas de trabajo de la máquina un 78% esta se encuentra trabajando en el maquinado de alguna pieza, mientras que el 22% restante es tiempo que no trabaja la máquina ya sea tiempo cargando el programa a realizar o cambio de herramienta.

Se cumplió con el objetivo debido a que el sistema desarrollado, cumple con lo acordado a ser un sistema no invasivo en la máquina para no afectar con el funcionamiento de esta, además se cumplió que toda la obtención de datos se pueda monitorear en cualquier momento para poder verificar en qué estado se encuentra el centro de torneado, este se puede monitorear vía remoto en un dispositivo móvil minuto a minuto sin la necesidad de estar conectado en la misma red o equipo de cómputo. Con lo anteriormente mencionado el dispositivo es capaz de ayudar a la mejora del rendimiento de los procesos pudiendo observar más a fondo los tiempos en los que tarda los trabajos de realización de una pieza en las máquinas.

ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] J. M. Beltrán Jaramillo, *Indicadores de Gestión: Herramientas para lograr la competitividad.* 2ª ed. España: 3R Editores, 2000.
[2] M.P. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna.* 3er ed. México:McGraw-Hill, 2007.
[3] J. E. Consuegra-Fontalvo, J. Calderón-Velaides, and G.E. Chanchí-Golondrino, "IoT system for monitoring and analysis of physiological variables in athletes," *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 31, no. 8, pp. 1-22, 2022.
[4] J. A. Quintero, H. G. Parra-Peñuela, Héctor, E. E. Gaona, "Data Acquisition with LoraWAN IoT Technology to Monitor Bio-Inspired Wind Turbines in Rural Areas of Cundinamarca," *Ingeniería,* vol. 27, no. 2, 1-14, 2022.
[5] S. Merzouk, A. Cherkaoui, A. Marzak, andS. Nawal, "IoT methodologies:comparative study, *Procedia Computer Science*, vol. 175, pp. 585-590, 2020.
[6] F. Viel, L. A. Silva, R. Q. Valderi Leithardt, and C.A. Zeferino, "Internet of Things: Concepts, architectures and technologies". In 13th IEEE International Conference on Industry Applications, pp. 909-916, 2019.
[7] L. Babun, K. Denney, Z.B. Celik, P. McDaniel, and A.S. Ulua- Gac, "A survey on IoT platforms: Communication, security, and privacy perspectives". *Computer Networks*, 192, 2021.
[8] K. Gulati, R. S. Kumar Boddu, y D. Kapila, S.L. Bangare, N. Chandnani, N. and G. Saravanan, "A review paper on wireless sensor network techniques in Internet of Things (IoT)", *Materials Today: Proceedings,* vol. 51, pp. 161-165, 2021.
[9] G. E. Chanchí, M. A. Ospina, and W. Y. Campo, "IoT Architecture for Monitoring Variables of Interest in Indoor Plants," *Computacion y Sistemas*, vol. 25, no. 5, pp. 695-705, 2021.
[10] G. E. Chanchí Golondrino, M. A. Ospina Alarcón, and M. Saba, "Sistema IoT para el monitoreo de variables climatológicas en cultivos de agricultura urbana," *Revista científica*, vol. 44, no. 2, pp. 257-271, 2022.
[11] G. Bastos Stephes, A. J. Joaquín Cerda, J. A. López Guerrero, and J. Córdoba Retana, "Transformación de la agricultura mediante la implementación y uso del Internet", 2022.
[12] R. Fonseca-Feris, and V.C. Fleitas-Alvarez, "Las pequeñas y medianas empresas en Paraguay. limitaciones para su internacionalización," *Revista Internacional de Investigación en Ciencias Sociales*, vol. 16, no. 2, pp. 294-311, 2020.

 ISSN: 2007 8102

Sistema Scada para un turbogenerador en la Compañía Industrial Azucarera S.A de C.V.

G. Paxtián Méndez [1], H. Izquierdo Ramírez [2], C.R. Posadas Trejo [3]

[1-3] Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Acayucan
Carretera Costera del Golfo km. 216.4, Desviación a Monte grande. CP 96100, Acayucan, Veracruz, México
[2] Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Acayucan
Carretera Costera del Golfo km. 216.4, Desviación a Monte grande. CP 96100, Acayucan, Veracruz, México

gerardo.pm@acayucan.tecnm.mx
henry.ir@acayucan.tecnm.mx
trejo_85@hotmail.com

***Área de participación**: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica*

Resumen

El presente artículo describe la propuesta de un prototipo de sistema SCADA que permita monitorear la línea de vapor que alimenta el turbogenerador de 10 mW, ayudando en la mejora de la demanda de energía en la empresa Industrial Azucarera SA de CV., para los diferentes procesos de producción de azúcar. Se propone que dentro del PLC instalado en el cuarto de control de molinos que se denomina como Unidad Central, se realice el control para el monitoreo del turbogenerador. Debido a que las distancias son extensas entre la instrumentación de campo y la Unidad Central, se propone un Sistema de Control Remoto para las entradas y salidas de los instrumentos de campo, mediante un cable de red correspondiente al protocolo de comunicación Ethernet IP sean llevadas al PLC del cuarto de Control de molinos para ser procesadas.

***Palabras clave**: Sistema SCADA, turbogenerador, control.*

Abstract (150 *words at most, Arial 10*)

This paper describes the proposal of a prototype SCADA system to monitor the steam line that feeds the 10 mw turbogenerator, helping to improve the energy demand in the company Industrial Azucarera SA de CV, for the different sugar production processes. It is proposed that within the PLC installed in the control room of the mills, which is called the Central Unit, the control for monitoring the turbogenerator should be carried out. Since the distances between the field instrumentation and the Central Unit are long, we propose a Remote Control System for the inputs and outputs of the field instruments, by means of a network cable corresponding to the Ethernet IP communication protocol they are taken to the PLC of the mill control room for processing.

***Key words**: SCADA System, turbo generator, control.*

Introducción

Un sistema Scada es una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción que proporciona comunicación entre los dispositivos de campo, llamados también RTU (Remote Terminal Units o Unidades Remotas), donde se pueden encontrar elementos tales como controladores autónomos o autómatas programables, y un centro de control o Unidad Central (MTU, Master Terminal Unit), donde se controla el proceso de forma automática desde la pantalla de uno o varios ordenadores [1]
La automatización en las industrias [2], consiste en gobernar la actividad y evolución dentro de los procesos sin que el ser humanos intervenga como operador. Esto conlleva al desarrollo de un sistema denominado SCADA

 ISSN: 2007 8102

(siglas en inglés de Supervisor y Control And Dara Adquisition), mediante la cual se puede supervisar y controlar diversas variables que se presente en un proceso o planta. [3]
Las actuales exigencias de energía eléctrica para la planta de producción de azúcar han dejado de ser suficientes [4], los turbogeneradores producen 5.5 mW y la planta está demandando un total de 6.5 mW, por lo que han llevado a la Compañía Industrial Azucarera a depender mucho de la Comisión Federal de Electricidad, lo que en términos de capital financiero comprende una suma monetaria elevada.
Por ello, la necesidad de optar por un Turbogenerador de 10 mW, esta es una mayor capacidad con el que podrán estar operando las máquinas para el proceso de azúcar, y junto con ello el desarrollo del SCADA que permitirá conocer el estado en tiempo real para la producción de energía [5].
El sistema SCADA resuelve la monitorización de datos para poder visualizar mediante una interfaz como están funcionando las maquinas en tiempo real, además de que se observa donde se podrá mejorar en el futuro.

Metodología

Teniendo en cuenta el conocimiento del contexto del proyecto, se determinaron las etapas de desarrollo del trabajo, bajo los siguientes puntos:

Materiales

Los principales materiales que fueron requeridos para el desarrollo de este proyecto, son los programas Control Studio 5000® [6] y FactoryTalk View® [7], los cuales no fueron adquiridos, debido a que la empresa cuenta con las licencias para su uso. Otros elementos que fueron utilizados se describen en la tabla 1.

Desarrollo

Al iniciar este trabajo se proporcionó la arquitectura de red que conformara todo el proyecto de instalación del turbogenerador, tal y como se observa en la figura 1, se muestra la arquitectura de red general (NG), donde se centra el objetivo principal.

 ISSN: 2007 8102

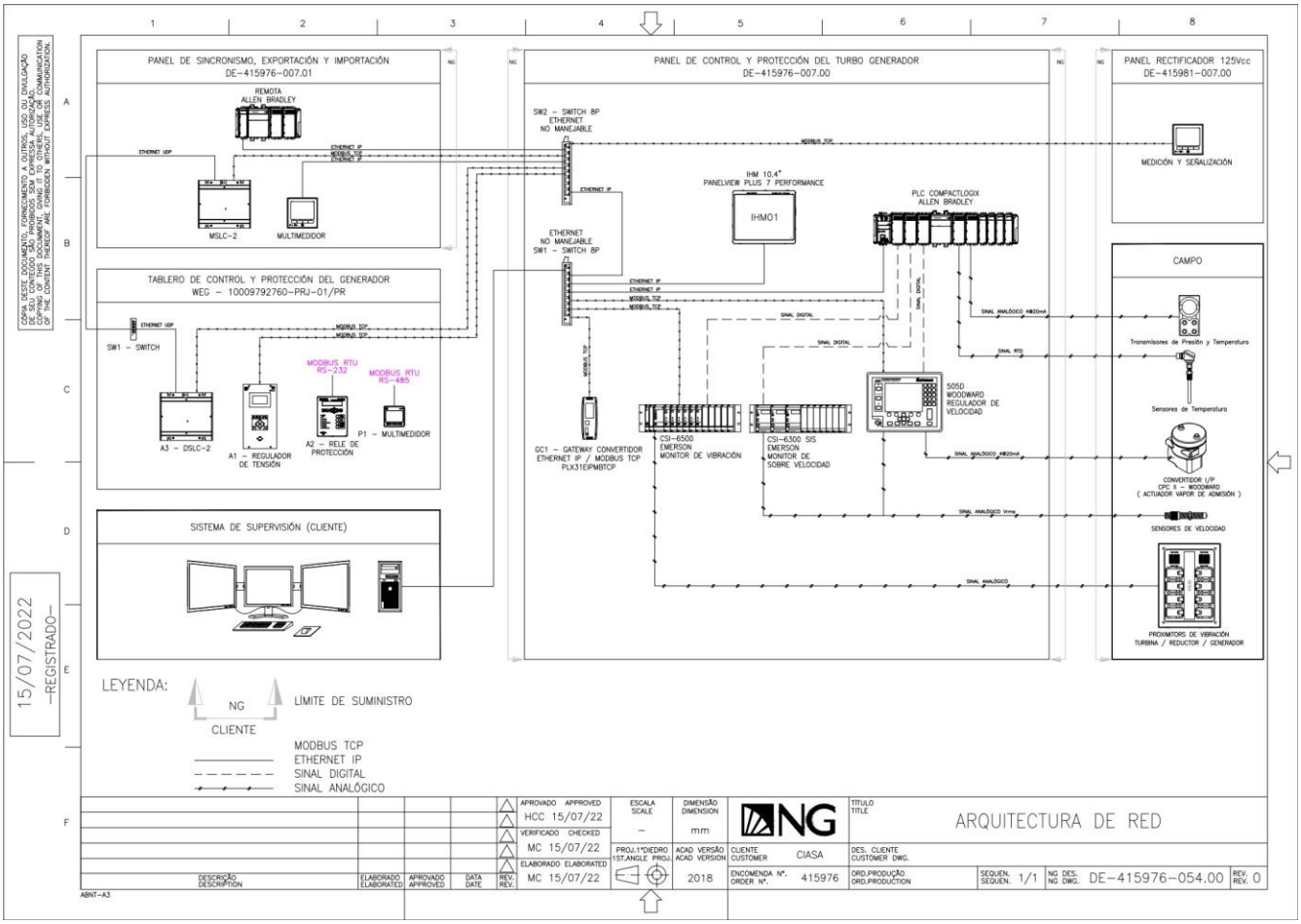


Figura 1. Arquitectura de red (NG)

Panel de Control y protección del turbo generador

En esta parte de la arquitectura es desarrollado por NG, ya que es el control maestro que se proporciona con el servicio, en la figura 2 se puede observar el panel de control y protección del turbogenerador, que se compone del HMI 10.4” Panel View 7 Performance en el cual mediante el PLC Compact Logix ubicado en la caseta de control de molinos; visualizará la información recogida mediante el protocolo Ethernet IP y Modbus TCP, la señal digital del Woodward Regulador de Velocidad, Emerson Monitor de sobre velocidad, Emerson Monitor de Vibración, esto como parte de la turbina.

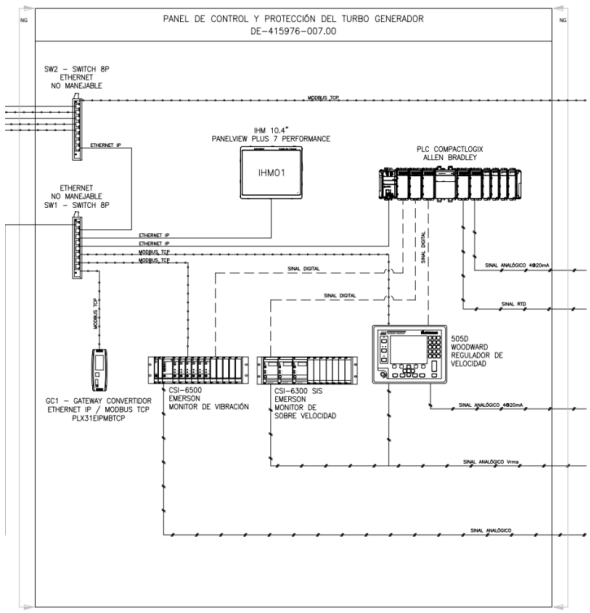


Figura 2.- Panel de control y protección del turbogenerador

Campo

Se presenta la instrumentación incluida por NG para el monitoreo del turbogenerador, tal y como puede observarse en la figura 3, entre los que se encuentran Transmisores de presión y temperatura (señal analógica de 20 mA), sensores de temperatura (señal RTD) estas dos conectadas directamente al PLC.
El convertidor I/P CPC II – Woodward esta enlazado (señal analógica 4-20 mA) al Woodward Regulador de velocidad, los sensores de velocidad están conectados al Regulador de velocidad y al monitor de sobre velocidad (señal analógica Vrms).
Los proximitos de vibración incluye turbina, reductor y generador, se conectan al monitor de vibración (señal analógica).

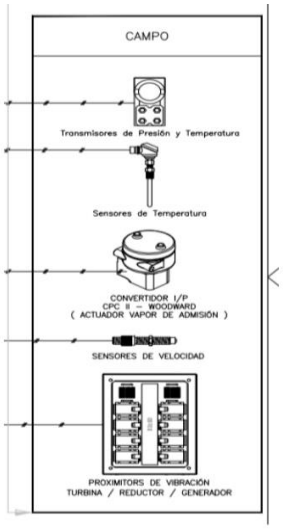


Figura 3.- Instrumentos de campo para la turbina.

Panel de sincronismo, exportación e importación

Mediante el switch 2, se recoge la información por el protocolo Ethernet IP y se envía a una Remota Allen Bradley [8]. Véase la figura la 4.

 ISSN: 2007 8102

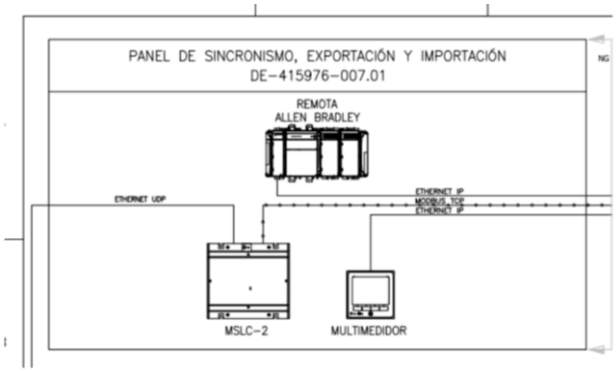


Figura 4.- Panel de sincronismo, exportación e importación.

Tablero de control y protección del generador WEG

En este apartado se concentra el regulador de tensión, relé de protección, multi medidor conectados al switch 2 mediante protocolo Modbus TCP y RTU. Véase la figura 5.

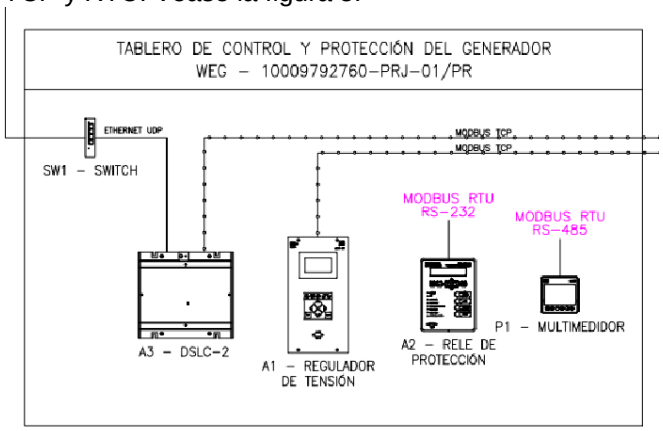


Figura 5.- Tablero de control y protección del generador.

Sistema de supervisión (cliente)

En la remota Allen Bradley se añadieron más tarjetas I/Os, para incorporar la instrumentación que comprenderá el recorrido del vapor de la caldera 4 a la planta eléctrica como protección.
Mediante la conexión Ethernet IP que llega desde el PLC Compact Logix Allen Bradley que es el controlador maestro el Switch 1, este se conecta al switch 2 donde se conecta a la Remota Allen Bradley y posteriormente del switch 1 debe llegar al sistema de supervisión la información de toda la infraestructura del externo de instrumentación. Lo antes descrito se puede observar la figura 6.



Figura 6.- Sistema de supervisión SCADA

Instrumentación de control para la línea de vapor caldera cuatro a turbogenerador.

En la tabla 1 se enlistan los instrumentos que se instalaron en la línea de vapor.

 ISSN: 2007 8102

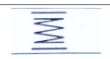
Cuadro de referencias			
Simbología	**Descripción del elemento**	**Unidad**	**Cantidad**
	Válvula de compuerta 1 ½" ø, clase 300	Pza.	1.00
	Válvula de compuerta 12" ø, clase 300	Pza.	2.00
	Válvula de compuerta 14" ø, clase 300	Pza.	1.00
	Válvula de compuerta 24" ø, clase 300	Pza.	1.00
	Reducción concéntrica 14" ø x 12" ø	Pza.	2.00
	Reducción concéntrica 14" ø x 6" ø	Pza.	1.00
	Reducción concéntrica 12" ø x 8" ø	Pza.	1.00
	Reducción concéntrica 8" ø x 6" ø	Pza.	1.00
	Reducción concéntrica 30" ø x 24" ø	Pza.	1.00
	Brida de acero al carbon 3" ø clase 300	Pza.	2.00
	Brida de acero al carbon 6" ø clase 300	Pza.	4.00
	Brida de acero al carbon 12" ø clase 300	Pza.	8.00
	Brida de acero al carbon 14" ø clase 300	Pza.	4.00
	Brida de acero al carbon 24" ø clase 300	Pza.	8.00
	Trampa de vapor	Pza.	4.00
	Omega fabricada en sitio 14" ø	Pza.	2.00
	T de interconexión 14"øx14"ø	Pza.	10.00
	T de interconexión 12"øx12"ø	Pza.	1.00
	Válvula de compuerta motorizada 12"ø clase 300	Pza.	3.00
	Válvula de compuerta motorizada 6"ø clase 300	Pza.	3.00
	Junta de expansión 24"ø	Pza.	1.00
	Válvula de seguridad de alivio de presión x"Ø clase 300	Pza.	3.00
	Válvula de seguridad de alivio de presión x"Ø clase 300	Pza.	1.00
	Válvula de seguridad de alivio de presión x"Ø clase 300	Pza.	1.00
	Separador de arrastre 14" Ø	Pza.	1.00
	Válvula atemperadora 1" Ø clase 300	Pza.	1.00
	Válvula atemperadora 6" Ø clase 300	Pza.	2.00
	Turbogenerador Cap:10mW 130 Kv	Set	1.004
	Transmisor de flujo con sensor primario RTD	Pza.	2.00
	Transmisor de temperatura	Pza.	4.00
	Indicador de temperatura	Pza.	3.00
	Indicador de presión	Pza.	2.00
	Transmisor de presión	Pza.	2.00

Tabla 1.- Listado de instrumentos para diagrama de funcionamiento TG 10 mw

Diseño y programación

El programa de control fue realizado en la versión 32 del software de Control Studio 5000®, debido a que la Compañía Azucarera cuenta con la licencia de desarrollo de esta versión, y el programa de visualización se realizó en V11 del Software FactoryTalk View®, ya también cuenta con la licencia de esta versión. La figura 7 y 8 muestran las imágenes de estos programas.

 ISSN: 2007 8102



Figura 7.- Studio 5000®



Figura 8.- FactoryTalk View®

Resultados y discusión

El desarrollo del diagrama unifilar para el desarrollo de la interfaz gráfica SCADA, de acuerdo a lo observado en la figura 9, es el resultado que se debe visualizar para el operario de este sistema, donde se describen las variables que se deben controlar en el proceso, además de mostrar los rangos normales que se esperan en cada uno de los puntos de medición establecidos.

ISSN: 2007 8102

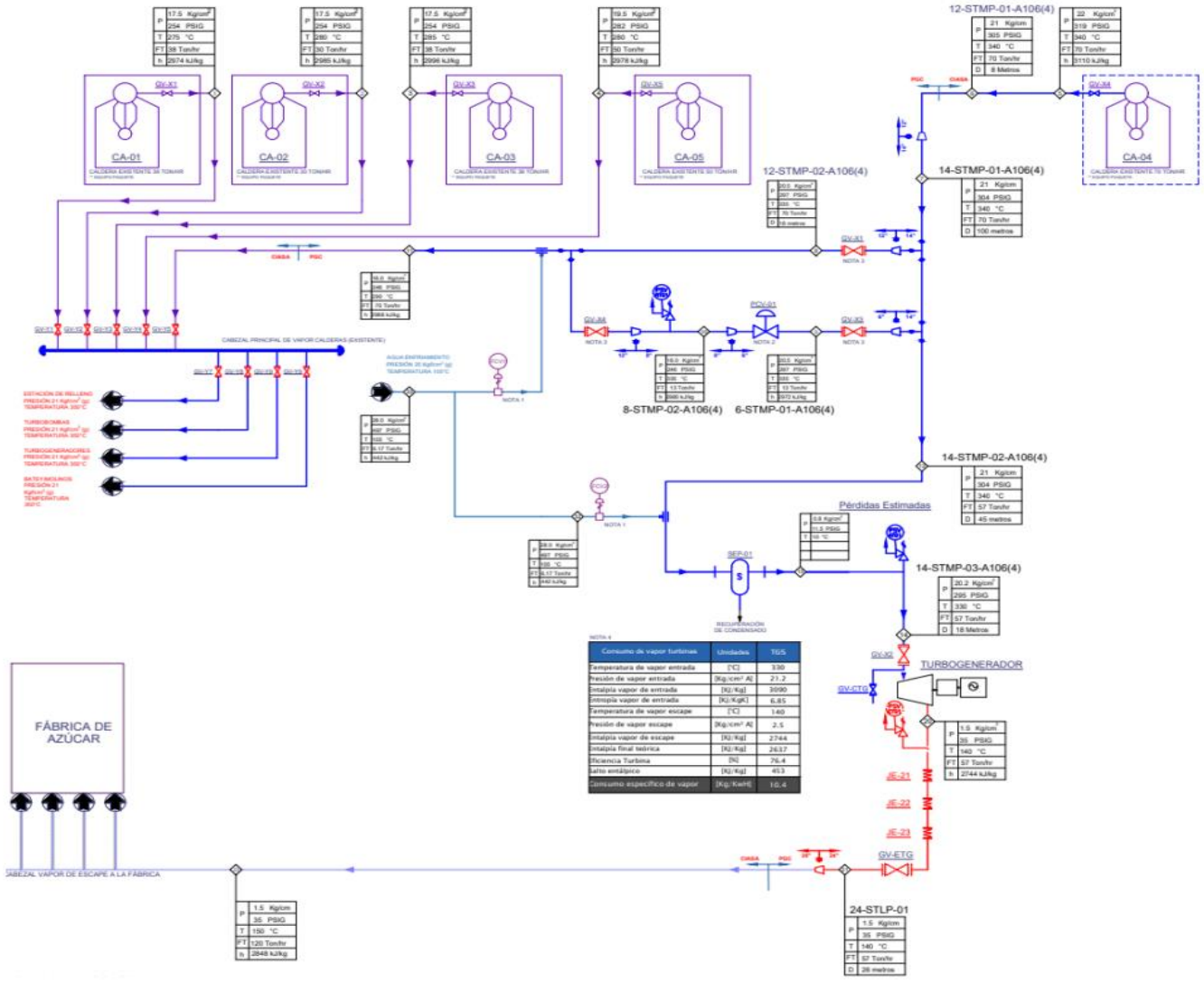


Figura 9.- Diagrama unifilar de los valores de proceso

Valores de proceso

Para conocer los valores se realizaron en diferentes puntos los cálculos para la medición de vapor, pérdidas, vapor baja y agua, conociendo así el flujo (mínimo, normal, máximo), la presión (mínimo, normal, máximo), la temperatura (mínimo, normal, máximo), observándose los datos numéricos en la figura 10.

VALORES DE PROCESO

PUNTO DE REFERENCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
FLUIDO	VAPOR ALTA	VAPOR ALTA	VAPOR ALTA	VAPOR ALTA	VAPOR ALTA	VAPOR ALTA	VAPOR ALTA	VAPOR ALTA	VAPOR ALTA	VAPOR ALTA	VAPOR ALTA	VAPOR ALTA	PÉRDIDAS	VAPOR ALTA
FLUJO Kg/h (MÍNIMO)	20,000	15,000	20,000	35,000	45,000	45,000	45,000	45,000	0	0	0	45,000		45,000
FLUJO Kg/h (NORMAL)	35,000	30,000	35,000	50,000	65,000	65,000	65,000	65,000	13,000	13,000	13,000	65,000		65,000
FLUJO Kg/h (MÁXIMO)	42,000	35,000	42,000	55,000	70,000	70,000	70,000	70,000	20,000	20,000	70,000	70,000		70,000
PRESIÓN Kg/cm² (MÍNIMO)	15.0	15.0	15.0	15.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	15.0	15.0	18.0	0.6	18.0
PRESIÓN Kg/cm² (NORMAL)	16.0	16.0	16.0	18.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	16.0	16.0	21.0	0.8	21.0
PRESIÓN Kg/cm² (MÁXIMO)	17.0	17.0	17.0	19.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	17.0	17.0	22.0	1.0	22.0
TEMPERATURA °C (MÍNIMO)	260.0	260.0	260.0	260.0	320.0	320.0	320.0	320.0	320.0	320.0	260.0	300.0	8	300.0
TEMPERATURA °C (NORMAL)	275.0	275.0	275.0	280.0	340.0	340.0	340.0	340.0	340.0	340.0	280.0	320.0	10	320.0
TEMPERATURA °C (MÁXIMO)	285.0	285.0	285.0	290.0	360.0	360.0	360.0	360.0	360.0	360.0	310.0	360.0	12	360.0

Figura 10.- Datos obtenidos de los valores de proceso.

 ISSN: 2007 8102

Propuesta de sistema de control, supervisión y adquisición de datos

Se presenta la propuesta para la integración del sistema SCADA para la supervisión del turbogenerador y sus variables de control, así como el control y supervisión de los servicios auxiliares.
Se propone la integración a una remota con una figuración como se presenta en la figura 11.



Figura 11.- Integración de la remota, en la tabla 2 se encuentra el nombre, slot y el número del catálogo para ser consultado.

Nombre	Número de slot	Número de catálogo
Batery	N/A	1756-A7
	N/A	1756-PA75
Ethernet I/P	0	1756-EN2T
DC-Input	1	1756-IB32
	1.1	1756-TBCH
DC-Output	2	1756-OB32
	2.1	1756-TBCH
Analog Input	3	1756-IF16
	3.1	1756-1756-TBCH
Empty Slot Filler Card	4	1756-N2
	5	1756-N2
	6	1756-N2

Tabla 2.- Hardware propuesto para la remota

Se considera el monitoreo del estado operacional de los tres bancos de baterías suministrados por las compañías fabricantes de la turbina y generados, así como el control de los componentes del sistema de enfriamiento, en caso de requerir la integración de algún otro servicio se deberá considerar la adecuación de más tarjetas.
Se podrá integrar al controlador del área de molinos, tal y como se observa en la figura 12 y 13, con la finalidad de no incrementar el costo del hardware, esto se propone basándose en un análisis del porcentaje de utilización mencionado, el cual podría soportar esta integración sin comprometer la operación del área controlada.

ISSN: 2007 8102



Figura 12.- Tablero de control área de molinos, en la parte superior se encuentra el PLC que funciona como la unidad central de control para la integración de la remota con el nuevo turbogenerador de 10 mW.

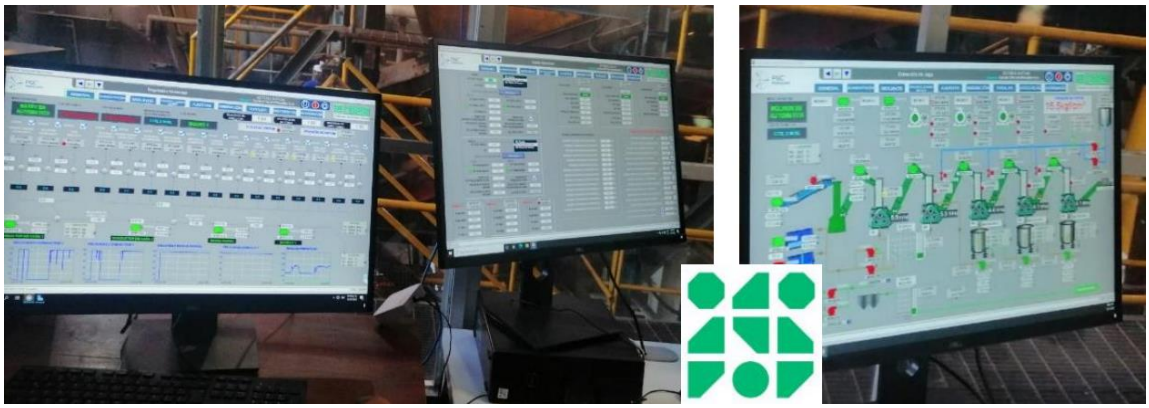


Figura 13.- Sistema de control de molinos de Compañía Industrial Azucarera.

Arquitectura de red

Se realizó la integración al sistema de control existente en un segmento de red independiente, se integra una tarjeta de red adicional en el rack principal del área de molinos de la cual se realizará la derivación hacia la caja remota y los tableros de control de la turbina. La integración del sistema control se puede observar en la figura 14.

 ISSN: 2007 8102

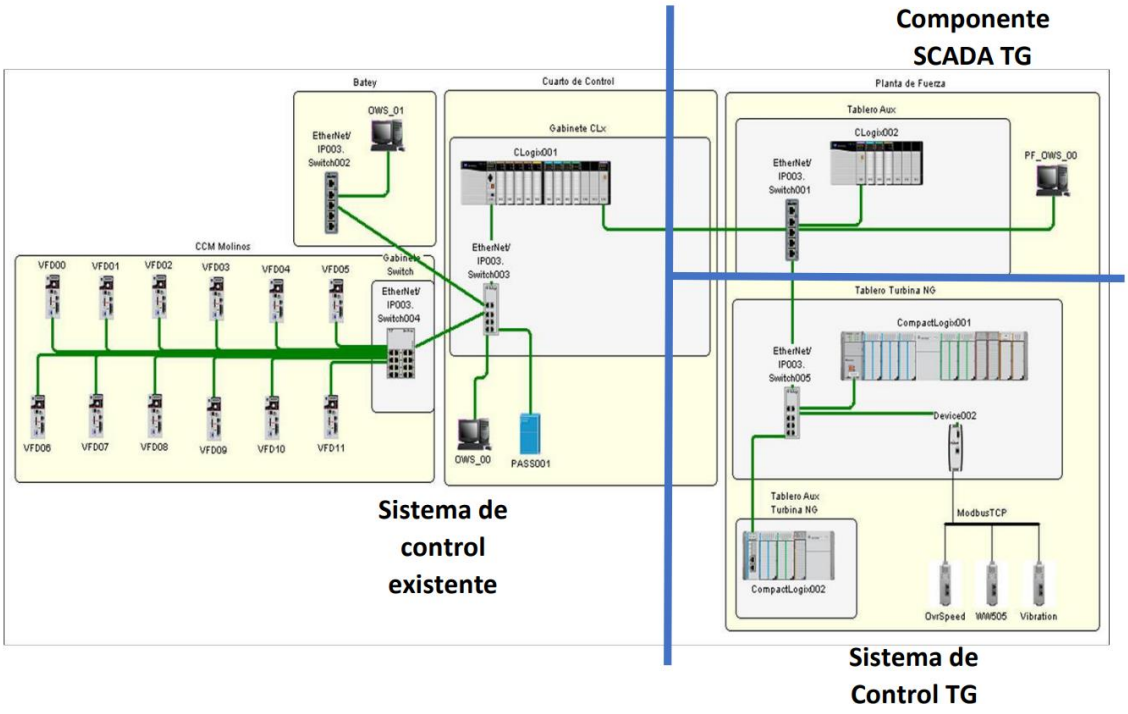


Figura 14.- Integración del sistema en el mismo segmento de red del CC Molinos.

Para realizar la integración del sistema mostrado en la figura 14, se consideró la adquisición de los componentes del listado de la tabla 3.

Nombre	Número de slot	Número de catálogo
Batery	1	1756-A7
Fuente de Alimentación	2	1756-PA75
Ethernet I/P	1	1756-EN2T
Input Module	1	1756-IB32
Screw terminal block	3	1756-TBCH
Output Module	2	1756-OB32
Analog Input Module	1	1756-IF16
Unused Card Slot Filter	3	1756-N2
Switch Unmanaged 5 Port Copper	1	1783-US5T
Operator work station	1	OWS

Tabla 3.- Hardware para el desarrollo de la propuesta realizada a la Compañía Industrial Azucarera, en un segmento de red separado.

 ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

Se evaluará la factibilidad de integrar al sistema de control existente en el mismo segmento de red únicamente los componentes para complementar la infraestructura de red existente, para poder integrar tanto la caja remota auxiliar, así como los tableros de control de la turbina.

Conclusiones

En conclusión, la instalación del nuevo turbogenerador es de gran ayuda para el proceso de producción de azúcar, por lo que el sistema SCADA será de gran apoyo para el registro de control para la instrumentación presente en la turbina, el generador, reductor y la línea de vapor que alimentará al turbogenerador y así mantener un producción constante de energía eléctrica. De igual manera, la utilización del protocolo de comunicación Ethernet IP para la intercomunicación de todos los instrumentos de campo con la unidad remota, y a su vez con la unidad central, facilita el monitoreo y control. Por último, otro de los beneficios es que, a pesar de que se agregaron diferentes equipos que aumentaron la demanda de energía eléctrica, estos serán solventados una vez que la red eléctrica de arranque sea desacoplada de la Comisión Federal de Electricidad y pase a ser únicamente producido por el proceso de la planta eléctrica del turbogenerador de 10 mW.

Agradecimientos

Agradecimiento especial a Tecnológico Nacional de México Campus Acayucan, y la Compañía Industrial Azucarera SA de CV, por las facilidades y apoyo para el desarrollo del presente trabajo.

Referencias

[1] A. R. Penin, Sistemas SCADA, Barcelona: Marcombo, 2012, p. 30.

[2] L. M. Chiliquinga-Baquero, «Automatización pilar de innovación del marketing de contenidos en empresas de servicio,» *Revista Científica FIPCAEC (Fomento de la investigación y publicación científico-técnica multidisciplinaria),* vol. 6, nº 1, pp. 52-75, 2021.

[3] E. P. López, «Los sistemas SCADA en la automatización industrial,» *Tecnología en Marcha,* vol. 28, nº 4, pp. 3-14, 2015.

[4] L. Acebes, «Análisis en línea del estado energético de plantas azucareras,» *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI,* vol. 6, nº 3, pp. 68-75, 2009.

[5] L. F. Larrea Sagástegui, *Estudio técnico económico de instalación de condensador industrial y torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss en la empresa azucarera el Ingenio SA,* Universidad César Vallejo, 2019.

[6] A. Cubides, «Implementación de SCADA a través del protocolo MQTT,» CIIMA, Cartagena, 2020.

[7] D. Rivas, *Diseño e Implementación de un Sistema SCADA Utilizando la Plataforma FactoryTalk para la Planta Industrial de la Corporación Ecuatoriana de Aluminios CEDAL,* Latacunga: ESPE.

[8] I. D. Ganchala Chusín, «Diseño e implementación de un sistema SCADA utilizando Factorytalk y Ethernet Industrial con tecnología Allen Bradley para el monitoreo y control de las estaciones de flujo, nivel y presión en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de,» *La referencia- Repositorio de acceso abierto a la ciencia,* 2014.

ISSN: 2007 8102

Diseño y manufactura de un troquel de corte de electrodos para monitoreo cardiaco

Enrique Alejandro Vázquez Hernández[1], Pedro de Jesús García Zugasti[1], Juan Gabriel Sandoval Granja[1], Gerardo García Liñán[1], Marco Antonio Liñán Valenzuela[1]

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, enrique.vh@slp.tecnm.mx, pedro.gz@slp.tecnm.mx, linanv_17@hotmail.com, juan.sg2@slp.tecnm.mx, gerardo.gl@slp.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Mecánica*

Resumen

Este trabajo muestra el estudio del diseño de un troquel para corte de electrodos de monitoreo cardiaco fabricados del material conocido como *nonvowens*, en cuyo proceso se eliminaron los problemas que presentaba su proceso de recorte. Dicho objetivo pudo ser alcanzado por medio de un estudio metodológico sustentado teóricamente mediante análisis de fuerzas en proceso de corte, de la holgura entre la matriz y el punzón, el Método del Elemento Finito y apoyado en el modelado del diseño por el software SolidWorks®. Con base en dichos resultados se realizó la construcción de un prototipo para efectuar pruebas de campo y corroborar los resultados del análisis previo con el corte de la plantilla del electrodo. Además, este estudio proporcionará mayor conocimiento técnico y científico que podría servir como base para el análisis en diversos procesos de corte con diferentes materiales no metálicos o compuestos.

***Palabras clave**: troquel, electrodo, cardiaco, nonvowens*

Abstract

This work shows the study of the design of a die for cutting cardiac monitoring electrodes made of material known as nonvowens, in which process the problems presented by its cutting process were eliminated. This objective could be achieved through a methodological study supported theoretically by analysis of forces in the cutting process, the clearance between the die and the punch, the Finite Element Method and supported by design modeling by SolidWorks® software. Based on these results, a prototype was built to carry out field tests and corroborate the results of the previous analysis with the cutting of the electrode template. In addition, this study will provide greater technical and scientific knowledge that could serve as a basis for analysis in various cutting processes with different non-metallic or composite materials.

***Key words**: die, electrode, cardiac, nonvowens*

Introducción

Existen diversos procesos de manufactura, uno de ellos, es el troquelado, el cual se abordará en este proyecto de diseño. La industria de los troqueles es un factor clave en la manufactura y producción de piezas metálicas, primordialmente, en diferentes sectores industriales. El troquelado es un proceso de fabricación que se utiliza para cortar, dar forma o perforar materiales metálicos, plásticos o compuestos, utilizando un herramental llamado troquel. Este proceso se realiza mediante prensas que aplican fuerza mecánica sobre un punzón para cortar o dar forma al material, el cual se sobrepone a la contraparte, llamada matriz. Tiene una forma específica y está diseñada para cumplir con los requisitos de producción y las especificaciones de las piezas a fabricar. La industria de los troqueles es esencial en numerosos sectores, como la automotriz, electrodomésticos, aeroespacial, construcción, y otros donde se requieran piezas con medidas precisas y de alta calidad. **[1]**
En el proceso de corte, la acción ejercida entre un punzón y matriz actúa como una fuerza de penetración y cizallamiento en el material, logrando rebasar el límite elástico del material y con ello produciendo un corte en las secciones deseadas, separando el material y completando el proceso. Se le llama holgura de corte a la diferencia dimensional entre punzón y matriz, en donde el punzón es ligeramente más pequeño que la matriz, el cálculo

correcto de la holgura de corte en el diseño permite obtener cortes limpios, libre de rebabas y filos cortantes, dicha holgura de corte depende del espesor y el tipo de material al que se realizara el corte. **[1]**
En el proceso de troquelado es importante identificar diversos factores con el fin de obtener piezas con tolerancias y calidad requerida, dichos factores se describen a continuación:
1. Definir la geometría y dimensiones de la pieza de corte.
2. Identificar el número de operaciones de corte, de acuerdo con la geometría del material.
3. Identificar las propiedades mecánicas del material del que se hará la pieza.
4. Determinar la holgura de acuerdo con el espesor del material.
5. Diseño del punzón matriz.
El diseño de los herramentales para troquelar abarca desde el diseño de los punzones para materiales compuestos [8], las características mecánicas de este tipo de materiales que influyen en las operaciones de troquelado [9] y la caracterización mecánica, micro estructural y a fractura también de este tipo de materiales [10], son ejemplos de algunos de trabajos publicados con la misma línea de investigación de este trabajo.

Antecedentes del problema

Una empresa dedicada a la manufactura para el cuidado de la salud, desarrolla un producto médico, consistente en un electrodo de un material conocido como nonwovens (sin tejidos) que son un tipo de telas producidas al formar una red con fibras que se unen por procedimientos mecánicos, térmicos o químicos, pero sin ser tejidas o sin pasar por un telar. Es una lámina de fibras flexibles, porosas y sin trama, el electrodo y el material se muestran en la figura 1. **[2]**

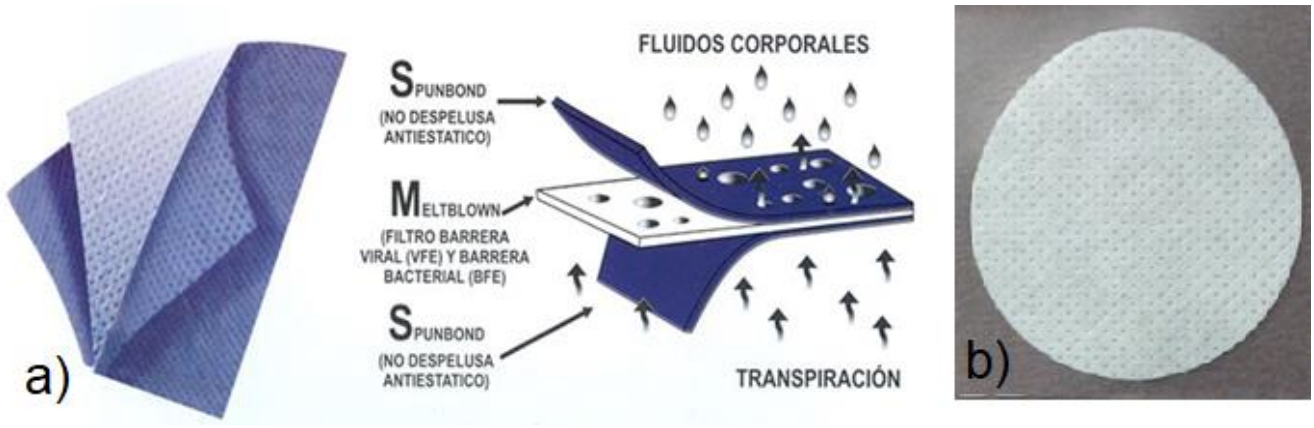


Figura 1. a) Material nonvowens [2] y b) Forma del electrodo para monitoreo cardiaco.

El proceso de fabricación del electrodo consiste en cortar mediante matriz punzón una cinta de material nonwovens hecha de material de fibras de polipropileno, cuyo corte final se asemeja a una geometría elíptica, dicho corte no debe de contar con rebabas y ondulaciones excesivas y se debe evitar cualquier adelgazamiento o deformación en el producto final.

Después de realizar un análisis en el proceso productivo para la fabricación del electrodo, se encontró un cuello de botella en la máquina de corte por troquel, provocado por paros continuos en ajustes de la máquina, debido a que constantemente el corte del material no es el adecuado y no cumple con la calidad requerida por el cliente.

Planteamiento del problema

En el proceso de elaboración de los electrodos para monitoreo cardiaco, la empresa presenta pérdidas de hasta un 30% en la materia prima ocasionadas por los defectos en el proceso corte del producto, por lo que pocas veces se cumple con la producción de electrodos de acuerdo con la producción programada, generando retrasos y costos adicionales para la empresa, además de una cantidad considerable de desecho. Esto influye en la estimación de los costos operativos, así como en la evaluación del desempeño de la empresa afectando directamente en los indicadores de productividad de la empresa.

 ISSN: 2007 8102

Es indispensable el diseño de un nuevo sistema que permita un corte preciso y eficiente que reduzca el porcentaje de *scrap* y aumente la eficiencia en el proceso productivo evitando paros y demoras por ajustes y con ello generar un sistema de producción continuo. Se requiere modificar el sistema actual diseñando un troquel que permita aumentar la producción y eliminar las piezas rechazadas. A continuación, se presenta una descripción de la geometría del electrodo fabricado en material *nonwovens*.

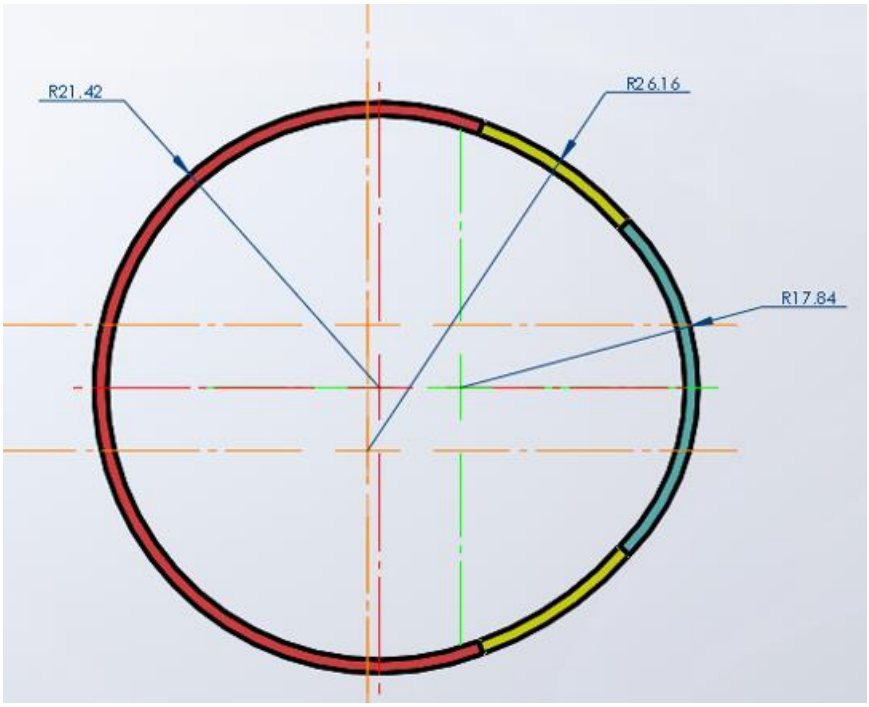


Figura 2. Muestra de la geometría periférica de la silueta del electrodo.

En la figura 2, se muestra que la geometría de corte no es totalmente circular ni elíptica, por lo que en el proceso de corte basado en matriz punzón se generan grandes problemas en el corte de la geometría irregular de la silueta, por lo que se debe diseñar un troquel para mejorar este proceso de corte y en consecuencia disminuir el *scrap*. Un ejemplo del defecto se puede apreciar en la figura 3.

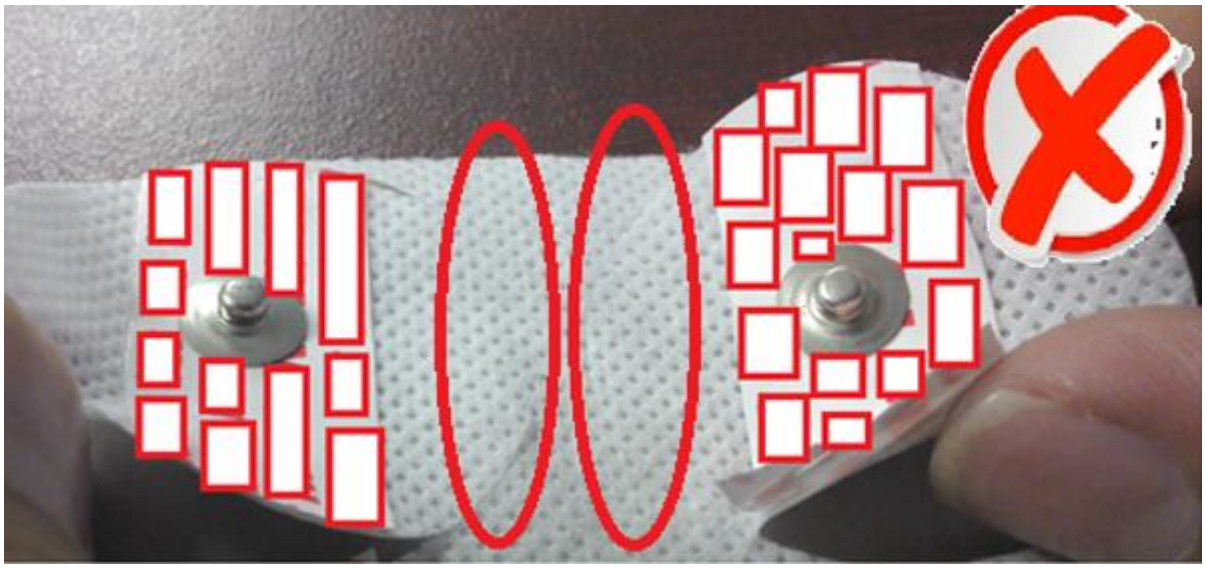


Figura 3. Se puede observar cómo el corte no se realiza de manera completa de la plantilla del material.

ISSN: 2007 8102

Alcances

El trabajo pretende establecer un nuevo diseño de corte matriz punzón para la fabricación de electrodos para el monitoreo cardiaco, apoyado en un análisis mediante el método de elemento finito y análisis de fuerzas de corte.

Limitaciones

El proceso de producción de los electrodos de material *nonvowens* se llevó a cabo en una empresa particular del ramo industrial, por lo que se pudo identificar las siguientes limitaciones:

- Costos que se generan al realizar múltiples ensayos de los diferentes diseños en matriz y punzón.
- Las características del material *nonvowens* son solamente conocidas por el proveedor.
- Elevado tiempo que se genera en el diseño y fabricación de matriz y punzón para los diversos ensayos.
- La limitación de la cantidad de ensayos a realizar dentro de la empresa.
- Las condiciones climatológicas variantes a lo largo de las pruebas que ocasionan una dilatación en los materiales.
- El uso de licencias limitadas para los programas informáticos especializados en el análisis.
- Limitaciones en acceso a software especializado en la institución educativa debido a la contingencia sanitaria causada por la Covid-19.

Desarrollo

A continuación, se muestra la metodología utilizada en el siguiente diagrama (figura 4), donde se muestran los pasos a seguir para la obtención de resultados.

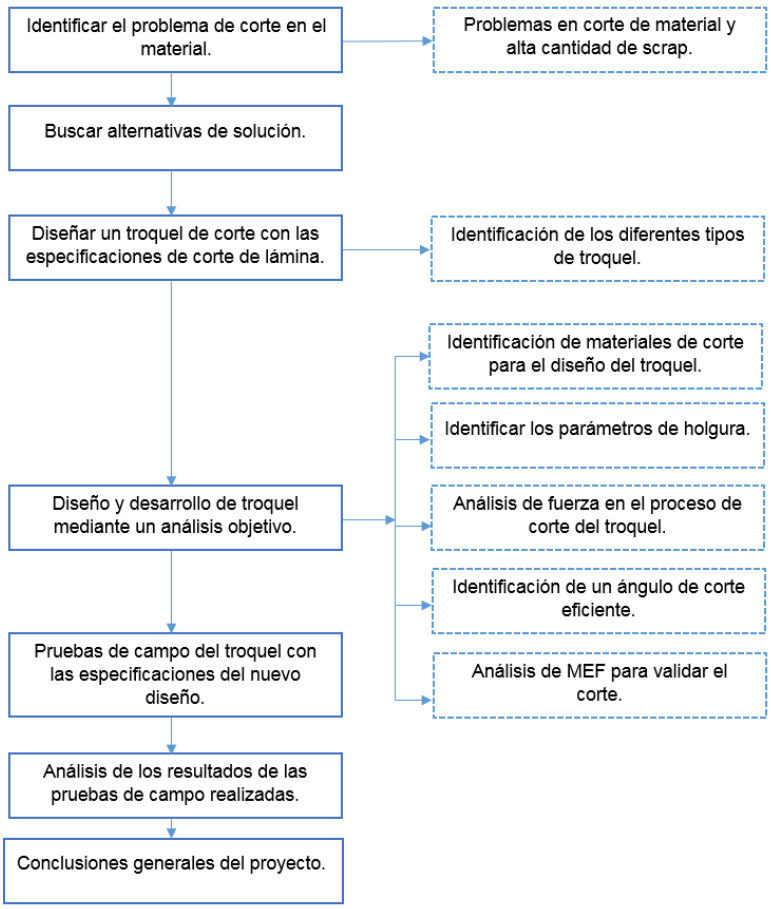


Figura 4. Diagrama de la metodología propuesta.

 ISSN: 2007 8102

Parámetros para el troquelado

Para realizar las simulaciones se deben conocer las fuerzas que se aplican en el juego del punzón y matriz, para lo cual de acuerdo a las especificaciones del cliente y del material se denominan a continuación los parámetros:

- Diámetro del punzón = 43 mm
- Espesor del material = 0.5 mm
- Resistencia a la tracción = 40 MPa

Los datos anteriores servirán como base para realizar el cálculo de fuerzas en el proceso de corte de matriz punzón.

Fuerza de corte

El cálculo de esta fuerza es necesario para determinar la potencia de corte del material nonwovens, así como también seleccionar los requerimientos de la máquina de trabajo, al aplicar esta fuerza sobre el punzón, le obliga a penetrar en el material creando una deformación y el corte del material.**[3]** Para la determinación de la fuerza de corte es necesario conocer el perímetro de la geometría del material, debido a que la geometría del material de corte es de forma irregular, el cálculo del perímetro se realiza con el apoyo de SolidWorks®. (Figura 5)

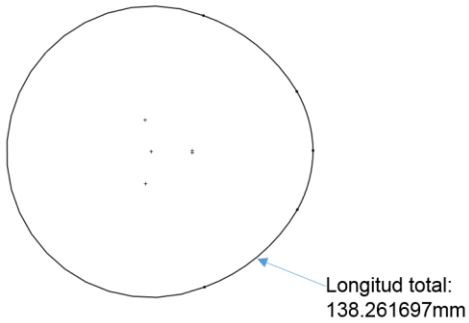


Figura 5. Longitud perimetral de la figura del electrodo.

Para determinar la fuerza de corte se utiliza el perímetro de la geometría del material, el espesor del material y la resistencia del material, utilizando la siguiente fórmula: **[4]**

$$F_c = p * e * R_c \qquad \text{Ec. 1}$$

Donde p es la longitud perimetral de la silueta, e el espesor del material y Rc la resistencia a la tensión del material.

$$F_c = .138261697m * .0005m * 40x10^6 Pa$$

$$F_c = 2765.23N$$

De acuerdo a otra referencia consultada **[5]**, es posible reducir la fuerza máxima usando un borde de corte sesgado en el punzón o en el troquel, el ángulo distribuye el corte en el tiempo y reduce la fuerza que se experimenta a cada momento, por lo que se agrega un factor a la fórmula utilizada

$$F_c = 0{,}7 * p * e * Rc \qquad \text{Ec. 2}$$

Lo cual resulta en una fuerza de corte Fc = 1935.66 N.

Fuerza de extracción

Esta fuerza es necesaria para extraer de la matriz el material cortado de la plantilla, depende del ancho del recorte adherido al punzón. Cuando la pieza es desalojada por la parte inferior, tiene que atravesar la zona de corte de la matriz antes de encontrar el desahogo y caer. esta fuerza para extraer la pieza, se opone a la fuerza de corte,

 ISSN: 2007 8102

por lo tanto, en el cálculo, hay que sumarla a la fuerza de corte. **[6]** La fuerza de extracción está relacionada con la fuerza de corte y varía desde el 2.5% hasta el 20% de la fuerza de corte, de acuerdo al espesor de la plantilla. La tabla 1 muestra los porcentajes a aplicar para los espesores más utilizados. Para este caso se tomó un 5%.

Tabla 1. Fuerza de extracción en relación a la fuerza de corte y el espesor del material. [6]

Espesor (mm)	Fuerza de corte (%)
Hasta 1	5 – 8
Entre 1 y 2.5	8 – 10
Entre 2.5 y 4	10 – 12.5
Entre 4 y 6	12 -16

Ambas fuerzas pueden apreciarse en la figura 6.

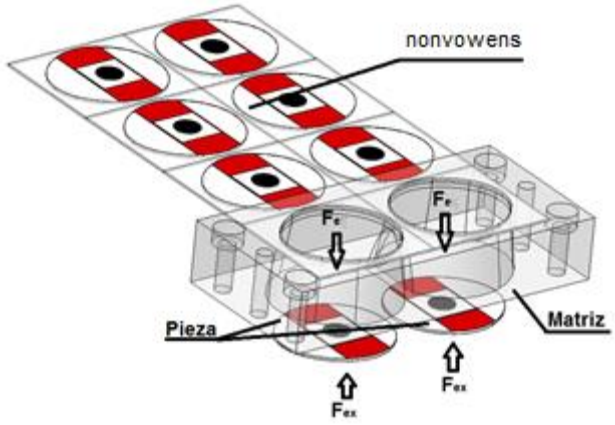


Figura 6. Fuerzas en el proceso de corte del electrodo

Holgura

Como se mencionó anteriormente, existe el problema que al realizar el corte con la matriz y el punzón se identifica que en algunas secciones el corte no se realiza de forma adecuada, por lo cual es necesario realizar pruebas de campo con diferentes porcentajes de holgura. Estas se realizaron tomando como magnitud de la holgura un porcentaje del espesor del material (0.5 mm), se tomaron valores del 20%, del 15% y del 10% para la holgura. En la figura 7 se puede observar los resultados para cada valor de holgura, realizándose 1000 pruebas para cada holgura.

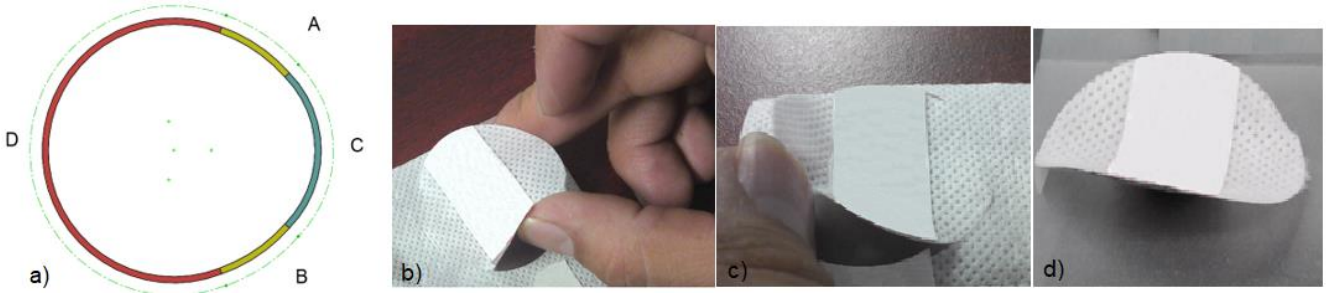


Fig. 7. a) Secciones de la zona perimetral, b) Para una holgura del 20% (0.1 mm) no se realizó corte en la zona ACB en todas las pruebas, c) Holgura del 15% (0.075 mm); al igual que la holgura de 20%, no se realizó el corte en la misma zona ACB, y d) Para una holgura del 10% (0.050 mm) sí se realizó el corte en la zona ACB, pero con problemas de rebaba.

 ISSN: 2007 8102

Para el caso de la holgura del 10%, se pensó que los problemas de rebaba eran originados por el asentamiento del punzón y matriz, por lo que se decidió realizar 250 pruebas más bajo estas mismas condiciones, obteniendo los mismos resultados. Realizando la comparación entre las holguras del 20%, 15%, y 10% se identifica que el proceso de corte mejora sustantivamente conforme la holgura disminuye, pero no reduciendo en su totalidad los problemas de corte. Debido a las propiedades de los materiales matriz punzón no es recomendable bajar la holgura en menos de un 10% del espesor del material ya que se podría producir demasiada fricción entre la herramienta de corte provocando grandes desperfectos entre matriz-punzón. Se establece que la holgura del 10% podría llegar a ser utilizada tomando en cuenta algunos cambios en el punzón matriz que serán discutidos más adelante.

Simulación con software por Método del Elemento Finito

Para el desarrollo de este trabajo se plantea realizar ciertos cambios en las características del troquel como el material, la geometría y los esfuerzos, que permitan establecer condiciones actuales los desplazamientos y fuerzas y superficies en contacto **[7]**. Para el desarrollo de este caso primero se realizó la simulación por medio del software SolidWorks® teniendo como parte los punzones, matriz y material o planilla de corte como se aprecia en la figura 8.

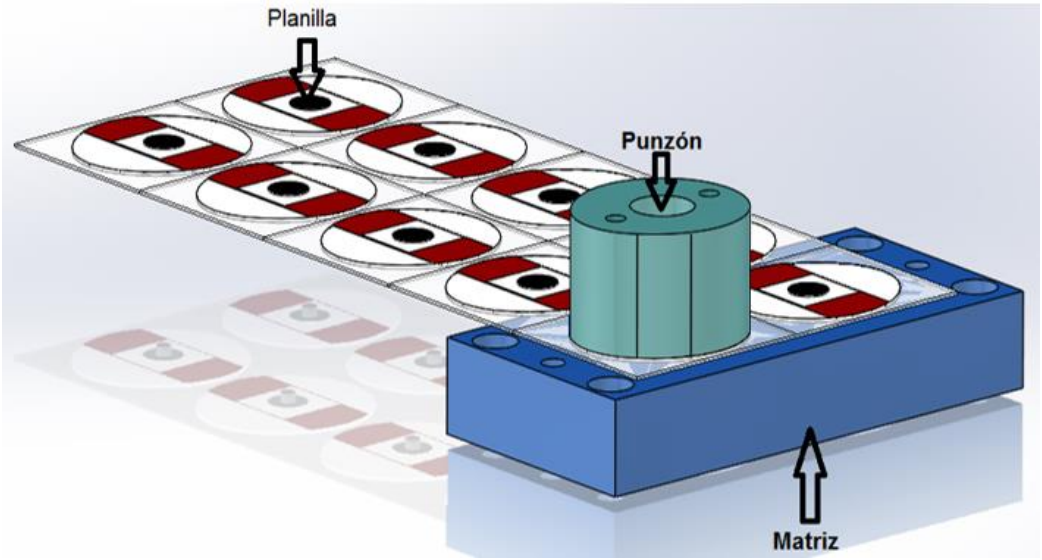


Figura 8. Ensamble de los componentes de troquel de corte.

En el análisis se calcularon las tensiones de Von Mises, los desplazamientos y la deformación unitaria en la plantilla del material, ver figura 9.

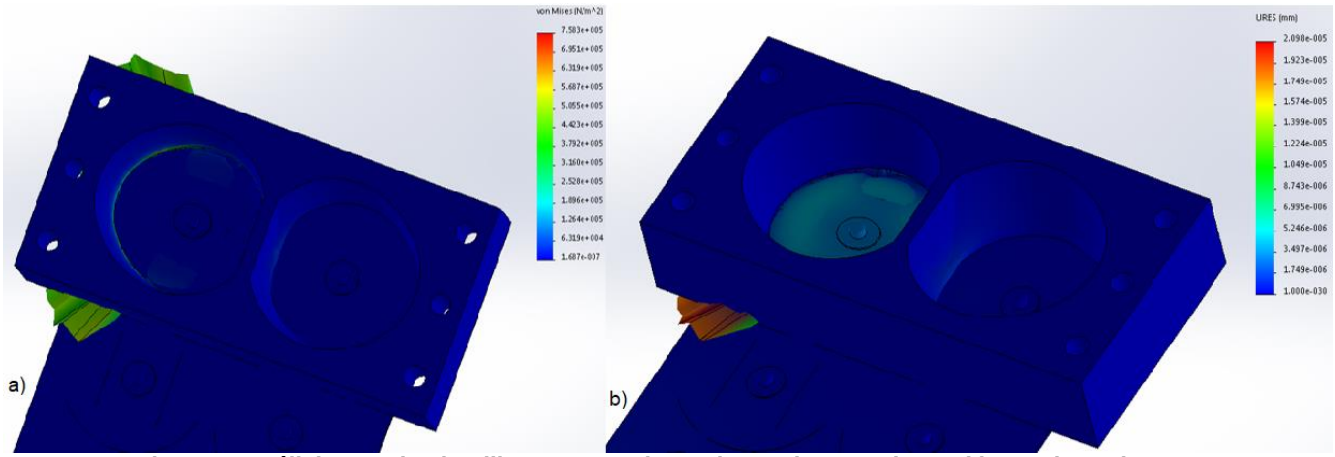


Figura 9. Análisis para la plantilla por MEF, a) Tensiones de Von Mises y b) Desplazamientos.

 ISSN: 2007 8102

Análisis de fuerzas en la geometría del material

De acuerdo al análisis realizado anteriormente y las pruebas obtenidas al realizar cambios en la holgura, se identificó que en algunas partes de la geometría del material se generan rebabas en el corte, sin embargo, debido a que la holgura ya es mínima (10%) se requiere utilizar otra opción para evitar dicho problema, por lo que se optó por llevar a cabo un análisis de las fuerzas de corte para identificar una solución real en donde las fibras del material sean sometidas a una menor tensión en el proceso y con ello evitar el desgarre, dicho análisis se muestra en los puntos posteriores. Se identifica que, al realizar el corte sin ningún ángulo, las fibras del material son sometidas al mismo tiempo a grandes fuerzas desde el centro hasta fuera de la geometría del material, generando con ello desgarres en la sección en donde la longitud radial es mayor (Ver figura 7, inciso d). Por ello, se plantea la hipótesis que dichos desgarres se generan debido a que las fuerzas radiales en las fibras del material no se comportan de la misma manera en el perímetro donde ocurre el corte.

Se identifica que al entrar en contacto el punzón y la matriz con el material en el proceso de corte, las fuerzas internas en las fibras del tejido son de forma radial en dirección del centro hacia afuera, dado que la geometría en el diseño del punzón no es totalmente circular, los esfuerzos normales varían de acuerdo a la longitud radial. Para el análisis se tomaron en cuenta sólo el diámetro máximo y el mínimo.



Figura 10. Dimensiones geométricas del electrodo.

Considerando la ecuación 1 y tomando en cuenta que p = π*Diámetro, la fuerza de corte sufre una variación de aproximadamente 150 N, con el valor del diámetro mayor respecto al menor, por lo que se requiere buscar una alternativa de corte en que las fibras sean sometidas a una fuerza constante de corte.

Ángulo de corte

Para el ángulo de corte, se consideraron los diámetros máximo y mínimo junto con el espesor de la pieza (ver figura 11), obteniéndose un ángulo θ = 0.62° para el mayor y θ = 1.25° para el menor. Se determina que el punzón ingrese en la sección irregular, de lo cual se realizó un análisis de los esfuerzos de tensión en las fibras, horizontales y transversales, así como de la deformación, ambos ocasionados por la fuerza de corte y el avance. Por cuestiones de espacio, se omiten para poder mostrar los puntos más notables.

Resultados

De acuerdo al análisis realizado anteriormente se estableció realizar cortes aplicando un ángulo en el punzón de corte, esto con la finalidad de evitar desgarres en el material en las zonas mencionadas anteriormente, para comprobar los resultados fue necesario fabricar un prototipo tomando en cuenta la holgura calculada previamente y los ángulos de corte establecidos en el análisis. Se fabricó un prototipo de prueba para llevar a cabo un análisis de campo utilizando la información desarrollada en este proyecto.

 ISSN: 2007 8102

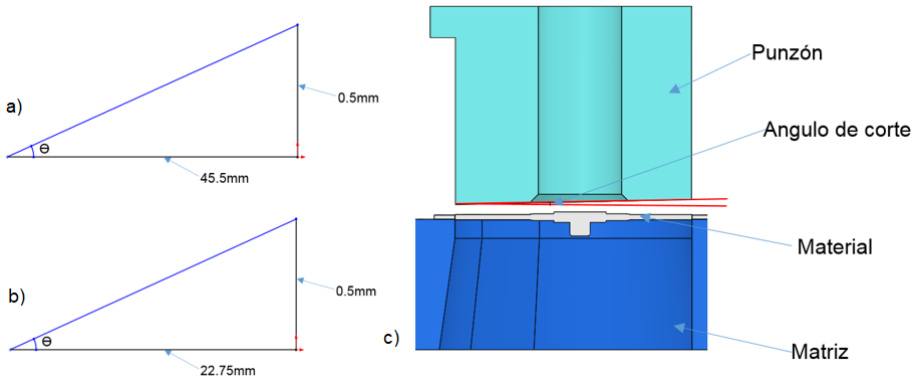


Figura 11. a) Ángulo de corte para el diámetro máximo (0.66°), b) Ángulo de corte para el diámetro mínimo (1.25°) y c) Ángulo de corte mostrado sobre la superficie del punzón (en rojo).

El prototipo fabricado se puede apreciar en la figura 12. Se realizaron las pruebas para los ángulos de 0, 0.66° y 1.25° con una holgura del 10%. Los resultados se muestran en la tabla 2.

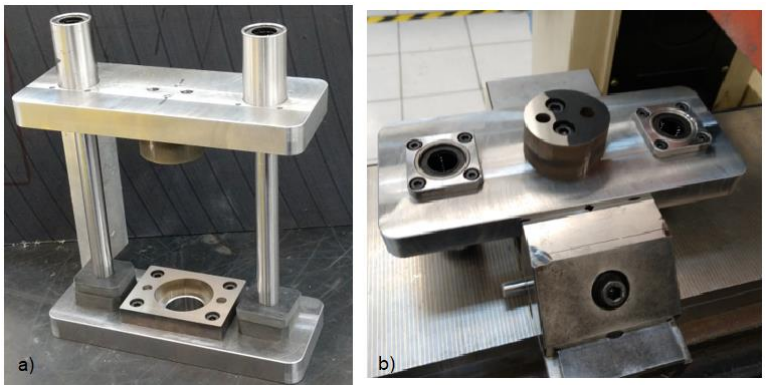


Figura 12. a) Prototipo del troquel y b) Rectificado del punzón para el cambio de ángulo de corte.

Tabla 2. Resultados con diferentes ángulos de corte del punzón.

Angulo de corte	Observaciones	Holgura manejada
0°	Se genera gran cantidad de rebaba en algunas secciones del material, no se cumple con los estándares.	10%
0.62°	Se generan cortes limpios y precisos cumpliendo ampliamente con los estándares.	10%
1.25°	Se obtienen resultados similares que el ángulo de 0.62° con cortes limpios y precisos cumpliendo ampliamente con los estándares.	10%

Como se puede observar en la tabla 2, los resultados en comparación con los dos últimos ángulos de corte son prácticamente similares. Cabe mencionar que se realizó un análisis estadístico de las medidas en el punto crítico C, en el cual se concluyó que para los cortes realizados con los dos ángulos cumplen ampliamente con las especificaciones, ya que la diferencia entre ambos rangos de medida mostró muy poca variación, tomando en cuenta que algunas variaciones en las mediciones pueden ser afectadas por el factor humano. Se hicieron 100 pruebas para cada ángulo y se tomó una muestra del 10% de la población para identificar y comparar las medidas de variación principales, donde los resultados de medidas de variación fueron mínimos, con lo cual se puede

 ISSN: 2007 8102

establecer que los cortes se comportan de forma homogénea con variación insignificante. En la figura 13 se pueden observar los cortes con los diferentes ángulos del punzón.

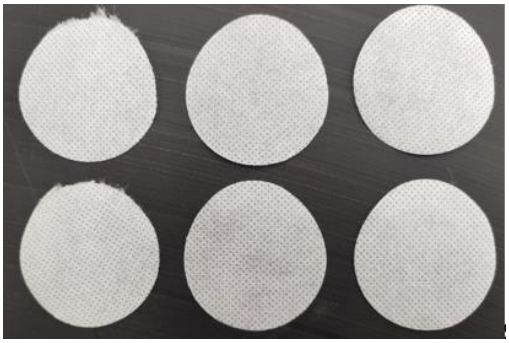


Figura 13. Cortes del electrodo a 0, 0.66° y a 1.25°.

Conclusiones

Este proyecto nació de la necesidad de solucionar un problema específicamente en el proceso de corte del material *nonvowens* mediante un punzón y matriz. Dicha investigación teórica-práctica arrojo resultados satisfactorios llevando a cabo un análisis metodológico tomando en cuenta las variables: holgura de corte, fuerzas a las que son sometidas el material en el proceso de corte, así como la identificación del ángulo de penetración del punzón en el corte.

De acuerdo a las pruebas de campo con el sistema matriz-punzón, diseñado con los estándares establecidos en este trabajo, se puede concluir un éxito en los resultados obtenidos en el proceso de corte para este material, y existe la posibilidad de tomar como base los resultados obtenidos para realizar cortes con otro tipo de materiales de propiedades similares, efectuando los ajustes necesarios de acuerdo a las características del material.

Referencias

[1] Groover M.P., "Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, Procesos y Sistemas" 1a. Edición, McGraw Hill-Interamericana de España, pp. 553-635, 2007.
[2] Kalpakjan S., Smith S.R., "Manufactura, Ingeniería y Tecnología" 5a. Edición, Editorial Prentice Hall,Vol. 2, pp. 739-746, 2013.
[3] Schey, W., "Procesos de Manufactura", 3a. Edición, McGraw Hill-Interamericana pp. 444-452, 2002.
[4] Álvarez Bermúdez L.S., "Metodología para el diseño de troqueles de chapa metálica" Tesis para obtener el grado de Ingeniería Mecánica, Universidad de Santiago de Cali, Colombia, pp. 157-163, 2009.
[5] A. Cordovés and M. Lázaro, "Manufacturing process of cutting die guide columns using group technologies" *Tse'de Nuevos desafíos climáticos, científicos y tecnológicos,* vol. 4, no. 1, pp. 38-39, 2021/10/20/ 2006.
[6] M. Rossi, "Estampado en frío de la chapa", Editorial DOSSAT, Madrid, pp. 157-163, 2018.
[7] N. Martin, "Designing and fabricating a wet bar countertop out of brass", The Fabricator Magazine, Vol. 52, No. 7, pp. 44-47, 2021/07/01.
[8] Acosta Castro, L. D. (2021). Diseño de un punzón para corte-troquelado de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras naturales (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica).
[9] Palacios Pérez, F. G. (2017). Análisis de las características mecánicas de un material compuesto a partir de matriz elastomérica de látex reforzado con gránulo de caucho reciclado para elaboración de pisos (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica).
[10] Calvo Lladó, P. (2012). Caracterización mecánica, microestructural ya fractura de un material compuesto nanoestructurado de matriz PLA y refuerzo monmorillonita. Universidad Politécnica de Cataluña.

ISSN: 2007 8102

ÁREA INGENIERÍA QUÍMICA

IQ1	**Método semicontinuo para evaluar las cinéticas de deshidratación osmótica** *América Libertad Arano Reyes, Marisol Castillo Morales, César Antonio Ortiz Sánchez, Rafael Uzárraga Salazar, Enrique Flores Andrade*	IQ-8
IQ 2	**Modificación y generación de membranas de quitosano para adsorción de Pb (II) en medio acuoso** *Cecilia Ibarra-Hernández, Luis Hernández-García, Jesús Martínez-Sanchez, Giovanny Gonzalez-Perez, Norma Vizcaino-Hernández*	IQ-17
IQ 3	**Propiedades fisicoquímicas de botanas extrudidas de mezclas: cáscara de melón/almidón de maíz/aislado proteico de soya** *A. Angeles-Hernández, E, Herman-Lara, E. J. Ramírez-Rivera, J. G. Torruco-Uco, J. Rodríguez-Miranda*	IQ-25
IQ 4	**Caracterización tecnofuncional de polvos obtenidos a partir de residuos de yaca (*Artocarpus heterophyllus L*)** *María de la Luz Sánchez Mundo, Johan Alfredo Marín Quiroz, Vicente Espinosa Solís, Rocio G. Hernández Nava, Ma. de la Paz Salgado Cruz*	IQ-33
IQ 5	**Propiedades fisicoquímicas de una botana extrudida elaborada de mezclas de harinas de hierba mora-maíz morado** *J. A. Pérez-Cortes, B. Hernández-Santos, E. Ramírez-Figueroa, J. G. Torruco-Uco, J. Rodríguez-Miranda*	IQ-43
IQ 6	**Selección de un envase sustentable para arándano azul (*Vaccinium corymbosum*) para productores de Hueyapan, Puebla** *Cabrera Ramírez Ariadna, Villalobos Espinosa Julieta del Carmen, Nicolás García Mayra, Rojas García Ana Cristina*	IQ-50
IQ 7	**Bioadsorción de Fe de aguas superficiales con alginato de sodio** *F. Rodríguez-González, G. Pacheco-Vargas, S. V. Vargas-Solano*	IQ-57
IQ 8	**Actividad de fosfatasa ácida y ureasa en suelos citrícolas con manejo orgánico** *K. C. Mar Cayetano, A. Hernández Cruz, C. B. Fosados Osorio, L. Chaires Martínez*	IQ-64
IQ 9	**Evaluación de la interacción de deflectores tubulares con impulsores radiales y axiales mediante modelos numéricos** *J. Eduardo Lugo-Hinojosa, Israel Gonzalez-Neria, Sergio A. Martínez-Delgadillo, J. Antonio Yáñez-Varela, Alejandro Alonzo-García*	IQ-73
IQ 10	**Efecto del ultrasonido en la reducción de cromo hexavalente utilizando electrodos de hierro** *J. Antonio Yáñez-Varela, Esaú Ramírez-Palacios, Israel González-Neria, Sergio A. Martínez-Delgadillo, E. Jesús Lugo-Hinojosa*	IQ-83
IQ 11	**Adsorción del colorante naranja de metilo con un polímero metal-orgánico (MOF) de cobalto** *Cecilia Rivera García, María Elizabeth Márquez López, Lidia Elena Chiñas Rojas, Rodolfo Peña Rodríguez, José María Rivera Villanueva*	IQ-91
IQ 12	**Biosíntesis de nanopartículas de Au y su aplicación para la fotoconversión de CO_2** *Luis Ricardo Morales Juarez, Francisco Bersain Moreno Luna, Marco Antonio Meraz Melo, Yarentzi Gomez Campos, and Odilon Vázquez Cuchillo*	IQ-100
IQ 13	**Características higroscópicas en función de la temperatura de almidón de malanga** *M. Rangel-Marrón, O. Escalante-Reyes, M.A. Ríos-Corripio, J.G. Cerón-Bretón, R.M.Cerón-Bretón*	IQ-110

 ISSN: 2007 8102

IQ 14 **Nanofibras de celulosa obtenidas mediante hidrólisis ácida y ultrasonicación a partir de residuos de piña** IQ-117
R. Carmona-García, A. Aguirre-Cruz, M. Valera-Zaragoza, L. Pérez-Picaso, M. A. García-Muñoz

IQ 15 **Adsorción de colorante naranja de metilo con un MOF de zinc derivado del ligando orgánico ácido bencentetracarboxílico** IQ-125
Danna Paola Vázquez Poxtan, Raúl Colorado Peralta, Rodolfo Peña Rodríguez, José María Rivera Villanueva, Lidia Elena Chiñas Rojas

IQ 16 **Efecto de la película Mylar en secado por ventana refractiva sobre las propiedades fisicoquímicas de huitlacoche** IQ-134
J.A. Jiménez Estrada, J. Rodríguez Miranda, C.E. Martínez Sánchez, R. Carmona García1 y E. Herman y Lara

IQ 17 **Aplicación de un nuevo MOF de Cobalto para la adsorción de naranja de metilo en medio acuoso** IQ-141
Mariana Martínez Morales, Rodolfo Peña Rodríguez, Raúl Colorado Peralta, Lidia Elena Chiñas Rojas, José María Rivera Villanueva

IQ 18 **Efecto del pH en el tratamiento químico, aplicado a lixiviados de relleno sanitario (LRS)** IQ-149
V. Machorro Sanchez, L.R. Morales Juárez, O. Vázquez Cuchillo, M.A. Meraz Melo, G. Soriano Gil

IQ 19 **Diseño y simulación de un control tolerante a fallas en sensores de nivel para tanques en serie** IQ-156
A.M.A. Romero Pérez, M.A. Vaca Hernández, F. Caballero, B. García Rojas, G. Ramírez Dámaso

IQ 20 **Activación fisicoquímica de cenizas producidas en ingenios azucareros para su conversión a carbón activado** IQ-165
J. Villalobos Ramírez, A. Osorio Mirón, Á. I. Licona Aguilar, L. M. Reyes Grajales, A. A. Morales Tapia

IQ 21 **Adsorción del colorante azóico naranja de metilo mediante el uso de materiales tipo MOF derivados del ácido trimésico y nitrato de cadmio** IQ-174
Katia Karina Cortes Diaz, Raul Colorado Peralta, María Elizabeth Márquez López, José María Rivera Villanueva, Lidia Elena Chiñas Rojas

IQ 22 **Diseño y construcción de una cocina solar utilizando materiales reciclados** IQ-183
Juan Antonio Temich Martínez, María de los Ángeles Cruz Benitez, Asunción Aguilar Méndez, Lizeth Rojas Blanco, Marcela del Carmen Arellano Cortaza

IQ 23 **Desarrollo de biopelículas de almidón como empaques de alimentos reforzadas con nanopartículas de grafeno** IQ-191
Marlene Jiménez Rosas, José Amir González Calderón, Eusebio Bolaños Reynoso, Leticia López Zamora

IQ 24 **Evaluación fisicoquímica y microbiológica de una bebida de pitaya-quinoa fermentada con *Lactobacillus plantarum*** IQ-199
Miriam de Lourdes Martínez-Morán, Ernestina Paz-Gamboa, Araceli Pérez-Silva, María de los Ángeles Vivar-Vera

IQ 25 **Efecto del recubrimiento de TiO_2 y del tratamiento térmico en la microestructura de aceros A304 y A316** IQ-209
Santos-Arias Marisela, Zamudio-Torres Ildefonso, Rojas-Blanco Lizeth, Xicoténcatl-de Dios Felipe, Ramírez-Morales Erik

IQ 26 **Modelación matemática de la extracción sólido-líquido de aceite de semillas de zapote mamey (*Pouteria sapota*) con hexano** IQ-218
M.J. Navarro Flores, M. Hidalgo Morales, M.A. Salgado Cervantes, G.C. Rodríguez Jimenes, M.A. García Alvarado

IQ 27 **Evaluación del efecto tóxico del caldo de fermentación de *Saccharopolyspora spinosa* en *Anastrepha Ludens*** IQ-228
M. Garcés Tolentino, C. B. Fosados Osorio, L. Chaires Martinez, A. Cruz Hernandez

IQ 28 **Síntesis de un complejo de coordinación bidentado mononuclear derivado de benzotiazol con potencial actividad biológica** IQ-235
Jorge Merino-González, Raúl Colorado-Peralta, María Elizabeth Márquez-López, Sharon Rosete-Luna, Delia Hernández-Romero

IQ 29 **Efecto de la agitación en la producción de bioetanol a partir de residuos cerveceros artesanales** IQ-243
Joaquín Estrada-Garcia, Rodolfo Bretón-Escobar, Nayeli Gutiérrez-Casiano, Juan Manuel Méndez-Contreras, Eduardo Hernández-Aguilar

IQ 30 **Efecto de la nanocelulosa sobre las propiedades de películas elaboradas con harina de garbanzo** IQ-252
Claudia Andrea Romero Bastida, Margarito Somera Gonzalez, Rosalía América González Soto

IQ 31 **Elaboración de películas con adición de vitamina C y cúrcuma como prevención para covid-19** IQ-259
Claudia Andrea Romero Bastida, José Juan Islas Hernández

IQ 32 **Desarrollo del composito Curcumina@HKUST-1 como estrategia para la generación de hidrógeno** IQ-268
Jesús Sebastián Rodríguez Girón, Luis Angel Alfonso Herrera, Alejandra M. Navarrete-López, Hiram Isaac Beltrán Conde, Daniel Sánchez Martínez

IQ 33 **Contenido de polifenoles, capacidad antioxidante, microbiológica en bebidas de jugo de piña-té matcha y probiótico encapsulado** 2IQ-75
Jazmín Lorenzo Gonzalez, María de los Ángeles Vivar Vera, Araceli Pérez Silva, Ernestina Paz Gamboa

IQ 34 **Validación de un Modelo Matemático para un Concentrador Solar Cilindro-Parabólico de Flujo en Dos Fases** IQ-282
Alejandro Torres Aldaco, Raúl Lugo Leyte, Marco A. Polo Labarrios, Heriberto Sánchez Mora

IQ 35 **Bioaumentación mejorada con biosurfactante de suelo contaminado con petróleo** IQ-292
Yuridia Evelin Hernández Cardeño, Marcia Eugenia Ojeda-Morales, Ana Laura Severo Domínguez, Sulma Guadalupe Gómez Jiménez, Claudia Ponce Sánchez

IQ 36 **Subproductos de uva para la conservación postcosecha de la fresa (*Fragaria vesca*)** IQ-299
D.G. Martínez Vázquez, R. Rodríguez Herrera, S.C. Rangel Ortega, A.V. Charles Rodríguez, L.A. Soriano Melgar

IQ 37 **Síntesis de catalizadores NiW/MgO-TiO_2 para la hidrodesoxigenación del aceite de palma** IQ-309
Alida Elizabeth Cruz Pérez, María Guadalupe Hernández Cruz, Ebelia del Ángel Meráz, Mayra Agustina Pantoja Castro, Marcia Eugenia Ojeda Morales

IQ 38 **Efecto del secado solar sobre las propiedades fisicoquímicas del epazote (*Dysphania ambrosioides*)** IQ-319
Ana María Lucho Gómez, Alfredo Domínguez Niño, Octavio García Valladares, Rosa María Chávez Santos

IQ 39 **Elaboración de un queso tipo pasta láctica a partir de una cepa bacteriana aislada de pulque** IQ-328
Oswaldo Miguel Serrano Hernández, Oscar Carmona Hernández, Ana María Aguirre Martínez, Micloth López del Castillo Lozano, José Armando Lozada García

IQ 40 **Características fisicoquímicas y sensoriales de confitados de bagazo de yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam*) con edulcorantes no calóricos** IQ-337
Johan Alfredo Marín Quiroz, Eulalia Magdalena Lugo González, Moisés Mata García, Elizabeta Hernández Domínguez, María de la Luz Sánchez Mundo

IQ 41 **Producción y caracterización de biopelículas micro y nanoestructuradas basadas en almidón de sorgo** IQ-346
I.G. Ruiz-Martínez, G. Pacheco-Vargas, S.V. Ávila-Reyes, D. Tapia-Maruri, J. Solorza-Feria

IQ 42 **Análisis comparativo del almacenamiento criogénico de energía** IQ-353
Joana Patricia Sánchez Flores, Sagrario Corazón Alcudia Ovando, Esveidi Montserrat Valdovinos García, Moisés Abraham Petriz Prieto

IQ 43 **Estudio de la factibilidad de la implementación de un sistema híbrido para suministro eléctrico** IQ-363
Alejandro David Crespo López, Edgar Vicente Torres González, Manuel Antonio Corona Sánchez, Raúl Lugo Leyte, Alejandro Torres Aldaco

IQ 44 **Cultivo de microalga *Chlorella vulgaris* en fotobiorreactor tipo raceway modificado** IQ-371
Luciana Poot Tamer, Eduardo Hernández-Aguilar, Cesar Antonio Ortiz Sánchez, Rosa Isela Castro Salas, Nayeli Gutiérrez-Casiano

IQ 45 **Calidad de pastas elaboradas con diferentes niveles de hierba mora** IQ-378
V. M. Luna-Hernández, J. G. Torruco-Uco, J. Rodríguez-Miranda, R. Gloria-Tejeda, B. Hernández-Santos

IQ 46 **Efecto de la liofilización sobre las características fisicoquímicas y térmicas del extracto de grillo doméstico (*Acheta domesticus*)** IQ-385
Ameyali Hernández-Lormendez, Guadalupe Luna Solano, Haydee Eliza Romero Luna, Maribel Jiménez Fernández

IQ 47 **Empaques para alimentos a base de Quitosano, Alginato y Pectina reforzados con cáscara de ajo** IQ-392
Irwin Rodrigo Dominguez Martinez, José Luis Rivera Armenta, Verónica Saucedo Rivlcoba, María Yolanda Chávez Cinco

IQ 48 **Efecto de un tostado en la composición bioquímica de la semilla de cachichín (*Oecopetalum mexicanum*)** IQ-400
Alejandro Esli Hernández-Mora, Adriana Contreras-Oliva, José Andrés Herrera-Corredor, Libia Iris Trejo-Téllez, Fernando Carlos Gómez-Merino

IQ 49 **Composición química, perfil fitoquímico y color de harinas del frijol negro Jamapa (*Phaseolus vulgaris*) germinado** IQ-407
María Elena Manuel-Pérez, Betsabé Hernández-Santos, Jesús Rodríguez-Miranda, Enrique Ramírez-Figueroa, Juan Gabriel Torruco-Uco

IQ 50 **Síntesis y caracterización de derivados S-alquilados del 2-mercaptobenzoxazol con bromuros de alquilo** IQ-414
Raziel Andrés Galeote-Robles, José María Rivera-Villanueva, Raúl Colorado-Peralta, María Elizabeth Márquez-Lopez, Rodolfo Peña-Rodriguez

IQ 51 **Evaluación de la huella de carbono en procesos de producción de biomasa microalgal** IQ-424
Beatriz Adriana Ascencio Priego, Saira Pérez de la Cruz, Moisés Abraham Petriz Prieto, Esveidi Montserrat Valdovinos García

IQ 52 **Evaluación del pretratamiento ultrasónico en la generación de azúcares fermentables con residuos de café** IQ-433
Solmaría Mandi Pérez-Guzmán, Joaquín Estrada-García, Juan Manuel Méndez-Contreras, Nayeli Gutiérrez-Casiano, Eduardo Hernández-Aguilar

IQ 53 **Extracción y purificación parcial de la lectina del hongo *Lactarius volemus*** IQ-440
Marimar Cruz-Cruz, Alma Dolores Pérez-Santiago, Eduardo Pérez-Campos, Pedro Hernández-Cruz, Itandehui Belem Gallegos-Velasco

IQ 54 **Biocompositos de harinas y aislado de proteína de semillas de amaranto** IQ-447
Shareny-Jahaira Guzmán Ozuna, Alma Leticia Martínez-Ayala, Edgar-Antonio Saldaña Palma, Rosalía-América González Soto

IQ 55 **Efecto de la bioestimulación in vitro con vanadio en el desarrollo morfológico de dos especies de cítricos** IQ-459
Vanessa Yamilet Duran-Rosas, Odón Castañeda-Castro, Miriam Cristina Pastelín-Solano, Guadalupe Vivar-Vera, and Javier Emanuel Bulbarela-Marini

IQ 56 **Obtención de microcápsulas de oleorresina de apio (*Apium graveolens*) mediante secado por aspersión** IQ-470
Marin-Castro U.R., Olguín-Rojas, J.A., Gaspar-Avalos, M., Rosas-Nexticapa, M., Bonilla-Zavaleta E.

IQ 57 **Síntesis y caracterización de nanopartículas de óxido de zinc por el método de precipitación directa** IQ-479
Ruby Sheila Gines-Palestino, Carlos Montalvo-Romero, Guadalupe Luna-Solano, Denis Cantú-Lozano

IQ 58 **Reología de soluciones filmogénicas de biomasa de gránulos de kéfir adicionadas con fructanos de agave** IQ-487
Moreno-Leon, German Rafael, Pacheco-Vargas, Glenda, Ruiz-Martinez Isidra Guadalupe, Ávila-Reyes Sandra Victoria, Solorza-Feria Javier

IQ 59 **Caracterización morfológica y estructural de nanocristales de almidón de plátano sintetizados por un método físico-enzimático** IQ-494
L. del C. Quevedo Zarate, A. Aguirre Cruz, R. Carmona García, M. J. Fernández Cueto, M. García Muñoz

IQ 60 **Desarrollo de heteroestructuras g-C_3N_4/Sb_2O_3 para evaluación de sus propiedades fotocatalíticas en la degradación de acetaminofén** IQ-500
D. Sánchez-Martínez, D.B. Hernández-Uresti, I. Juárez-Ramirez

IQ 61 **Modificación de ácido poliláctico con nanotubos de TiO_2 para envasado y embalaje de alimentos** IQ-506
Raquel Eunice Hernández Ramírez, Lilia A. Ríos Alducin, Susana Lezama Álvarez

IQ 62 **Comparativa de metabolitos secundarios entre kiwi (*Actinidia deliciosa*) producido en Huatusco Veracruz y especies comerciales** IQ-516
María Elizabeth Márquez-López, Odón Castañeda-Castro, Miriam Cristina Pastelín-Solano, Marina Guevara-Valencia, Tania Marín-Garza

IQ 63 **Producción de ácido láctico, vía fermentación microbiana, a partir de los residuos de la agroindustria piloncillera** IQ-524
Itzel Gonzalez-del Rosario, José Manuel Hernández-Martínez, Eusebio Bolaños-Reynoso, Juan Manuel Méndez-Contreras

IQ 64 **Enfriamiento radiativo pasivo de superficies mediante materiales opacificantes de la radiación infrarroja** IQ-531
Giovanni González-Párez, Mario Cesar Osorio-Abraham, Dalia A Mazon-Montijo, Luis Hernández-García, Gethzemani M Estrada-Villegas

IQ 65 **Evaluación de los rendimientos de biomasa probiótica a partir de BSG utilizando *L. acidophilus* y *L. casei*** IQ-538
Itzel Díaz-González, Joaquín Estrada-Garcia, Eduardo Hernández-Aguilar, Viviana Rodríguez-Rivera, Juan Manuel Méndez-Contreras

IQ 66 **Capacidad antagónica de hongos filamentosos nativos de Teziutlán Puebla, contra los patógenos *Rhizoctonia Solani* y *Fusarium oxysporum*** IQ-546
J. León Baez, L. Márquez Pallares, M. Martínez Demetrio, M. Cantellano Jarillo

IQ 67 **Estudio termoeconómico de un ciclo combinado de dos niveles de presión** IQ-553
S. Castro Hernandez, R. Lugo Leyte, A. Torres Aldaco, I. D. Alegria Ruiz, H. D. Lugo Mendez

IQ 68 **Determinación de furanos, azúcares residuales y compuestos fenólicos en vinazas tequileras** IQ-563
Lorenzo-Santiago, M.A., Rodriguez-Campos, J., Rendón-Villalobos, R., Contreras-Ramos S.M.

IQ 69 **Síntesis de Nanotubos de Carbonos para mejorar las propiedades reológicas de un fluido de perforación** IQ-570
G. Ramón Hernández, A. J. González Acencio, E. E. Uicab Córdova, P. Sifuentes Gallardo, J. C. Díaz Guillén

IQ 70 **Tamizaje fitoquímico y evaluación preliminar de bioactividad del cultivo in vitro de *Boletus loridellus*** IQ-577
Baleria María Hernández-Chávez, Alma Dolores Pérez-Santiago, Marco Antonio Sánchez-Medina, Ricardo Valenzuela-Garza, María del Socorro Pina-Canseco

IQ 71 **Comportamiento reológico de almidones procedentes de papa extranjera (*O. tuberosa*), plátano manzano (*M. rubra*) y papa (*S. tuberosum*)** IQ-584
Oropeza-De la Rosa, E., Arguello-Chacón, Y.D., Flores-Andrade, E., Martínez-Carmona, C.A., Castillo-Morales, M.

IQ 72 **Implementación del tratamiento de residuos de frutas y hortalizas en una planta de tratamiento de aguas residuales** IQ-591
Ivonne Abigail Rivera Bueno, Ana María Borjas Rubio, Sergio Esteban Vigueras Carmona, Carmen Kikey Chang Solís Gabriela Zafra Jiménez

IQ 73 **Producción de biogás a partir de un co-sustrato enriquecido en modo termofílico** IQ-601
Araceli Turincio Estrada, Alejandro Torres Aldaco, Raúl Lugo Leyte, Helen Denise Lugo Méndez, Jessica Torres Cervantes

IQ 74 **Evaluación de la vida útil de un té variando las condiciones de almacenamiento** IQ-611
Mónica Rivera Rivera, Martha Patricia Valencia Pérez, Marco Antonio Godínez Ruiz, Rebeca Gloria Tejeda,Araceli Pérez Silva

IQ 75 **Generación de entropía de una torre de enfriamiento de tiro natural** IQ-619
María Fernanda García-Lópeza, Eduardo González Peto, Sergio Castro Hernández, Helen Denise Lugo Méndez, Raúl Lugo Leyte

IQ 76 **Análisis Termodinámico a la Central Ultra Supercrítica de Jiaxing** IQ-629
A. Hernández de la Cruz, R. Lugo Leyte, L. E. Méndez Cruz, M. Salazar Pereyra, H. D. Lugo Méndez

IQ 77 **Influencia del método de síntesis de óxidos semiconductores en procesos fotoinducidos: caso TiO_2** IQ-637
Luis Ricardo Morales Juarez, Erika López Sánchez, Guadalupe Castillo Ramírez, Gerardo Gorzo Arroyo, Odilón Vázquez Cuchillo

IQ 78 **Producción de azúcares fermentables a partir de la cáscara de *Arachis hypogaea* para la producción de bioetanol** IQ-644
Rojas-Rodriguez Laura Goretty, Arce-Vázquez María Belem, Durán-Hinojosa Ulises, Mora-Ortega Agustín, Enciso-Contreras Ernesto

 ISSN: 2007 8102

IQ 79 **Evaluación de la producción de biomasa en cultivos de microalgas mediante el conteo celular utilizando algoritmos de visión por computadora** IQ-652
Julio César Martínez Morgan, José Armando Fragoso Mandujano, Héctor Ricardo Hernández de León, Sheyla Karina Flores Guirao

IQ 80 **Uso de residuos orgánicos almidonosos para la generación de bioetanol** IQ-659
Remigio-Ramírez Ana Martha, Arce-Vázquez María Belem, De la Cruz-Alejo Jesús, Bonilla-Blancas Wenceslao C., Medina- Mendoza Paulo César

IQ 81 **Efecto del secado por lecho fluidizado sobre la humedad y parámetros de color de flor de Gasparito** IQ-667
M. G. González Serrano, G. Luna Solano, A. Domínguez Niño, G. R. Urrea García, P. Guillen Velazquez

IQ 82 **Predicción de las condiciones de estabilidad de *Lactobacillus rhamnosus* encapsulado mediante secado por aspersión** IQ-674
Marin-Castro U.R., Rascón-Díaz M.P., López-Hernández E., Rosas-Nexticapa M., Bonilla-Zavaleta E.

 ISSN: 2007 8102

Método semicontinuo para evaluar las cinéticas de deshidratación osmótica

América Libertad Arano Reyes[1], Marisol Castillo Morales[1], César Antonio Ortiz Sánchez[1], Rafael Uzárraga Salazar[1], Enrique Flores Andrade[1]*

[1]Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz, México.
[*]enflores@uv.mx.

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

Este estudio comparó los métodos discontinuo y continuo de la deshidratación osmótica de tejidos de manzana y frijol inmersas en soluciones concentradas de sacarosa. A partir de los resultados, se desarrolló un método semicontinuo que consistió en medir la ganancia de sólidos y pérdida de agua de al menos tres puntos experimentales durante el tratamiento osmótico (método discontinuo) y la medición de la pérdida de masa en una única muestra hasta el final del experimento (método continuo). Los resultados mostraron que el método continuo tuvo la capacidad de estimar los parámetros del modelo de Azuara que describe la cinética de la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica, pero fue deficiente para describir la cinética de ganancia de sólidos. Por el contrario, el método semicontinuo tuvo menor error experimental al predecir los modelos de Azuara relacionados con la pérdida de agua y ganancia de sólidos de los tejidos vegetales.

***Palabras clave**: deshidratación osmótica, método semicontinuo, modelo de Azuara, cinéticas.*

Abstract

This study compared the discontinuous and continuous methods of osmotic dehydration of apple and bean tissues immersed in concentrated sucrose solutions. Based on the results, a semicontinuous method was developed that consisted of measuring the solid gain and water loss of at least three experimental points during the osmotic treatment (batch method) and the measurement of mass loss in a single sample until the end of the experiment (continuous method). The results showed that the continuous method could estimate the parameters of the Azuara model that describes the kinetics of water loss during osmotic dehydration but needed to be improved in describing the kinetics of solids gain. On the contrary, the semicontinuous method had a less experimental error when predicting the Azuara models related to the loss of water and gain of solids in plant tissues.

***Key words**: osmotic dehydration, semicontinuous method, Azuara model, kinetics.*

Introducción

La evaluación de las cinéticas de ganancia de sólidos (SG) y pérdida de agua (WFL) durante la deshidratación osmótica de tejidos vegetales o animales es de gran importancia para medir el nivel de deshidratación o impregnación de solutos en el producto final. Mediante la evaluación de estas cinéticas se pueden diseñar pretratamientos para la materia prima antes del proceso final tal como lo es el secado, liofilización, congelación, endulzado, entre otros [1].

Actualmente se utilizan dos métodos para evaluar las cinéticas de osmodeshidratación. Uno es el método discontinuo que permite analizar objetivamente la transferencia de agua y de sólidos en muestras sometidas a cada tiempo del proceso osmótico. Mediante este método es posible evaluar diferentes modelos matemáticos y calcular los coeficientes de difusión del agua y del soluto. No obstante, dicho método requiere mucho tiempo de operación y materia prima, lo que puede ocasionar una alta variación o dispersión de los resultados debido principalmente a la heterogeneidad intrínseca de las muestras en aspectos de estructura celular, porosidad y madurez [2]. Otro es el método continuo que se basa en el modelo asintótico de Azuara y en la medición de la pérdida de peso de una sola muestra a diferentes tiempos de osmodeshidratación. Este método ayuda a economizar materia prima, reducir el tiempo de mano de obra y disminuir la dispersión en las mediciones

 ISSN: 2007 8102

experimentales [3]. Sin embargo, la principal desventaja del método continuo es que se fundamenta en la suposición de que la tasa de transferencia de agua es la misma que la tasa de transferencia de sólidos, lo que limita su aplicación en la evaluación de procesos de impregnación de compuestos funcionales mediante deshidratación osmótica [4].

En vista de las ventajas de ambos métodos de osmodeshidratación, es razonable suponer que la combinación de los procedimientos continuo y discontinuo podría mejorar la estimación de los parámetros cinéticos relacionados con la pérdida de agua y ganancia de sólidos de tejidos vegetales, con mayor precisión, menor cantidad de materia prima y tiempo de operación. Además, hasta el momento no se encuentra en la literatura evidencia donde se combinen ambos procedimientos por lo que es una oportunidad para el desarrollo de un método semicontinuo de deshidratación osmótica de alimentos. Por lo tanto, el propósito del presente trabajo de investigación fue estudiar la comparación entre los métodos discontinuo y continuo de osmodeshidratación, con base en el modelo de Azuara, para desarrollar un método semicontinuo que permita la estimación precisa de cinéticas de pérdida de agua y ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica de placas de manzana y granos de frijol, como modelos de tejidos vegetales.

Metodología

Materiales

Se utilizaron manzanas (*Malus doméstica*, variedad Golden Delicious) y frijoles bayos (*Phaseolus leptostachyus*) adquiridos de un comercio local.

Preparación

La manzana se cortó en forma de placa de 30 mm de diámetro y 3 mm de grosor. En el caso del frijol, el grano se sometió a un proceso de ablandamiento que consistió en la inmersión en agua en una relación en masa de 1:4 grano:agua a 21 °C por 9 h. Posteriormente, el agua se reemplazó y se hirvió por 10 min. Antes del proceso de osmodeshidratación se retiró la testa y se separaron los cotiledones. Los cotiledones fueron las muestras sometidas a deshidratación osmótica.
Las muestras de manzana fueron osmodeshidratadas en una solución acuosa de sacarosa al 60% p/p a 40 °C, mientras que los granos de frijol fueron procesados en una solución al 50% de sacarosa a 50 °C. Ambas muestras fueron sometidas a los métodos discontinuo y continuo de osmodeshidratación hasta 300 min de tratamiento osmótico.

Método discontinuo

Antes del tratamiento osmótico, las muestras biológicas fueron pesadas en una balanza analítica y posteriormente fueron colocadas dentro de la solución de sacarosa en una relación en masa 1:20 muestra:solución y mantenidas a diferentes tiempos de inmersión (10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280 y 300 min) a temperatura constante. Al final de cada tiempo, las muestras fueron retiradas del medio osmótico y el exceso de solución fue removido con papel absorbente. El producto fue pesado y se determinó la pérdida de agua y ganancia de sólidos mediante las siguientes ecuaciones [5]:

$$\frac{WFL}{M_o} = \frac{M_0 X_0 - M_t X_t}{M_0} \quad (1)$$

$$\frac{SG}{M_o} = \frac{M_0 (X_0 - 1) - M_t (X_t - 1)}{M_0} \quad (2)$$

donde WFL es el peso de agua perdida por el alimento al tiempo t, SG es el peso de sólidos ganados por el alimento al tiempo t, M_0 es el peso inicial del alimento al tiempo 0, M_t el peso del alimento al tiempo t, X_0 es la humedad inicial del tiempo (base húmeda), X_f es la humedad final del alimento (base húmeda) al tiempo t. Por último, los datos cinéticos de WFL y SG fueron ajustados al modelo de Azuara [6]:

$$WFL = \frac{S_1 \, t WFL_\infty}{1 + S_1 t} \quad (3)$$

$$SG = \frac{S_2 t SG_\infty}{1 + S_2 t} \quad (4)$$

donde SG_∞ es la fracción de sólidos ganados por el alimento en el equilibrio, WFL_∞ es la fracción de agua perdida por el alimento en el equilibrio, s_1 es la constante relacionada con la velocidad de pérdida de agua y s_2 es la

 ISSN: 2007 8102

constante relacionada con la velocidad de entrada de sólidos solubles al alimento. Las humedades iniciales (X_0) y finales (X_f) fueron determinados mediante diferencias de peso, antes y después del secado en estufa convectiva a 103 °C por 24 h.

Método continuo

Las muestras biológicas fueron pesadas antes del tratamiento osmótico y después fueron sumergida en la solución de sacarosa en una relación 1:20 muestra:solución, a diferentes intervalos de tiempo. A cada intervalo de tiempo osmótico, las muestras se retiraron de la solución, se eliminó el exceso de solución con papel absorbente, se pesaron en balanza analítica y se regresaron de vuelta al mismo medio osmótico; y así sucesivamente hasta el final del tratamiento de osmodeshidratación. Al final del último intervalo de tiempo (denominado tiempo "m"), la muestra fue procesada para determinar el contenido de agua y de sólidos mediante las ecuaciones 1 y 2. Los parámetros cinéticos (s_1 , s_2) y de equilibrio (SG_∞ , WFL_∞) de las ecuaciones 3 y 4 fueron estimados siguiendo las ecuaciones propuestas por Azuara et al. [3]. Adicionalmente, se modeló la pérdida de masa (ML) mediante las ecuaciones 5 y 6:

$$\frac{ML}{M_o} = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \tag{5}$$

$$ML = \frac{S_0 t ML_\infty}{1 + S_0 t} \tag{6}$$

donde ML_∞ es la fracción de masa perdida por el alimento en el equilibrio y la s_0 es la constante relacionada con la velocidad o tasa de transferencia de pérdida de masa.

Desarrollo del método semicontinuo

Con el propósito de establecer las ecuaciones de trabajo, se analizaron las relaciones matemáticas que existen entre las formas lineales de las ecuaciones 3, 4 y 6 al transformar los datos cinéticos discontinuos como $t/ML, t/WFL$ y t/SG y graficarlos con respecto al tiempo. Las ecuaciones linealizadas son:

$$\frac{t}{ML} = I_{ML} + P_{ML} t \tag{7}$$

$$\frac{t}{WFL} = I_{WFL} + P_{WFL} t \tag{8}$$

$$\frac{t}{SG} = I_{SG} + P_{SG} t \tag{9}$$

donde las intersecciones (I) y pendientes (P) se definen como: $I_{ML} = \frac{1}{s_0 ML_\infty}$; $P_{ML} = \frac{1}{ML_\infty}$; $I_{WFL} = \frac{1}{s_1 WFL_\infty}$; $P_{WFL} = \frac{1}{WFL_\infty}$; $I_{SG} = \frac{1}{s_2 SG_\infty}$; $P_{SG} = \frac{1}{SG_\infty}$. Las relaciones matemáticas obtenidas entre las pendientes e intersecciones se presentan en las ecuaciones 10 a 18:

$$\frac{I_{WFL}}{I_{ML}} = \frac{\frac{P_{WFL}}{s_1}}{\frac{P_{ML}}{s_0}} = \frac{s_0}{s_1} \cdot \frac{P_{WFL}}{P_{ML}} = \frac{s_0}{s_1} \cdot \left(1 - \frac{SG_\infty}{WFL_\infty}\right) \tag{10}$$

$$\frac{I_{ML}}{I_{WFL}} = \frac{\frac{P_{ML}}{s_0}}{\frac{P_{WFL}}{s_1}} = \frac{s_1}{s_0} \cdot \frac{P_{ML}}{P_{WFL}} = \frac{s_1}{s_0} \cdot \left(1 + \frac{SG_\infty}{ML_\infty}\right) \tag{11}$$

$$\frac{I_{SG}}{I_{ML}} = \frac{\frac{P_{SG}}{s_2}}{\frac{P_{ML}}{s_0}} = \frac{s_0}{s_2} \cdot \frac{P_{SG}}{P_{ML}} = \frac{s_0}{s_2} \cdot \left(\frac{WFL_\infty}{SG_\infty} - 1\right) \tag{12}$$

$$\frac{I_{ML}}{I_{SG}} = \frac{\frac{P_{ML}}{s_0}}{\frac{P_{SG}}{s_2}} = \frac{s_2}{s_0} \cdot \frac{P_{ML}}{P_{SG}} = \frac{s_2}{s_0} \cdot \left(\frac{WFL_\infty}{ML_\infty} - 1\right) \tag{13}$$

$$\frac{I_{WFL}}{I_{SG}} = \frac{\frac{P_{WFL}}{s_1}}{\frac{P_{SG}}{s_2}} = \frac{s_2}{s_1} \cdot \frac{P_{WFL}}{P_{SG}} = \frac{s_2}{s_1} \cdot \left(1 - \frac{ML_\infty}{WFL_\infty}\right) \tag{14}$$

$$\frac{I_{SG}}{I_{WFL}} = \frac{\frac{P_{SG}}{s_2}}{\frac{P_{WFL}}{s_1}} = \frac{s_1}{s_2} \cdot \frac{P_{SG}}{P_{WFL}} = \frac{s_1}{s_2} \cdot \left(\frac{ML_\infty}{SG_\infty} + 1\right) \tag{15}$$

 ISSN: 2007 8102

$$\frac{P_{SG}}{P_{WFL}} = \frac{WFL_\infty}{SG_\infty} = \left(\frac{ML_\infty}{SG_\infty} + 1\right) = \left(1 - \frac{ML_\infty}{WFL_\infty}\right)^{-1} \quad (16)$$

$$\frac{P_{SG}}{P_{ML}} = \frac{ML_\infty}{SG_\infty} = \left(\frac{WFL_\infty}{SG_\infty} - 1\right) = \left(\frac{WFL_\infty}{ML_\infty} - 1\right)^{-1} \quad (17)$$

$$\frac{P_{WFL}}{P_{ML}} = \frac{ML_\infty}{WFL_\infty} = \left(1 - \frac{SG_\infty}{WFL_\infty}\right) = \left(1 + \frac{SG_\infty}{ML_\infty}\right)^{-1} \quad (18)$$

Posteriormente, se seleccionaron tres puntos discontinuos (20, 160 y 300 min) para obtener pendientes e intersecciones que se combinaron con los datos cinéticos continuos y así desarrollar un método de análisis matemático sencillo para estimar con mayor precisión las cinéticas de osmodeshidratación.
La estimación de los datos cinéticos fue evaluado utilizando el módulo de desviación media relativa (*E(%)*) [7]:

$$E(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^{N} \frac{|M_i - M_{pi}|}{M_i} \quad (19)$$

donde M_i es la observación *i*, M_{pi} es la observación predicha, y *N* es el número total de observaciones. Se considera un buen ajuste si el valor de $E(\%)$ es menor que 10%.

Resultados y discusión

Análisis de las cinéticas obtenidas por el método discontinuo

Los datos cinéticos transformados para la deshidratación osmótica de manzana, de acuerdo a las ecuaciones 7 al 9, se muestran en la Figura 1. Todas las cinéticas adquieren la forma de una línea recta con valores de R^2 cercanos a la unidad. La desviación estándar o variación (barras de error) de los datos transformados fueron del mismo orden que los reportados en la literatura [8]. La transformación ocasiona que los puntos de t/SG tengan valores más altos que t/ML y t/WFL, y se debe a que los valores de SG son más pequeños en comparación con los valores de ML y WFL. El hecho de que todos los datos transformados se comporten como una línea recta, justifica el procedimiento de obtener relaciones matemáticas (ecuaciones 10 a 18) entre las intersecciones y pendientes de SG, WFL y ML. Por otra parte, la Tabla 1 muestra los valores de las pendientes e intersecciones utilizando 18 y 3 puntos experimentales utilizando el método discontinuo, y donde es posible observar que sólo tres datos discontinuos son necesarios para reproducir la tendencia de las cinéticas de deshidratación osmótica.

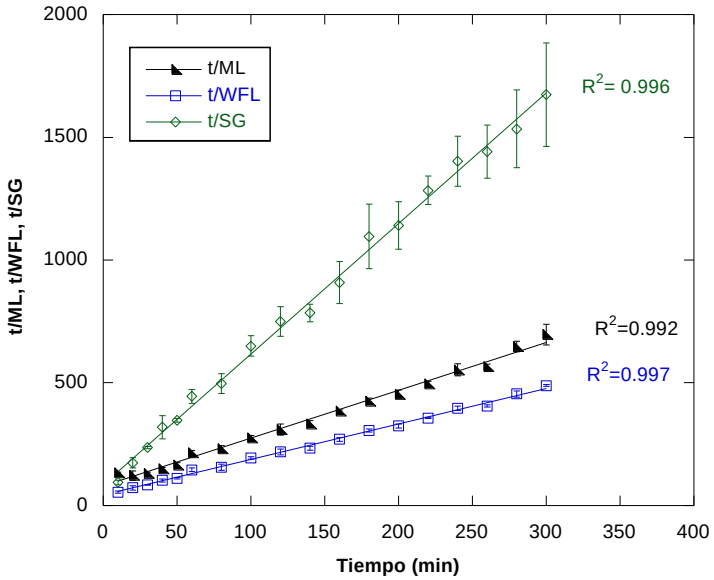


Figura 1. Forma lineal de las cinéticas de la deshidratación osmótica de manzana en una solución de sacarosa al 60% a 40 °C. La regresión se aplicó a 18 datos experimentales medidos con el método discontinuo.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 1. Parámetros de la regresión lineal de los datos transformados de ML, WFL y SG medidos con el método discontinuo utilizando 18 y 3 puntos experimentales.

Número de puntos discontinuos	Pendiente		Intersección	
	P_{WFL}	P_{SG}	I_{WFL}	I_{SG}
18	1.44 ± 0.02	5.32 ± 0.08	42.33 ± 3.2	84.79 ± 13.9
3	1.49 ± 0.04	5.36 ± 0.06	38.23 ± 8.6	60.92 ± 12.7

Para poder desarrollar el método semicontinuo, fue necesario comparar la pérdida de masa (ML) por el método continuo y discontinuo. La Figura 2 muestra la cinética linealizada de la pérdida de masa (ML) en las muestras de manzana utilizando ambos métodos de osmodeshidratación. Las pendientes P_{ML} fueron similares entre sí con valores de 1.92 ± 0.03 y 2.01 ± 0.03 para el método discontinuo y continuo, respectivamente. No obstante, las intersecciones I_{ML} mostraron una marcada diferencia entre métodos con valores de 76.4 ± 4.2 y 56.6 ± 4.7 para el método discontinuo y continuo.

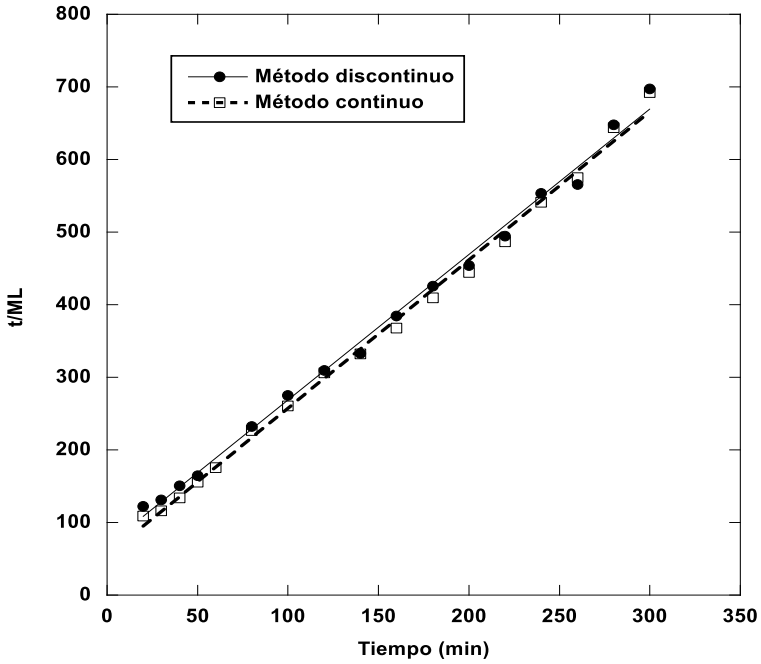


Figura 2. Comparación de las cinéticas transformadas de pérdida de masa (ML) de manzana en una solución de sacarosa al 60% a 40 °C, utilizando el método discontinuo y continuo.

Propuesta del método semicontinuo de osmodeshidratación

Con base en los resultados anteriores, se utilizó la cinética transformada de ML del método continuo y se combinó con las cinéticas de tres puntos de WFL y SG del método discontinuo (Tabla 1), de tal forma que los parámetros del modelo de Azuara (ecuaciones 3 y 4) fueron estimadas con las siguientes ecuaciones semicontinuas:

$$WFL_{\infty} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{P_{WFL}} + \frac{1}{\left(1-\frac{SG_m}{WFL_m}\right)P_{ML}}\right) \quad (20)$$

$$SG_{\infty} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{P_{SG}} + \frac{1}{\left(\frac{WFL_m}{SG_m}-1\right)P_{ML}}\right) \quad (21)$$

$$s_1 = \frac{1}{2I_{WFL}}\left(P_{WFL} + P_{ML}\left(1-\frac{SG_m}{WFL_m}\right)\right) \quad (22)$$

$$s_2 = \frac{1}{2I_{SG}}\left(P_{SG} + P_{ML}\left(\frac{WFL_m}{SG_m}-1\right)\right) \quad (23)$$

 ISSN: 2007 8102

donde P_{WFL}, P_{SG}, I_{SG}, I_{WFL} provienen de las cinéticas de tres puntos del método discontinuo. La fracción de sólidos ganados (SG_m) y agua perdida (WFL_m) provienen del último punto (m) de la cinética utilizando el método discontinuo. En el caso de la manzana, m = 300 min, los valores de SG_m y WFL_m fueron de 0.183 y 0.613, respectivamente. En este método semicontinuo de osmodeshidratación, la cinética continua se utilizó como un factor de corrección a lo largo del proceso osmótico, por lo que sólo se utilizó el valor de la pendiente P_{ML} de 2.01.

Comparación de los métodos de osmodeshidratación

La Figura 3 muestra los datos experimentales de WFL y SG para la deshidratación osmótica de manzana en una solución al 60% de sacarosa a 40 °C. Los puntos en la figura representan los datos experimentales obtenidos por el método discontinuo y la línea negra es el ajuste matemático, mediante regresión no lineal, con las ecuaciones 3 y 4. La línea azul muestra la estimación de las cinéticas WFL y SG siguiendo el procedimiento semicontinuo (ecuaciones 20 a 23), y las líneas rojas son las estimaciones proporcionadas por el método continuo de Azuara [3]. La Tabla 2 proporciona los parámetros estimados del modelo cinético de Azuara (ecuaciones 3 y 4), así como la bondad del ajuste $E(\%)$ de las cinéticas estimadas. Los parámetros del método discontinuo fueron obtenidos por regresión no lineal utilizando los 18 puntos experimentales, por lo que la línea negra representa la tendencia verdadera de las cinéticas de osmodeshidratación. Se puede notar en la Figura 3 y en la Tabla 2 que el método continuo y semicontinuo estimaron adecuadamente la curva cinética de la pérdida de agua (WFL) con valores de WFL_∞ y s_1 cercanos a los proporcionados por el método discontinuo, además de tener un excelente ajuste con valores de $E(\%)$ menores al 4% [7].

Con respecto a SG_∞ y s_2, se puede observar que los métodos continuo y semicontinuo presentan valores de $E(\%)$ menores al 10%, lo cual aún es considerado aceptable en el ajuste de un modelo matemático a los datos experimentales [7]. Sin embargo, en la Figura 3 se puede notar que el método continuo (línea roja) subestima la ganancia de sólidos durante los primeros 100 min de tratamiento osmótico, después de lo cual tiende a un equilibrio similar a los datos experimentales. De igual forma, en la Tabla 2 se pude notar que el parámetro s_2 es subestimado alrededor del 50% con respecto al valor esperado de 0.088. Esto se debe que el método continuo supone que la tasa de transferencia de agua es igual a la transferencia de sólidos, ambos englobados en la tasa de transferencia de pérdida de masa ($s_1 = s_2 = s_0$) [4]. En el caso del método semicontinuo (línea azul), los valores de SG_∞ y s_2 fueron cercanos a los proporcionados por el método discontinuo, de 0.197 y 0.084 respectivamente, además de tener un mejor ajuste en los primeros 100 min de osmodeshidratación.

Tabla 2. Parámetros del modelo asintótico de Azuara estimados con el método discontinuo, continuo y semicontinuo para la osmodeshidratación de manzana.

Parámetro del modelo	Método				
	Discontinuo	Continuo	$E(\%)$	Semicontinuo	$E(\%)$
WFL_∞	0.693	0.692	3.9	0.684	3.2
s_1	0.034	0.038		0.038	
SG_∞	0.183	0.201	8.3	0.197	9.2
s_2	0.088	0.038		0.084	

 ISSN: 2007 8102

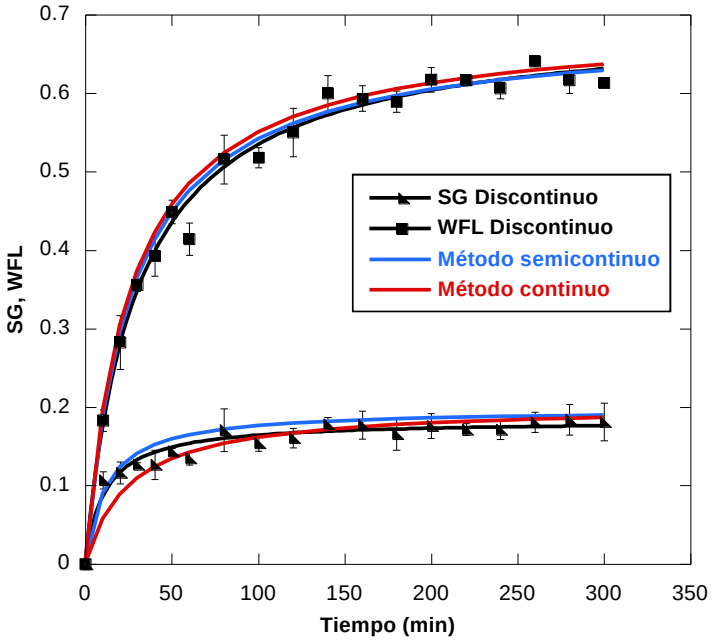


Figura 3. Comparación de las cinéticas de SG y WFL obtenidas por el método discontinuo, semicontinuo y continuo para la osmodeshidratación de manzana en una solución de sacarosa al 60% a 40 °C.

Los métodos discontinuo, continuo y semicontinuo también se compararon para la deshidratación osmótica de granos de frijol. En este caso, se obtuvieron los siguientes datos discontinuos: SG_m, WFL_m de 0.076 y 0.439, P_{WFL}, P_{SG} de 2.14 ± 0.04 y 10.76 ± 0.43, I_{SG}, I_{WFL} de 1061 ± 82.9 y 43.91 ± 7.55, respectivamente. El dato continuo de P_{ML} fue de 2.54 ± 0.006.

En la Figura 4 se puede notar que el método continuo (línea azul) se acerca a la tendencia real (línea negra) de las cinéticas de osmodeshidratación del frijol en una solución al 50% de sacarosa a 50 °C. De igual forma, los valores de s_1 y s_2 estimados por el método semicontinuo son congruentes con los estimados por regresión no lineal con 12 puntos experimentales discontinuos (Tabla 3). El mayor error en la predicción de las cinéticas de WFL y SG correspondió al método continuo, con valores de $E(\%)$ superiores al 50%, y fue debido a que en dicho método sólo utiliza un punto experimental (último punto de la cinética, punto "m") para la predicción de los parámetros de las ecuaciones 3 y 4, lo que lo hace susceptible a error experimental. En cambio, en el método semicontinuo se pueden utilizar dos o más puntos experimentales discontinuos, lo que mejora la estimación de los parámetros de los modelos cinéticos.

Tabla 3. Parámetros del modelo asintótico de Azuara estimados con el método discontinuo, continuo y semicontinuo para la osmodeshidratación de frijol.

Parámetro del modelo	Método				
	Discontinuo	Continuo	$E(\%)$	Semicontinuo	$E(\%)$
WFL_∞	0.457	0.483	79	0.472	7.7
s_1	0.051	0.063		0.048	
SG_∞	0.087	0.090	> 100	0.088	18
s_2	0.015	0.063		0.011	

 ISSN: 2007 8102

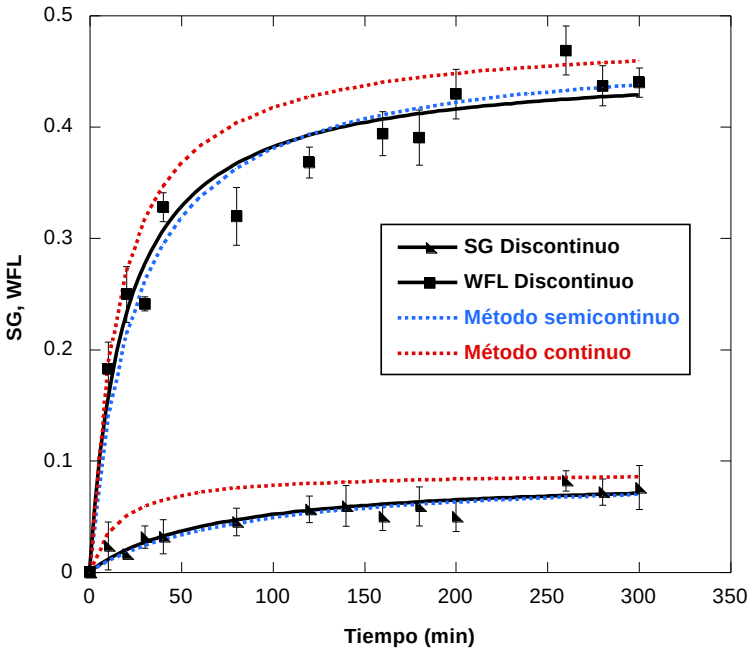


Figura 4. Comparación de las cinéticas de SG y WFL obtenidas por el método discontinuo, semicontinuo y continuo para la osmodeshidratación de frijol en una solución de sacarosa al 50% a 50 °C.

La importancia de los resultados del método semicontinuo es que proporcionan una estimación precisa de las tasas de transferencia de agua (s_1) y de sólidos (s_2) del modelo de Azuara sin recurrir al exceso de recursos materiales y tiempo de operación característica del método discontinuo. Los parámetros s_1 y s_2 son empleados para calcular los coeficientes de difusión del agua y de sólidos, respectivamente [6]. En el caso del método continuo, dado que la cinética que mejor se predice es la de WFL, sólo es posible calcular la difusividad del agua que sale del alimento durante el procesos osmótico, pero no así la difusividad de los sólidos que se impregnan en el alimento [9], [10].

Conclusiones

El método discontinuo de osmodeshidratación es el mejor método para evaluar la transferencia de masa de un alimento inmerso en una solución hipertónica. Sin embargo, proporciona resultados con elevada dispersión ya que requiere de un gran número de muestras experimentales.
El método continuo, basado en el modelo asintótico de Azuara, utiliza poca materia prima pero sólo tiene la capacidad de estimar la cinética de pérdida de agua del alimento.
La mayor precisión en la estimación de las cinéticas de pérdida de agua y ganancia de sólidos, semejante a la obtenida por el método discontinuo, se logra mediante ecuaciones que combinan datos discontinuos y continuos. Este método, denominado “semicontinuo”, logra estimar las tasas de transferencia de agua y sólidos del modelo asintótico de Azuara casi al mismo nivel que el método tradicional discontinuo.

Referencias

[1] P. Nowicka, A. Wojdyło, K. Lech, and A. Figiel, “Influence of osmodehydration pretreatment and combined drying method on the bioactive potential of sour cherry fruits,” *Food Bioprocess Technology*, vol. 8, no. 4, pp. 824–836, 2015, doi: 10.1007/s11947-014-1447-y.

[2] M. Aguirre-García, O. Cortés-Zavaleta, H. Ruiz-Espinosa, C. E. Ochoa-Velasco, and I. I. Ruiz-López, “The role of coupled water and solute diffusion and product shrinkage during osmotic dehydration,” *Journal of Food Engineeering*, vol. 331, no. May, 2022, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2022.111121.

[3] E. Azuara, C. I. Beristain, and G. F. Gutiérrez, “A Method for Continuous Kinetic Evaluation of Osmotic Dehydration,” *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, vol. 31, no. 4, pp. 317–321, 1998.

[4] B. Abbasi Souraki, M. Ghavami, and H. Tondro, “Comparison between continuous and discontinuous

 ISSN: 2007 8102

method of kinetic evaluation for osmotic dehydration of cherry tomato," *Journal Food Processing and Preservation*, vol. 38, no. 6, pp. 2167–2175, 2014, doi: 10.1111/jfpp.12196.

[5] C. I. Beristain, E. Azuara, R. Cortés, And H. S. Garcia, "Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings," *International Journal of Food Science and Technology,* vol. 25, no. 5, pp. 576–582, 1990, doi: 10.1111/j.1365-2621.1990.tb01117.x.

[6] E. Azuara, R. Cortés, H. S. Garcia, and C. I. Beristain, "Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law," *International Journal of Food Science and Technology,* vol. 27, no. 4, pp. 409–418, 1992, doi: 10.1111/j.1365-2621.1992.tb01206.x.

[7] C. J. Lomauro, a S. Bakshi, and T. P. Labuza, "Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, vegetable and meat products," *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, vol. 18, no. 2. pp. 111–117, 1985.

[8] P. P. Sutar and D. K. Gupta, "Mathematical modeling of mass transfer in osmotic dehydration of onion slices," *Journal of Food Engineeering*, vol. 78, no. 1, pp. 90–97, 2007, doi: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.008.

[9] E. Flores-Andrade, L. A. Pascual-Pineda, F. G. Alarcón-Elvira, M. P. Rascón-Díaz, D. J. Pimentel-González, and C. I. Beristain, "Effect of vacuum on the impregnation of Lactobacillus rhamnosus microcapsules in apple slices using double emulsion," *Journal of Food Engineeering*, vol. 202, pp. 18-24, 2017, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.02.005.

[10] E. Flores-Andrade, C. I. Beristain, E. J. Vernon-Carter, G. F. Gutiérrez, and E. Azuara, "Enthalpy-entropy compensation and water transfer mechanism in osmotically dehydrated agar gel," *Drying Technology*, vol 27, no. 9, pp. 999-1009, 2009, doi: 10.1080/07373930902904921.

 ISSN: 2007 8102

Modificación y generación de membranas de quitosano para adsorción de Pb (II) en medio acuoso.

Cecilia Ibarra-Hernández[1], Luis Hernández-García[*1], Jesús Martínez-Sanchez[1], Giovanny Gonzalez-Perez[1], Norma Vizcaino-Hernández[1].*
[1]Tecnologico Nacional de México/IT Nuevo León, Academia de Ingeniería Ambiental
***Área de participación**: Ingeniería Química (ambiental)*

Resumen

La contaminación por metales pesados es un problema actual, que genera daños al ambiente y a los seres humanos. En este trabajo se muestra la modificación química realizada al quitosano con cloruro de tiofenil acetilo, con la finalidad de incrementar los grupos ricos en electrones que puedan quelatar al átomo de plomo en medio acuoso. El quitosano modificado fue utilizado para realizar membranas porosas para evaluar su capacidad de adsorción, observando una mejora significativa del 30%.

***Palabras clave**: Quitosano, adsorción, plomo, contaminación ambiental.*

Abstract

Heavy metal contamination is a current problem, which causes damage to the environment and humans. In Monterrey, a city with many industries, with a population that is growing considerably and has very serious droughts, it is a latent problem. In this work, the chemical modification of chitosan with acetyl thiophenyl chloride is shown, with the purpose of increasing the electron-rich groups that can chelate lead atoms in water. Porous membranes were prepared using the modified chitosan to evaluate its adsorption capacity, resulting in a significant improvement of 30%.

***Key words**: Chitosan, lead, adsorption, environmental pollution.*

Introducción

Uno de los principales problemas a los que nos enfrentamos en la actualidad es la contaminación del agua por metales pesados [1]. Por mencionar algunos ejemplos de las principales fuentes de las que proviene esta contaminación encontramos: las aguas residuales de industrias como la metalúrgica, la minería, la fabricación de productos químicos y baterías entre otros, que contienen muchos tipos de iones metálicos tóxicos, por ejemplo, cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), estaño (Sn) y plomo (Pb) [2]. Se han estudiado ampliamente los metales pesados más comunes buscando encontrar una solución adecuada para eliminarlos. Los seres vivos al consumir alimentos que contengan metales pesados poniendo en riesgo su salud, [3]; por ejemplo el Plomo, que es objeto de estudio de la presente investigación, tiene un efecto negativo en el medio ambiente porque se acumula fácilmente en la flora y fauna. De ser ingerido, podría llegar a generar envenenamiento por plomo en los seres humanos, que daña gravemente los riñones, el sistema nervioso, el sistema reproductivo, el hígado y el cerebro [4-5]. Por lo tanto, la contaminación por plomo debe ser minimizada para reducir los posibles peligros al ser humano y al medio ambiente.

En la mayoría de las industrias se usa en gran medida el agua para distintos tipos de procesos que, al terminar las operaciones necesarias, el agua es retirada y desechada. Algunas empresas cuentan con los recursos para mantener un proceso de reutilización del agua como por ejemplo la osmosis inversa. Pero una gran cantidad de las empresas optan por pagar a proveedores externos para retirar el agua contaminada y posteriormente aplicar un tratamiento y poder desecharla, por lo tanto, la contaminación por plomo debe ser minimizada para reducir los posibles peligros al ser humano y al medio ambiente.

En las industrias se puede implementar el uso de las membranas de quitosano modificado debido a que es más económico. Con la ayuda de estas membranas se podrá disminuir la cantidad de plomo del agua contaminada y pueda recircular de nuevo al proceso cumpliendo las condiciones de la empresa. Existen diferentes normas con el fin de regular las concentraciones de plomo presentes en diferentes depósitos de agua de las empresas, se

 ISSN: 2007 8102

busca cumplir con los límites máximos permisibles que dictan las normas: NOM-001 -SEMARNAT-1996, que tiene aplicabilidad en las descargas de agua a bienes nacionales, indica un límite máximo de plomo de 1 mg/l; la NOM-002-SEMARNAT-1996, con aplicabilidad para descargas de agua en alcantarillado, indica un límite de 2 mg/l de plomo permisible, y por último la NOM-127-SSA1 -1993, con aplicabilidad en potabilización, indica un límite máximo permisible de plomo de 0.025 mg/l.

Cumpliendo estas normas, se busca que las fábricas puedan tener un ahorro significativo ya que en el caso de un sistema para tratamiento de aguas, estos tiene un costo elevado por los equipos que se deben de usar y, además, en el caso de los proveedores externos que se encargan de trasladar el agua contaminada, tiene un costo en promedio de recolección de agua contaminada de 2000dlls por 30,000 litros de agua, lo cual es un precio elevado por la cantidad de agua que genera al día una empresa. Es por esto importante generar nuevas estrategias que puedan ser utilizadas para disminuir los costos sin tener la necesidad de modificar el proceso y además se puede realizar una recuperación del plomo de las membranas para las empresas que lo ocupen de nueva cuenta en su proceso.

Metodología

Materiales

El quitosano utilizado, de marca Sigma Aldrich, tiene un grado de desacetilación de 75%. El óxido de sílice (SiO_2) se adquirió de la marca MERK, y cuenta con un tamaño de partícula de 0.040mm-0.063mm. El hidróxido de sodio (NaOH), el sulfato de magnesio ($MgSO_4$), el ácido acético (AcOH) y agua desionizada (H_2O) fueron marca CTR-Cientific.

Preparación

Esterificación del ácido *p*-aminobenzóico. Se pesa 1 g de ácido 4-aminobenzoico, y se coloca en un matraz bola, después se añaden 30ml de metanol y 0.8ml de H_2SO_4 al 1N, se deja la reacción a una temperatura de 80°C y en agitación constante de 800 rpm por 2 horas. Se agrega 5ml de MeOH a la solución y 0.5 ml de una solución de H_2SO_4 1N, se deja a reflujo y agitación de 800 rpm durante 2 horas más. La reacción es monitoreada por TLC y una vez consumida la materia prima, se realiza una neutralización del ácido con 15 ml de una solución de NaOH 1N. Se evapora la solución y se realiza una extracción líquido-líquido con acetato de etilo y agua. La fase orgánica se evapora a presión reducida para obtener el compuesto seco. Se analiza la muestra obtenida mediante el espectrofotómetro de FTIR.

Síntesis de compuestos con tiofenos En un matraz bola se colocan 100 mg (0.061mmol) de *p*-aminobenzoato de metilo y 182 mg (0.132 mmol) de carbonato de potasio (K_2CO_3). Se agrega al matraz 20ml de CH_3CN como disolvente, y se coloca en una parrilla con agitación y temperatura ambiente. Después, se agregan 81.5 µml de cloruro de 2-tiofenoacetilo y se deja con agitación por 2:30 hrs. Se toma una muestra y se monitorea por cromatografía de capa fina. Una vez consumida la materia prima, se realiza una extracción líquido-líquido, posteriormente la fase orgánica se evapora. Se realiza la purificación por cristalización utilizando hexano/CH_2Cl_2 en una proporción 90:10. Los productos se analizan por espectrofotómetro de FT-IR y RMN.

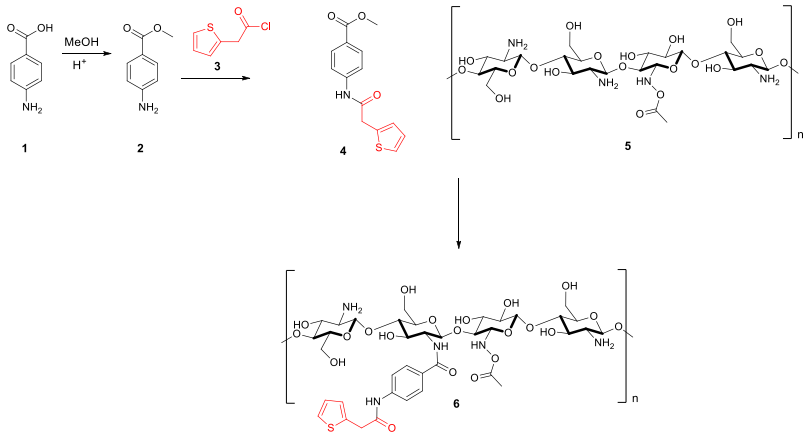
Modificación al quitosano con tiofenos En un matraz bola de 100mL, se pesa 1 gramo de quitosano y se añade 100 ml de solución de ácido acético al 3% y se deja en agitación por 0.5 hrs. Una vez disuelto el quitosano se ajusta el pH entre 7.3-7.5 con hidróxido de sodio al 5N. Al tener este pH, se comienza a agregar 5.7 ml de cloruro de 2-tiofenoacetilo poco a poco manteniendo el mismo pH. Se deja en agitación por 2 hrs y se agrega 300 ml de acetona a la solución. La solución se filtra y los sólidos se lavan con metanol. Se deja secar el papel filtro por 8 hrs a temperatura ambiente. El sólido resultante se analiza por espectrofotómetro de FT-IR.

Resultados y discusión

Síntesis del metil-*p*-aminobenzoato

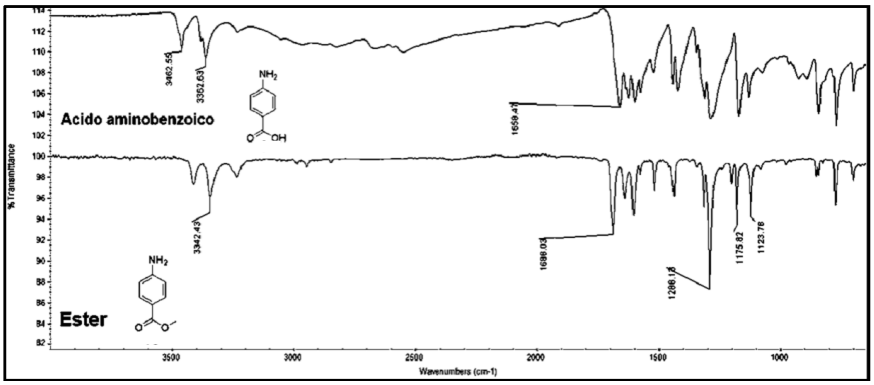
Basándose en la metodología de Lozano [6, 7], se realizó la protección al ácido 4- aminobenzoico (Esquema 1), para generar *p*-aminobenzoato de metilo. Se realizó una modificación a la metodología empleada, en la cual se aumentó la cantidad requerida de MeOH en la reacción, agregando 5 ml extra. El éster se obtuvo con un mayor porcentaje de pureza y redujo su tiempo de reacción a 4 horas.

 ISSN: 2007 8102



Esquema 1. Síntesis propuesta para modificar el quitosano.

Una vez llevada a cabo la reacción, el compuesto obtenido se analizó por espectrofotómetro de FT-IR. En el espectro 1, se observa el grupo carbonilo (C=O) del éster en una longitud de onda de 1688 cm^{-1} que, en comparación con el ácido *p*-aminobenzoico, el cual muestra un desplazamiento hacia una longitud de onda mayor alrededor de 1654 cm^{-1}, lo cual puede ocurrir en la formación de los esteres. Por otro lado, la desaparición del grupo hidroxilo (-OH) del ácido *p*-aminobenzoico en 3462 cm^{-1} y la señal de la vibración del C-H del alcano en 1129 cm^{-1} en el éster nos confirma la formación del éster.

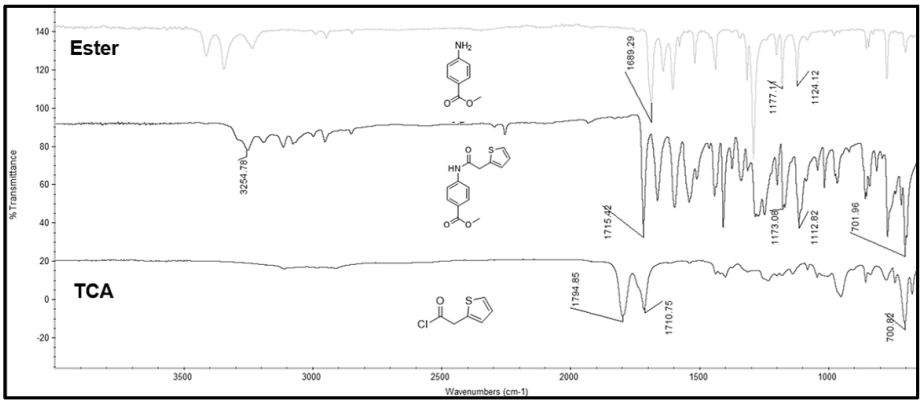


Espectro 1. Comparación de los espectros de IR del éster y el ácido 4-aminobenzoico.

Sustitución del grupo amino y formación del compuesto

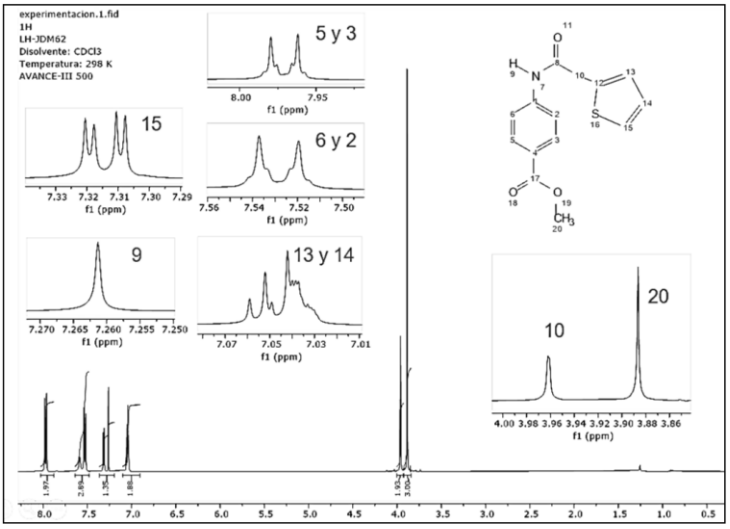
Continuando con la síntesis del compuesto **6,** se hizo reaccionar el compuesto **2** (éster) con el cloruro de 2-tiofenoacetilo (Esquema 1). El cloruro de 2-tiofenoacetico (TCA) al tener un buen grupo saliente, facilito la obtención del compuesto **4** en con 97% de rendimiento. Se realizó la caracterización por FT-IR para su identificación, que se muestra en el espectro 2 donde se observa una señal en 700 cm^{-1} que corresponde a la señal del grupo tiofenos (- C5H3S), en el rango de 1800 cm^{-1} en el espectro del TCA, se observa una señal del grupo cloruro acido (-RCOCl), en el compuesto **4** esta señal no se aprecia, lo cual significa que el cloruro se logró sustituir por el éster y generar el compuesto **4**.

 ISSN: 2007 8102



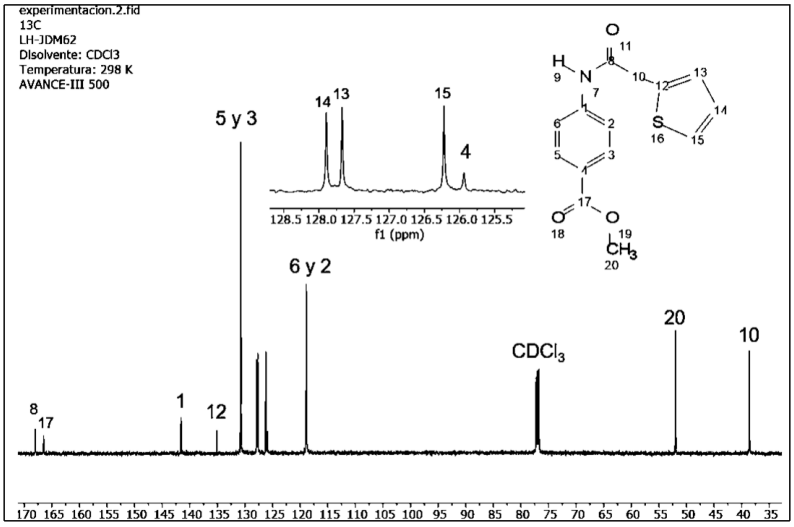
Espectro 2. FT-IR del compuesto 4

Para identificar el compuesto **4**, se caracterizó por ^{1}H-RMN y ^{13}C-RMN (Espectro 3 y 4). Los resultados muestran en el espectro de RMN de protón, una señal simple que integra para 3 hidrógenos con un desplazamiento químico en 3.89 ppm correspondientes al grupo metilo (-CH_3). En 3.96 ppm se encuentra una señal simple que integra para dos hidrógenos, el cual corresponde al etilo (-CH_2-) del cloruro de 2-tiofeno acetilo. Entre 7.01-7.07 ppm se observa una señal multiple que señala a los hidrógenos del carbón 13 y 14 del tiofeno. En 7.26 ppm se observa una señal simple con una integral de un protón, el cual corresponde al grupo amino (-NH_2) del compuesto monosustituido. En el desplazamiento de 7.5-8.00 ppm se observa los hidrógenos aromáticos. La última señal es un multiplete que hace referencia al protón del carbono 15. En la RMN de ^{13}C en 168.8 ppm se observa dos señales simples del grupo carbonilo (-CO). Que corresponde a los carbonos 8 y 17. De 140–135 ppm se observan 2 señales las cuales representa los carbonos 1 y 12 de los anillos aromáticos que se tiene en el compuesto **4**. Además, en 130-120 ppm se aprecia dos señales que se encuentra en la zona de los carbonos de los anillos aromáticos, al ser semejantes solo se espera una señal para los dos carbonos identificados. Finalmente se observa la señal del carbono del grupo metilo (-CH_3) en 52 ppm. En 39 ppm se observa la señal del grupo etilo (-CH_2-). Con base a esta elucidación de estos espectros del compuesto **4** se puede concluir que se trata del compuesto monosustituido.



Espectro 3. RMN de protón del compuesto 4.

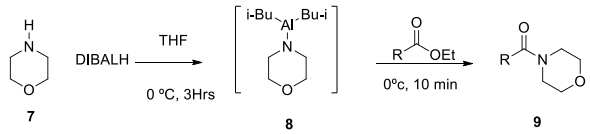
 ISSN: 2007 8102



Espectro 4. RMN de carbono del compuesto 4.

Se intentó realizar una disustitución como en el caso de los compuestos tiocarbonilos, pero a pesar de obtener el compuesto **4** en un buen rendimiento no fue posible reaccionarlo nuevamente con el TCA para generar una doble sustitución. Debido a que al realizar una previa sustitución en el grupo amino del éster e intentar sustituirlo una vez más, este grupo presumiblemente ya no cuenta con la misma nucleofilicidad para poder unirse a otro compuesto además es más difícil lograr la desprotonación de la amina secundaria.

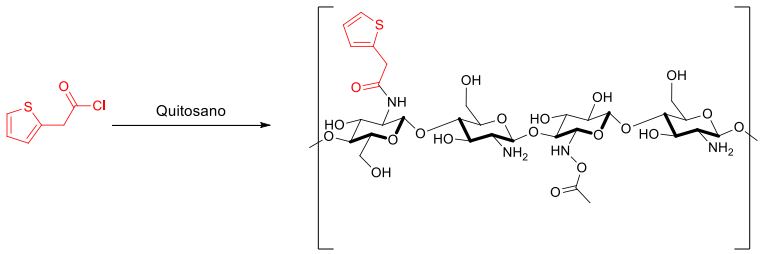
Para el acoplamiento del quitosano con nuestro ester, se planteó la metodología reportada por Jeon [8] y Lozano, [7], donde la morfolina (**7**) es tratada con hidruro de diisobutilalumio (DIBALH) para generar una amina más nucleofílica (8) que en presencia de un éster genera la amida como se observa en el esquema 2.



Basados en esta metodología, se planteó la posibilidad de que el átomo de nitrógeno del quitosano pudiera actuar de una forma similar a la morfolina, y al agregar DIBALH en las condiciones mencionadas en el esquema 10, se logrará formar un intermediario con aluminio en el quitosano para luego reaccionar con los compuestos **4** y tener la funcionalización esperada. Sin embargo al repetir las mismas condiciones no fue posible observar los productos esperados de la reacción, se modificaron varias veces los equivalentes de los reactivos y la temperatura, sin embargo, no se logró observar modificaciones por FT-IR que indicara un cambio en el quitosano.

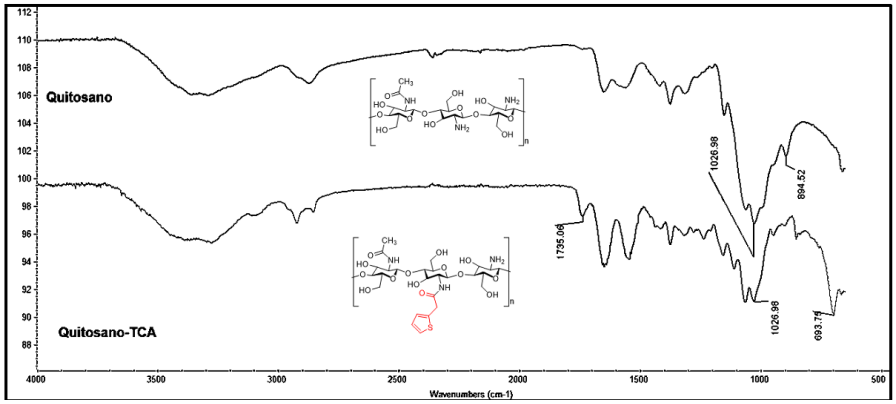
Para incorporar el compuesto **3** al quitosano, se basó en la metodología de Jothimani 2017 [9]. Para este trabajo se tuvo que realizar diferentes modificaciones como la concentración de cloruro de 2-tiofenoacetilo debido al grado de desacetilacion que presentaba el quitosano que se empleó en este trabajo. Para ver un cambio significativo por FT-IR, Se usó proporción 1:7 p/p de quitosano y cloruro de 2-tiofenoacetilo respectivamente para observar las señales donde sí se realizó la modificación. En el espectro 5, se puede observar la señal del quitosano en 1026 cm^{-1} se aprecia nuevamente en el Quitosano-TCA debido que representan las vibraciones de los enlaces carbono-oxígeno. En la señal del Quitosano-TCA se puede observar una banda característica en 1735 cm^{-1} la cual presenta la vibración de un grupo carbonilo y la banda que se observa en una longitud de onda de 701 cm^{-1} es la señal del grupo tiofenos.

 ISSN: 2007 8102



Esquema 2. Modificación del quitosano con TCA.

Con esto, se confirma que la modificación fue con éxito y se logró incorporar el cloruro de 2- tiofenoacetilo al quitosano.



Espectro 5.

Preparación de membranas de quitosano y quitosano modificado

Una vez obtenido el quitosano modificado con tiofeno, se llevó a cabo la preparación de las membranas para lo cual se basó en la metodología descrita por Lozano [8]. Se realizó una modificación al procedimiento para disolver el quitosano usando una solución al 3% de ácido acético. Esto debido que al usar HCl para disolver el quitosano, las membranas reducían su resistencia en la preparación de las cinéticas de adsorción. Una imagen de las membranas generadas se observa en la figura 1.

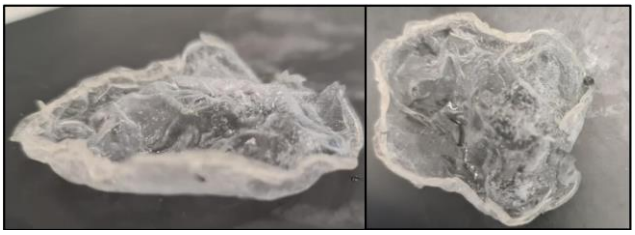


Figura 1. Membranas generadas porosas

Para llevar a cabo las cinéticas de adsorción, se procedió a hacer soluciones de 200 ppm de Pb (II) con diferentes pH (4, 5 y 6). Cada cinética se colocó en un matraz con agitación oscilatoria y se puso en contacto con las membranas. Para evaluar su capacidad de adsorción se tomaron alícuotas en varios intervalos de 30 minutos durante 24 horas. Una vez terminado la prueba, se realizó la cuantificación de plomo mediante un equipo de microondas de plasma (**MP-AES 4100**) y se concluyó que el mejor pH para realizar las cinéticas de adsorción en pH=5.

Conociendo el pH con mejor capacidad de adsorción en membranas de quitosano se realizan nuevamente soluciones de 200 ppm de plomo, pero ahora se hace una comparación con las membranas de quitosano y quitosano modificado con tiofeno (figura 2). En los resultados, se observa como la membrana de quitosano logro

 ISSN: 2007 8102

obtener una capacidad de adsorción de 33 mg/g y la membrana modificada con tiofeno logro aumentar esta capacidad de adsorción hasta 45 mg/g en 24 horas, tal como se muestra en la gráfica de la figura 2 donde se compara las dos membranas generadas. Este resultado nos indica que el carbonilo y el tiofeno favorecen las interacciones con los iones de Pb (II) en comparación con el quitosano.

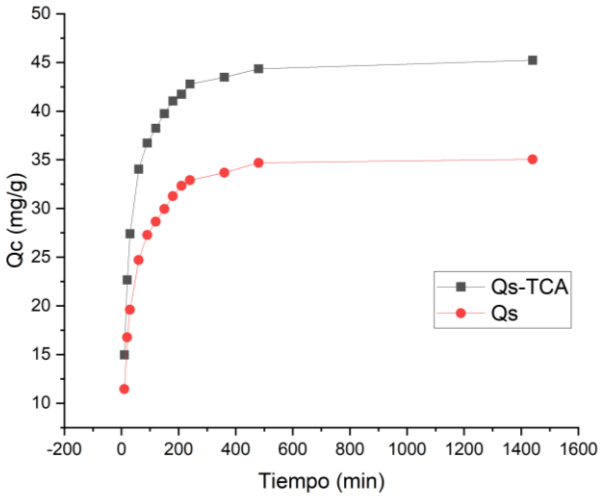


Figura 2. Cinéticas de adsorción del quitosano

Para verificar si se trata de un fenómeno de fisisorción o quimisorción, se hacen los modelos de pseudo primero y segundo orden (figura 3). Al hacer este análisis, se obtuvo la correlación de los datos en el ajuste de pseudo primer orden no hubo una linealidad a comparación de la correlación del ajuste de pseudo segundo orden. En este ajuste hubo una linealidad lo que nos indica que el enlace que hay entre el adsorbato y el adsorbente es fuerte, por lo cual se trata de una quimisorción.

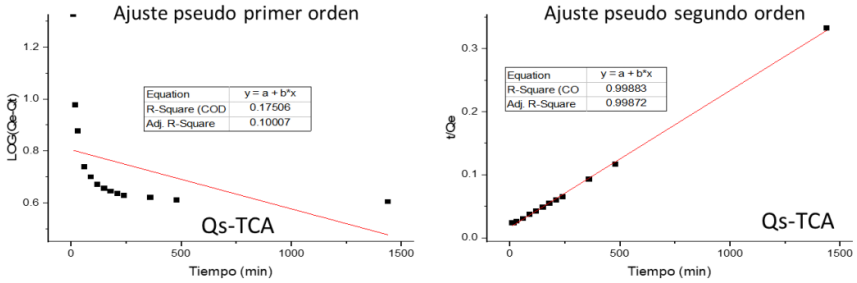


Figura 3. Ajustes de pseudo primer y segundo orden.

Trabajo a futuro

Se está generando otras modificaciones al quitosano para mejorar su capacidad de adsorción. Se seguirá evaluando el átomo de Azufre dentro de las modificaciones.

Conclusiones

Se sintetizo el compuesto 4, sin embargo no se logró generar el acoplamiento con el quitosano, se encontró la forma de realizar la modificación en el quitosano usando el cloruro de 2-tiofenoacetilo. Una vez modificado y caracterizado el quitosano, se lograron encontrar las condiciones ideales para el desarrollo de membranas en un menor tiempo y con las mismas cualidades de la metodología propuesta. Se realizaron las cinéticas de adsorción, donde se logró observar que efectivamente las membranas de quitosano modificado fueron capaces de adsorber

 ISSN: 2007 8102

una mayor cantidad de plomo (II). Esto representa una alternativa interesante para su utilización en depósitos de agua contaminada con metales pesados. Este tipo de membranas por su bajo costo de fabricación y su biodegradabilidad, las hace viables para cualquier empresa ya que no modificaría nada en su proceso. Además de ahorrar costos, ya que no se utiliza energía o fuente para su operación. Las membranas obtenidas, pueden ser utilizadas para realizar nuevos estudios con otros metales pesados, además se puede ampliar su uso en otro tipo de fábricas no solo exclusivamente para tratamiento del plomo

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México/IT Nuevo León por su apoyo para participar en este congreso, así como el apoyo de la convocatoria PROYECTOS DE INVESTIGACIÒN CIENTIFICA 2021-2 clave12284.21P

Referencias

[1] L. Mariana, A. Báez-rodríguez, M. Luna-, and L. Zamora-peredo, “Detección de Arsénico, Mercurio y Plomo en agua : un reto para la tecnología,” *Materia, Ciencia y Nanociencia*, vol. 1, no. 2, pp. 2–12, 2018.

[2] R. Marín, “Contaminantes emergentes y metales pesados en aguas residuales: un caso de estudio,” *Retema*, vol. 193, pp. 68–75, 2016.

[3] A. Covarrubias and J. Cabriales, “Contaminacion abiental por metales pesados en Mexico: problemática y estrategias de fitorremediación,” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 33, pp. 7–21, 2017, doi: https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.esp01.01.

[4] L. H. Sanin, T. González-Cossío, I. Romieu, and M. Hernández-Avila, “Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud,” *Salud Publica de Mexico*, vol. 40, no. 4, pp. 359–368, 1998, doi: 10.1590/s0036-36341998000400009.

[5] Y. C. Reyes, I. Vergara, O. E. Torres, M. Díaz, and E. E. González, “Heavy metals contamination: implications for health and food safety,” *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, vol. 16, no. 2, pp. 66–77, 2016, doi: 10.1007/BF02796157.

[6] J. Lozano, “Adsorción de Plomo (II) usando biocompositos de quitosano y síntesis de análogos de fluoroquinolonas con 2-picolil,” Tecnológico Nacional de Mexico. Instituto Tecnológico de Nuevo León, 2020.
Mikawa, N. Seki, S. Nagaoka, and H. Kawakami, "Structure and gas permeability of asymmetric polyimide membranes made by dry–wet phase inversion: Influence of alcohol as casting solution," *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics,* vol. 45, no. 19, pp. 2739-2746, 2007.

[7] J. Lozano, “Adsorción de Plomo (II) usando biocompositos de quitosano y síntesis de análogos de fluoroquinolonas con 2-picolil,” Tecnológico Nacional de Mexico. Instituto Tecnológico de Nuevo León, 2020.

[8] A. R. Jeon, M. E. Kim, J. K. Park, W. K. Shin, and D. K. An, “Mild and direct conversion of esters to morpholine amides using diisobutyl(morpholino)aluminum: Application to efficient one-pot synthesis of ketones and aldehydes from esters,” *Tetrahedron*, vol. 70, no. 29, pp. 4420–4424, Jul. 2014, doi: 10.1016/j.tet.2014.03.045.

[9] B. Jothimani, S. Sureshkumar, and B. Venkatachalapathy, “Hydrophobic structural modification of chitosan and its impact on nanoparticle synthesis A physicochemical study,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 173, pp. 714–720, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.carbpol.2017.06.041.

 ISSN: 2007 8102

Propiedades fisicoquímicas de botanas extrudidas de mezclas: cáscara de melón/almidón de maíz/aislado proteico de soya

*A. Angeles-Hernández[1], E, Herman-Lara[1], E. J. Ramírez-Rivera[2], J. G. Torruco-Uco[1], J. Rodríguez-Miranda[1]**

*[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Calzada Dr. Víctor Bravo Ahúja, No. 561, Col. Predio el Paraíso, Tuxtepec, Oaxaca, C.P. 68350, México. *jesrodmir@gmail.com; jesus.rm@tuxtepec.tecnm.mx*

[2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Km. 4 carretera S/N Tepetitlanapa. C.P. 95005, Zongolica, Veracruz, México.

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de las mezclas de almidón de maíz, aislado proteico de soya y harina de cáscara de melón sobre algunas propiedades fisicoquímicas de botanas extrudidas. Se evaluó el índice de expansión (IE), la densidad aparente (DA), la textura y el pH. El incremento de la temperatura (p<0.05) disminuyó el IE y la textura, el aumento del contenido de humedad incrementó (p < 0.05) la DA, mientras que, el incremento del contenido de cáscara de melón disminuyó (p<0.05) el pH de los productos obtenidos. Los resultados obtenidos en esta investigación muestran el potencial de la cáscara de melón para la incorporación de esta materia prima en el desarrollo e innovación de nuevos productos con un mayor aporte nutricional.

***Palabras clave**: Cáscara de melón, Cucumis melo, Glycine max, Zea mays.*

Abstract

The objective of this research was to evaluate the effect of mixtures of corn starch, soybean protein isolate and melon rind flour on some physicochemical properties of extruded snacks. The expansion index (IE), apparent density (DA), texture and pH were evaluated. The increase in temperature (p<0.05) decreased the IE and the texture, the increase in the moisture content increased (p < 0.05) the DA, while the increase in the melon peel content decreased (p<0.05) the pH of the products obtained. The results obtained in this research show the potential of the melon peel for the incorporation of this raw material in the development and innovation of new products with a greater nutritional contribution.

***Key words**: Melon peel, Cucumis melo, Glycine max, Zea mays.*

Introducción

En la actualidad se busca la incorporación de nuevas materias primas con mayor valor nutricional que las harinas convencionales para la obtención de botanas extrudidas, como es el caso del almidón de maíz, aislado proteico de soya y cáscara de melón que aportan mayor contenido de proteínas, fibra, vitaminas y minerales. El melón (*Cucumis melo*) es una fruta que contiene ácidos grasos, polifenoles y carotenoides que son compuestos bioactivos que muestran diversas actividades benéficas que pueden mejorar la salud del ser humano [1]. El procesamiento industrial del fruto produce subproductos como es la cáscara de melón, actualmente algunos investigadores han informado niveles más altos de compuestos fenólicos y ácido ascórbico en las cáscaras que en la pulpa de frutas [2,3]. Así mismo, el aislado proteico de soya es una de las principales fuentes de proteínas y esta contiene vitaminas, minerales y flavonoides [4]. Silva et al. [5] describieron el potencial de los subproductos del melón como ingredientes para nuevos alimentos funcionales. Por lo tanto, la importancia de la caracterización de sus propiedades funcionales, así como la elaboración de harinas compuestas para potencializar estos

 ISSN: 2007 8102

beneficios para conocer su posible uso en la industria de alimentos. Una tecnología utilizada en el desarrollo de botanas, es la cocción por extrusión, que tiene los beneficios de desnaturalizar las enzimas indeseables, inactivar algunos factores antinutricionales, mejorar la digestibilidad del almidón y de las proteínas, esterilizar el producto terminado y conservar los colores y sabores naturales de los alimentos. Además, la extrusión es una tecnología que permite crear nuevos productos utilizando ingredientes tradicionales y novedosos para la elaboración de botanas [6]. La extrusión combina varias operaciones unitarias, mezclado, amasado, cocinado, formado, enfriado y/o cortado y la combinación de estas operaciones es posible gracias a la cantidad de variables tales como velocidad de alimentación, humedad, velocidad del tornillo y temperatura siendo esta un parámetro que afecta directamente a las propiedades del nuevo alimento. La variación de temperatura en el proceso de extrusión puede afectar de manera positiva o negativa las características del alimento. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la temperatura de extrusión sobre algunas propiedades fisicoquímicas (índice de expansión (IE), densidad aparente (DA), textura (Tex) y pH de las botanas extrudidas.

Metodología

Materiales

El melón (*Cucumis melo* L.) se adquirió en su etapa de madurez comercial en el mercado local de San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México. El almidón de maíz se adquirió de la Marca ALMEX Almidones Mexicanos, S.A. DE C.V. Calle 26 No. 2756, C.P. 44940, Zona Industrial Guadalajara, Jal., México., con una pureza del 98%. El aislado de proteína de soya fue de la Marca Food Techologies Trading S.A. de C.V. Calle Robles Mz. 63 Lt 8. C.P. 52924. Col. San José del Jaral Atizapán. Edo. de México., con un contenido del 90% de proteínas. Todos los reactivos fueron grado alimenticio o superior.

Obtención de la harina de cáscara de melón

El melón se lavó, y se peló, las cáscaras fueron homogenizadas en grosor y se cortaron en secciones de 1 cm^2. Las cáscaras se secaron a 60 ºC por 10 h, posteriormente se molieron y tamizaron hasta reducir las partículas a un tamaño 0.42 mm (malla 40). La harina se colocó en bolsas de polietileno y fueron selladas y almacenadas a 4 ºC hasta su posterior uso.

Elaboración de los extrudidos

Se utilizó un extrusor de laboratorio de un sólo tornillo marca Brabender (Extruder 19/25DN, Model 832005.007, GmbH y Co. KG, Germany). Se realizó las mezclas de los 30 tratamientos, así también se realizó el ajuste del contenido de humedad de acuerdo con el diseño de experimentos (Tabla 1 y 2), (Los intervalos de las variables estudiadas se establecieron en base a pruebas preliminares (datos no publicados)). La extrusión se realizó a una alimentación de 200 g/min, velocidad de tornillo 200 rpm, fuerza de compresión del tornillo 3:1, diámetro interno del dado de salida de 3 mm y la temperatura del porta-dado varió de 120 a 170 ºC acorde al diseño de experimentos. Posteriormente los extrudidos se secaron a una temperatura de 60 °C por 2 h.

Tabla 1. Variables analizadas en el diseño central conpuesto (niveles alto, medio y bajo)

Variables	Niveles				
	-2	**-1**	**0**	**1**	**2**
T (ºC)	120	132.50	145	157.50	170
CH (%)	16	18.25	20.5	22.75	25
APS/AM (%)	25	28.75	32.5	36.25	40
CM (%)	10	13.75	17.5	21.25	25

α = 2: T = Temperatura, CH = Contenido de humedad, APS/AM = Aislado proteico de soya/almidón de maíz, CM = Cáscara de melón.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Diseño de experimentos empleado.

Trat.	T (°C)	CH (%)	APS/AM (%)	CM (%)
1	132.5	18.25	28.75	13.75
2	157.5	18.25	28.75	13.75
3	132.5	22.75	28.75	13.75
4	157.5	22.75	28.75	13.75
5	132.5	18.25	36.25	13.75
6	157.5	18.25	36.25	13.75
7	132.5	22.75	36.25	13.75
8	157.5	22.75	36.25	13.75
9	132.5	18.25	28.75	21.25
10	157.5	18.25	28.75	21.25
11	132.5	22.75	28.75	21.25
12	157.5	22.75	28.75	21.25
13	132.5	18.25	36.25	21.25
14	157.5	18.25	36.25	21.25
15	132.5	22.75	36.25	21.25
16	157.5	22.75	36.25	21.25
17	120.0	20.50	32.50	17.50
18	170.0	20.50	32.50	17.50
19	145.0	16.00	32.50	17.50
20	145.0	25.00	32.50	17.50
21	145.0	20.50	25.00	17.50
22	145.0	20.50	40.00	17.50
23	145.0	20.50	32.50	10.00
24	145.0	20.50	32.50	25.00
25-30*	145.0	20.50	32.50	17.50

* Corridas 25-30 puntos centrales; Trat. = Tratamiento, T = Temperatura, CH = Contenido de humedad, APS/AM = Aislado proteico de soya/almidón de maíz, CM = Cáscara de melón.

Propiedades fisicoquímicas evaluadas

Determinación del índice de expansión (IE)

El IE se calculó con la medida del diámetro de 10 mediciones aleatorias con un Vernier (Science Purchase, 0604CAL6, USA) de los productos extrudidos sobre el diámetro interno del dado de salida [6].

Determinación de la densidad aparente (DA)

Se midió el diámetro y la longitud de las muestras aleatoriamente para calcular DA por la Ec. 1

$$\mathbf{DA} = \boldsymbol{pm}/(\boldsymbol{\pi}\left(\frac{\boldsymbol{d}}{2}\right)^{\mathbf{2}}\boldsymbol{L}) \qquad \text{Ec 1.}$$

Donde: diámetro *d* (cm), longitud *L* (cm), peso de extrudido *pm* (g) [6].

Determinación de textura y pH.

La textura se determinó midiendo la fuerza máxima para romper las muestras extrudidas, utilizando un Texturómetro universal (Texture Analyser TA-XT plus, Stable Micro Systems). El pH se midió dispersando 1 g de muestra en 10 mL de agua destilada.

Diseño de experimentos y análisis estadístico

Los resultados fueron expresados como el valor promedio de minimo tres determinaciones. Se usó un diseño de experimentos central compuesto con cuatro variables independientes: temperatura de extrusión (120-170 °C), contenido de humedad (16-25%), aislado proteico de soya/almidón de maíz (25-40%), harina de cáscara de melón

 ISSN: 2007 8102

(10-25%) (Tabla 1 y 2). Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía y una prueba de diferencia minina significativa (LSD) para determinar la diferencia significativa entre tratamientos. Los resultados fueron analizados por regresión lineal múltiple. La significancia estadística de los términos de la regresión se examinó utilizando un ANDEVA para cada respuesta.

Resultados y discusión

Índice de expansión (IE)

El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales del IE mostró un valor del coeficiente de determinación (R^2) = 0.94 (Tabla 3). El modelo de regresión fue significativo (p<0.05), lo que indica la validez de la ecuación para predecir la respuesta. El intervalo de IE fue de 1.6 - 2.12 (Tabla 2) el mayor IE corresponde al T1 con APS/AM%, 28.75%, 13.75% de CM, humedad de alimentación 18.5% y temperatura de extrusión 132.5 °C. El coeficiente de regresión de la IE muestra efecto significativo (p<0.05) en el término lineal para la temperatura con efecto negativo y APS/AM efecto positivo (Tabla 3). En términos cuadrático presentan efecto significativo (p<0.05) negativo el APS/AM^2 y para la interacción CH-APS/AM presentan efecto significativo positivo (p<0.05). Esto indica que el contenido de APS/AM en concentraciones 28 - 42% y la temperatura 110 -150 °C favorecen el aumento del IE, sin embargo, las temperaturas 150 - 180 °C y el contenido de APS/AM 24 - 28% disminuyen el IE (Figura a). El desenso de la expansión es significativamente a medida que se incrementó la temperatura. Esto se debe a que la temperatura determina la presión de vapor de la humedad y, por tanto, el grado de hinchamiento, asi como la composión quimica de la muestra [7]. El incremento de APS/AM en la mezcla disminuye el contenido de almidón, por lo tanto, una menor expansión. Las proteínas afectan la expansión debido a su capacidad para afectar la distribución del agua en la matriz y su conformación y estructura macromolecular, lo que afecta las propiedades extensionales de las masas fundidas extrudidas [8], y esto depende del tipo de proteínas y su concentración, así como de la interacción con el almidón presente en la mezcla, disminuyendo la expansión de las cadenas de amilopectina e inhibiendo la liberación de contenido de agua, disminuyendo así la expansión y aumentando la densidad [9].

Densidad aparente

La DA está directamente relacionada con el grado de expansión que se produce durante la extrusión [6, 10]. El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales de DA mostró un valor del coeficiente de correlación (R^2) = 0.94 (Tabla 4), el modelo de regresión fue significativo (p<0.05), lo que indica la validez de la ecuación para predecir la respuesta. En la Tabla 3 se muestra el intervalo de la DA entre 0.31 - 0.52 g/cm^3. El de menor DA fue de 0.31 g/cm^3 que corresponde al T6, APS/AM = 36.25%, CM = 13.75%, con un contenido de humedad 18.25% y extrudido a una temperatura de 157.5 °C. Los coeficientes de regresión de la DA (Tabla 4) las variables que presentaron efecto significativo negativo (p<0.05) en términos lineales son temperatura y efecto positivo CH y APS/AM. En términos cuadráticos presentan efecto positivo el CH^2 y APS/AM^2. La interacción APS/AM-CM muestra efecto significativo (p<0.05) positivo. Esto indica que temperaturas de 110-180 °C y los contenidos de humedad por arriba de 18% aumenta la densidad de los extrudidos, sin embargo, humedades menores a 18% favoreció la menor densidad de los extrudidos (Figura b). Este comportamiento encontrado en esta investigación puede deberse a que la presencia de alta cantidades de proteína inhibe el crecimiento de las burbujas de aire en productos extruidos, disminuyendo así el número de burbuja de aire y aumento de la densidad del producto [11], así como la presencia de fibras, que tienden a romper las paredes celulares ante las burbujas de gas. Puede expandirse a su potencial máximo disminuyendo en la relación de expansión por la adición de productos ricos en fibra [9, 12].

 ISSN: 2007 8102

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas de extrudidos.

ID	IE	DA (kg/m^3)	Textura (N)	pH
T1	**2.12± 0.09^{l}**	0.37±0.05^{bcd}	22.68 ± 4.90^{abc}	6.55 ± 0.10^{d}
T2	1.99± 0.08^{hij}	0.33±0.04^{ab}	28.76 ± 7.38^{abcde}	6.27 ± 0.46^{bcd}
T3	1.87± 0.09^{cdefg}	0.51±0.06^{op}	27.37 ± 7.14^{abcde}	6.51 ± 0.16^{cd}
T4	1.60± 0.08^{a}	0.47±0.03^{klmno}	30.16 ± 9.53^{bcde}	6.52 ± 0.11^{cd}
T5	2.05±0.05^{jkl}	0.37±0.02^{bcd}	31.67 ± 8.59^{cde}	6.41 ± 0.03^{bcd}
T6	1.95±0.04^{ghi}	**0.31±0.02^{a}**	31.31 ± 5.47^{bcde}	6.59± 0.13^{d}
T7	2.02±0.09^{ijk}	0.42±0.05^{efghij}	26.63 ± 6.75^{abcde}	6.70± 0.15^{d}
T8	1.68±0.11^{ab}	0.43±0.04^{ghijkl}	26.50 ± 7.06^{abcde}	6.59 ± 0.20^{d}
T9	2.03±0.08^{ijkl}	0.41±0.05^{defghij}	25.51 ± 5.38^{abcd}	6.41 ± 0.32^{bcd}
T10	1.84±0.04^{cdef}	0.40±0.02^{defghi}	23.93 ± 6.81^{abc}	6.16 ± 0.26^{abcd}
T11	1.81±0.07^{cd}	0.49±0.04^{mnop}	26.53 ± 11.53^{abcde}	6.19 ± 0.25^{abcd}
T12	1.62±0.06^{a}	0.47±0.04^{klmno}	26.91 ± 6.43^{abcde}	6.33 ± 0.05^{bcd}
T13	1.95±0.06^{ghi}	0.42±0.06^{fghijk}	**36.09 ± 5.52^{e}**	6.27 ± 0.14^{bcd}
T14	1.78±0.05^{bc}	0.41±0.03^{defghij}	26.63 ± 6.32^{abcde}	6.35 ± 0.05^{bcd}
T15	1.78±0.08^{bc}	0.49±0.04^{mnop}	30.50 ± 7.44^{bcde}	6.51 ± 0.18^{cd}
T16	1.62±0.09^{a}	0.49±0.04^{nop}	22.85 ± 6.66^{abc}	6.40 ± 0.06^{bcd}
T17	1.98±0.05^{hij}	0.48±0.03^{lmnop}	35.32 ± 10.15^{de}	6.51 ± 0.18^{cd}
T18	1.62±0.05^{a}	0.44±0.03^{gijklm}	**18.95 ± 6.16^{a}**	6.38 ± 0.10^{bcd}
T19	2.09±0.05^{kl}	0.30±0.02^{hijklm}	26.38 ± 6.53^{abcde}	5.79 ± 0.09^{ab}
T20	**1.65±0.04^{a}**	**0.52±0.04^{p}**	24.97 ± 10.76^{abc}	**5.59 ± 0.29^{a}**
T21	1.83±0.07^{cdef}	0.45±0.04^{jklmn}	24.34 ± 3.38^{abc}	5.88 ± 0.23^{abc}
T22	1.87±0.09^{cdefg}	0.43±0.03^{ghijkl}	28.45 ± 9.05^{abcde}	6.41 ± 0.26^{bcd}
T23	2.00±0.11^{hijk}	0.34±0.04^{abc}	26.63 ± 7.12^{abcde}	6.64 ± 0.40^{d}
T24	1.62±0.09^{a}	0.45±0.03^{jklmn}	25.26 ± 8.38^{abc}	6.32 ± 0.09^{bcd}
T25	1.85±0.08^{cdef}	0.39±0.04^{defgh}	21.51 ± 4.25^{ab}	6.49 ± 0.11^{cd}
T26	1.91±0.08^{efgh}	0.37±0.04^{bcde}	24.39 ± 5.75^{abc}	6.49 ± 0.06^{cd}
T27	1.96±0.08^{ghij}	0.39±0.04^{defg}	24.18 ± 5.13^{abc}	**6.77 ± 0.41^{d}**
T28	1.92±0.05^{fgh}	0.39±0.03^{cdefg}	23.11 ± 5.36^{abc}	6.49 ± 0.02^{cd}
T29	1.88±0.06^{defg}	0.38±0.03^{cdef}	23.31 ± 6.31^{abc}	6.66 ± 0.06^{d}
T30	1.82±0.07^{cde}	0.44±0.02^{ijklm}	28.31 ± 8.94^{abcde}	6.69 ± 0.12^{d}

T = Tratamiento, IE = Índice de expansión, DA = Densidad aparente. Letras iguales en la misma columna indican diferencias significativas (p<0.05). Numeros en negritas máximos y mínimos.

Textura (Tex)

El modelo de regresión mostró un valor de coeficiente de determinación de R^2 = 0.74 (Tabla 4) el modelo de regresión fue significativo (p<0.05), lo que indica la validez de la ecuación para predecir la respuesta. El intervalo de Tex (N) osciló entre 18.95 - 36.09 N (Tabla 3). La menor Tex fue de 18.95 N que corresponde al T18, APS/AM 32.5%, CM = 17.5%, 20.5% contenido de humedad y temperatura 170 °C. Los coeficientes de regresión de la Tex muestran (Tabla 4) que la T presentó un efecto negativo (p<0.05) lineal, también la T presentó efecto negativo (p<0.05) en término cuadrático, la interacciones T-APS/AM, T/CM y CH-APS/AM presentaron efecto negativo (p<0.05). Esto indica que el incremento de la temperatura de 120-180 °C y una relación de APS/AM de 36-42% aumenta la dureza de los extrudidos, sin embargo, contenidos de APS/AM 24-36% y temperatura de 110 - 120 °C disminuyó la dureza de los extrudidos como se puede observar en la Figura c. Al aumentar la temperatura se obtienen extrudidos más quebradizos los cuales presentan menor valor de textura debido a que también se reduce la disponibilidad de agua, mientras que, a temperaturas menores y con relaciones de aislado proteico/almidón de maíz, se favorece la gelatinización y la interacción de proteína y fibra para formar una red tridimensional más ordenada de modo que se obtienen extrudidos con mayor resistencia a la ruptura [9].

 ISSN: 2007 8102

Tabla 4. Coeficientes de regresión de las propiedades fisicoquímicas de botanas extrudidas

Coeficientes		IE	DA	Tex	pH
	Intercepto	**1.89***	**0.39***	**24.14***	**6.60***
Lineal	**T**	**-0.09***	**-0.01***	**-1.78***	-0.03
	CH	-0.02	**0.02***	0.99	0.00
	APS/AM	**0.11***	**0.05***	-0.50	0.01
	CM	-0.00	0.00	0.63	**-0.19***
Cuadrático	**T^2**	0.00	-0.01	**1.19***	0.08
	CH^2	-0.01	**0.01***	0.81	-0.07
	APS/AM^2	**-0.07***	**0.03***	-0.37	**-0.09***
	CM^2	-0.02	0.00	0.70	0.01
Interacción	**T-CH**	0.02	0.00	0.04	0.01
	T-APS/AM	0.00	0.00	**-1.58***	0.03
	T-CM	0.01	0.01	**-1.67***	0.00
	CH-APS/AM	**0.03***	- 0.01	**-1.83***	0.03
	CH-CM	0.01	- 0.01	-0.10	- 0.02
	APS/AM-CM	0.02	**0.01***	0.38	0.00
	R^2	0.94	0.94	0.74	0.73

*Números en negritas indican coeficientes significativos (p<0.05). IE = Índice de expansión, DA = Densidad aparente, Tex = textura. T = Temperatura; CH = Contenido de humedad, APS/AM = Aislado proteico de soya/almidón de maíz, CM = Cáscara de melón.

pH

El pH de los extrudidos se encontró entre 5.59 a 6.77 (Tabla 2). El valor más alto se encontró en el T27 que corresponde a APS/AM%, 32.5%, 17.5% de CM, humedad de alimentación 20.5% y temperatura de extrusión 145 °C (Tabla 1). Mientras que, el valor más bajo corresponde al T20 APS/AM%, 32.5%, 17.5% de CM, humedad de alimentación 25% y temperatura de extrusión 145 °C. El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales del pH mostró un valor del R^2 = 0.73, el modelo de regresión fue significativo (p<0.05). El coeficiente de regresión CM mostró efecto significativo (p<0.05) negativo sobre el pH (Tabla 3). En términos cuadráticos la relación APS/AM^2 presentó efecto significativo (p<0.05) negativo. En la Figura d, se puede observar que al incrementar el contenido de CM el pH disminuye, aunque la temperatura y contenido de humedad no son significativos según el modelo, también pueden afectar sobre esta respuesta.

Trabajo a futuro

El conocimiento de las evaluaciones realizadas en esta investigación, además de la determinación de la composición química, la capacidad antioxidante y evaluación sensorial permitirá seleccionar el extrudido con las mejores características.

 ISSN: 2007 8102

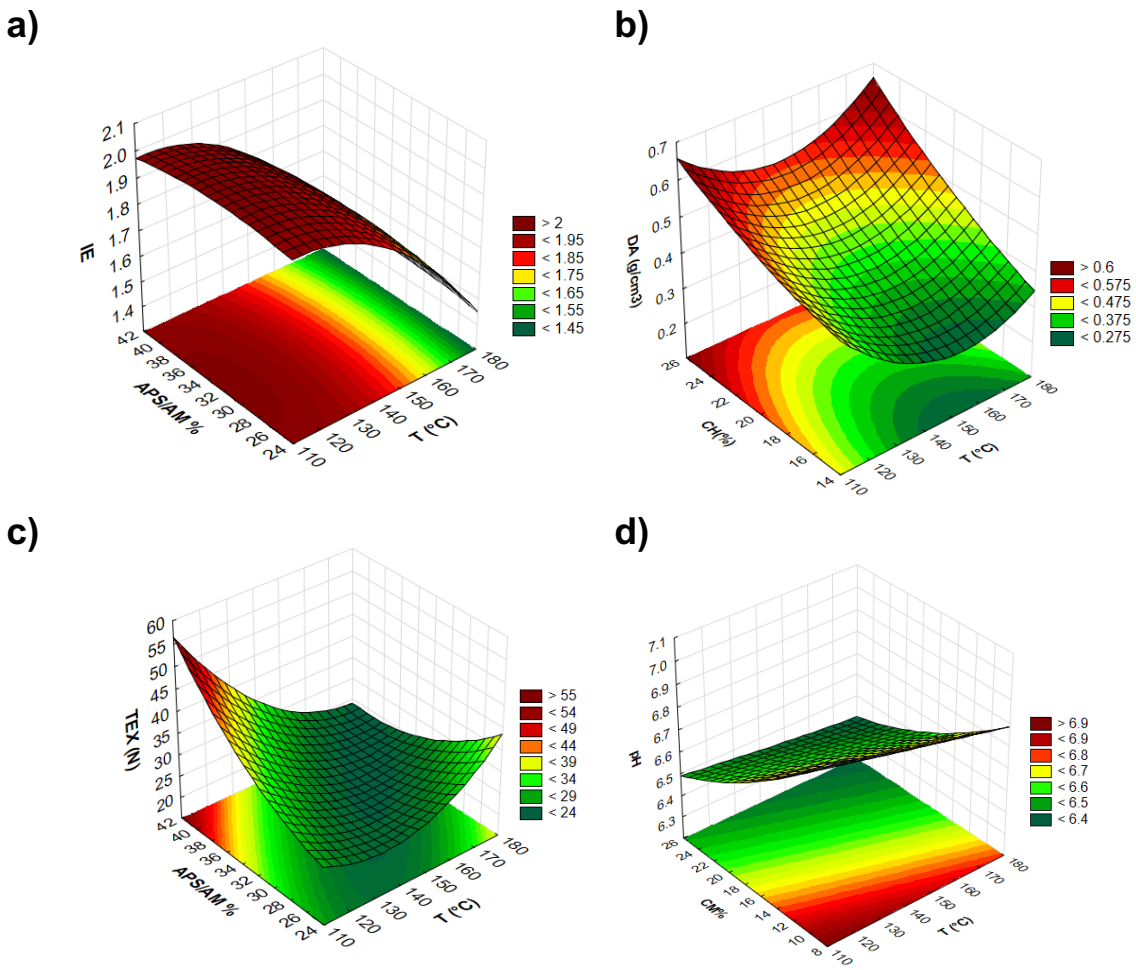


Figura 1. Efecto las variables estudiadas sobre a) índice de expansión (IE), b) Densidad aparente (DA), c) Textura (TEX), d) pH.

Conclusiones

Las variables independientes del proceso de extrusión; temperatura de extrusión, contenido de humedad, aislado proteico de soya/almidón de maíz, cáscara de melón presentaron efecto sobre las propiedades fisicoquímicas de los extrudidos. El incremento de la temperatura disminuyó el índice de expansión y la textura, temperaturas de 110-180 °C y contenidos de humedad por arriba del 18% aumenta la densidad de los extrudidos. Sin embargo, humedades menores a 18% favorecen la menor densidad de los extrudidos, el incremento del contenido de cáscara de melón disminuye el pH de los extrudidos.

Referencias

[1] R. Gómez-García, D. A. Campos, C. N. Aguilar, A. R. Madureira and M. Pintado, “Valorization of melon fruit (*Cucumis melo* L.) by-products: Phytochemical and biofunctional properties with emphasis on recent trends and advances”. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 99, pp. 507-519. 2020.

[2] V. Goulas and G. A. Manganaris, “Exploring the phytochemical content and the antioxidant potential of Citrus fruits grown in Cyprus.” *Food Chemistry*, vol. 131, pp. 39-47. 2012.

[3] S. Mallek-Ayadi, N. Bahloul and N. Kechaou, “Characterization, phenolic compounds and functional properties of *Cucumis melo* L. peels.” *Food chemistry*, vol. 221, pp. 1691-1697. 2017.

 ISSN: 2007 8102

[4] E. Agama-Acevedo, E. Juárez-García, S. Evangelista-Lozano, O. L. Rosales-Reynoso, and L. A. Bello-Pérez, “Characteristics of maize starch and relationship with its biosynthesis enzymes”. *Agrociencia (Montecillo)*, vol. 47, no. 1, pp.1-12, 2013.

[5] M. A. Silva, T. G. Albuquerque, R. C. Alves, M. B. P. Oliveira and H. S. Costa, “Melon (*Cucumis melo* L.) byproducts: Potential food ingredients for novel functional foods?” *Trends in Food Science & Technology*, vol. 98, pp.181-189. 2020.

[6] R. O. Navarro-Cortez, B. Hernández-Santos, C. A. Gómez-Aldapa, J. Castro-Rosas, E. Herman-Lara, C. E. Martínez-Sánchez, and J. Rodríguez-Miranda, “Development of extruded ready-to-eat snacks using pumpkin seed (*Cucurbita pepo*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends”. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 15, no. 2, pp 409-422, 2016.

[7] S. Korkerd, S. Wanlapa, C. Puttanlek, D. Uttapap, and V. Rungsardthong, “Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products”. *Journal of food science and technology*, vol. 53, no. 1, pp. 561-570, 2016.

[8] S. L. Amaya-Llano, N. M. Hernández, E. C. Tostado, and F. Martínez-Bustos, “Functional characteristics of extruded blends of whey protein concentrate and corn starch”. *Cereal chemistry*, vol. 84, no. 2, pp. 195-201, 2007.

[9] M. I. Rivera-Mirón, J. G. Torruco-Uco, R. Carmona-García, and J. Rodríguez-Miranda, “Optimization of an extrusion process for the development of a fiber-rich, ready-to-eat snack from pineapple by-products and sweet whey protein based on corn starch”. *Journal of Food Process Engineering*, vol. 43, no. 11, pp. e13532, 2020.

[10] J. Rodríguez-Miranda, B. Ramírez-Wong, M. A. Vivar-Vera, A. Solís-Soto, C. A. Gómez-Aldapa, J. Castro-Rosas, H. Medrano-Roldan, and E. Delgado-Licon, “Effect of bean flour concentration (*Phaseolus vulgaris* L.), moisture content and extrusion temperature on the functional properties of aquafeeds”. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 13, no. 3, pp. 649-663, 2014.

[11] I. Paraman, S. Supriyadi, M. E. Wagner, and S. S. Rizvi, “Prebiotic fibre-incorporated whey protein crisps processed by supercritical fluid extrusion”. *International Journal of Food Science y Technology*, vol. 48, no. 10, pp. 2193-2199, 2013.

[12] M. M. Selani, S. G. C. Brazaca, C. T. dos Santos-Dias, W. S. Ratnayake, R. A., Flores, and A. Bianchini, “Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement”. *Food chemistry*, vol.163, pp. 23-30. 2014.

 ISSN: 2007 8102

Caracterización tecnofuncional de polvos obtenidos a partir de residuos de yaca *(Artocarpus heterophyllus L)*.

María de la Luz Sánchez Mundo[1], Johan Alfredo Marín Quiroz[1], Vicente Espinosa Solís[2], Rocio G. Hernández Nava[3], Ma. de la Paz Salgado Cruz[4]*

[1]Tecnológico Nacional de México/ITS de Las Choapas, Carretera Las Choapas-Cerro de Nanchital km 6.0 Col. J. Mario Rosado, correo[1] sanchez_mundo@hotmail.com,*

[2]Coordinación Académica Región Huasteca Sur, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Km 5, Carretera Tamazunchale-San Martín, Tamazunchale, 79960, San Luis Potosí, México, correo[2] vicente.espinosa@uaslp.mx

[3]Escuela Superior de Nutrición y Ciencia de los Alimentos Campus Llano Largo, Universidad Autónoma de Guerrero, Carretera Cayaco-Puerto Márquez Parcela 56,57 y 58, Acapulco 39906, Guerrero, México, correo[3]: rociouagro@gmail.com

[4]Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Ingeniería Bioquímica, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Zacatenco, Av. Wilfrido Massieu 399, Col. Nueva Industrial Vallejo, C.P. 07738 Alcaldía Gustavo A. Madero, CDMX, México, correo[4]: msalgado@ipn.mx

sanchez_mundo@hotmail.com
***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

La yaca (*Artocarpus heterophyllus* L.) es una fruta exótica con propiedades antioxidante, antihipertensiva, etc.; poco se sabe de los residuos de semilla y el bagazo (perianto). El objetivo del trabajo fue obtener polvos de la semilla (con cáscara y sin cáscara) y bagazo de yaca, se evaluaron los parámetros de pH, humedad, color, acidez titulable, propiedades tecno-funcionales y viscosidad. Los polvos obtenidos presentaron 10% humedad como máximo y 1.92-6.72% de acidez. Se detectaron diferencias significativas en el parámetro L en los polvos de semilla y de bagazo, así como en la capacidad de retención de aceites en el polvo de semilla con cáscara. No se detectaron diferencias significativas en la capacidad de hinchamiento de los polvos de bagazo, semilla con cáscara y semilla sin cáscara. Los polvos obtenidos a partir de los residuos de yaca pueden ser una alternativa de uso en diversas matrices alimentarias.

***Palabras clave**: bagazo, semilla, propiedades tecnofuncionales, viscosidad.*

Abstract

Jackfruit (Artocarpus heterophyllus L.) is an exotic fruit with antioxidant, antihypertensive, etc.; Little is known about seed residues and bagasse (perianth). The objective of the work was to obtain powders from the seed (with shell and without shell) and jackfruit bagasse, their evaluation of pH, humidity, color, titratable acidity, techno-functional properties and viscosity. The powders obtained presented values lower than 10% humidity and 1.92-6.72% acidity. Significant differences were detected in the L parameter in the seed and bagasse powders, as well as in the oil retention capacity in the shell seed powder. No significant differences were detected in the swelling capacity of bagasse, shelled seed and shelled seed powders. Powders obtained from jackfruit residues can be an alternative for use in various food matrices.

***Key words**: bagasse, seed, technofunctional properties, viscosity.*

Introducción

En la cadena productiva de diversas materias primas de la agroindustria se generan residuos en forma de piel, semillas, suero, líquido residual y bagazos que no son utilizados, siendo un problema de manejo y de costos. Estos residuos agrícolas generalmente son destinados para alimentación animal o como fertilizantes, además de

 ISSN: 2007 8102

estar disponibles, a bajo costo y que pueden ser transformados en productos de valor agregado por la presencia de componentes nutritivos como carbohidratos, proteínas y vitaminas [1]. Con el incremento de la demanda de alimentos, es necesario aprovechar al máximo el total de los recursos incluyendo los residuos por el beneficio de sus compuestos bioactivos, principalmente en aquellos de origen vegetal; la valorización de residuos sigue siendo una tendencia en la investigación para el desarrollo de nuevos alimentos funcionales.

La yaca *(Artocarpus heterophyllus L)* es una fruta de origen asiático con muchas potencialidades en su aprovechamiento, no solo por la pulpa de la cual se han reportado diversos estudios [2] sino por los residuos generados en su consumo. Existen reportes que indican que alrededor del 70 a 80% de la yaca consiste en residuos y subproductos, las semillas ocupan del 12-14% del fruto, la corteza, núcleo central y perianto representan alrededor del 55 al 60% de fruto [3-4]. Estos últimos representan el mayor porcentaje del peso total del fruto, lo que se traduce a toneladas de residuos que pueden ser una alternativa de obtención de compuestos bioactivos. El fruto de la yaca es una importante fuente de compuestos bioactivos como las proteínas y fibra dietética, los cuales han mostrado bioactividades tipo antioxidante, antihipertensiva, antibacteriana, antitumoral, antiinflamatoria, entre otros [1, 5]. La pulpa de yaca se ha utilizado como harina en distintas formulaciones de galletas con bajo índice glucémico, utilizando diferentes proporciones de harina de yaca fortalecida con harina de quinua, detectándose que la incorporación de 60% de harina de yaca presentó la mayor aceptabilidad por parte de los panelistas, la harina presentó un alto contenido en fibra (19.21%) pero con una menor cantidad de carbohidratos y con bajo índice glucémico [2]. Por otra parte, debido a sus propiedades gelificantes y térmicas, se han elaborado panes [6-7] modificando las características de los productos elaborados; de igual forma se ha sugerido su uso en la preparación de frituras [8] y en helados [9]. En aceite esencial y extractos de semillas de yaca se han reportado actividad antibacteriana y antioxidante en pruebas de vida útil en cárnicos [10].

La semilla de yaca contiene un 15.23% de proteínas [11] superior hasta en un 90% con respecto a otros frutos como carambola, cereza y mango [12], la cantidad de fibra en la pulpa de yaca es similar a lo reportado en cerezas y papas [11]. Las semillas de yaca además de fibra contienen vitaminas del complejo B y debido a su alto contenido de fibra contribuyen en la disminución de enfermedades cardiacas y promueven la pérdida de peso, de igual forma debido a la presencia de almidón resistente en las semillas, promueven el control de los niveles de azúcar en sangre y mantienen la salud intestinal. Las semillas contienen una lectina importante llamada jacalina la cual es útil para evaluar el sistema inmune en personas con VIH [5]. Los bulbos de la yaca están separados en compartimentos de filamentos similares a látex llamados “harapos” o perianto de los cuales existen escasos reportes al respecto de su uso, pero se sabe que esta porción consiste en alrededor de 25% del peso total del fruto [13].
Por lo anterior expuesto, en el presente trabajo se tiene como objetivo aprovechar los residuos de yaca (semilla y bagazo (perianto) como una alternativa para la formulación de alimentos funcionales y aprovechar sus propiedades bioactivas aún presentes en este tipo de residuos. Se obtuvieron polvos a los cuales se les determinaron algunas propiedades fisicoquímicas y funcionales para evaluar su potencial aplicación en el desarrollo de nuevos alimentos y fomentar el consumo de este fruto exótico con diversas propiedades bioactivas.

Metodología

Diseño experimental

Se utilizó un análisis estadístico completamente al azar. Todas las pruebas se realizaron por triplicado en cada una de las harinas. Los datos fueron analizados y procesados con el paquete estadístico Minitab 18 (Minitab, Inc. 2010) [14] aplicando el análisis de varianza (ANDEVA) de una vía y la prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$).

Materiales

Los frutos de yaca (*Artocarpus heterophyllus L*) se recolectaron en el lote 5 ubicado en Carretera Las Choapas-Cerro de Nanchital Km 6.0 Col. J. Mario Rosado, C.P. 96980. Las Choapas, Ver. México. Se seleccionaron los frutos maduros en buen estado, sin sobremaduración, malformaciones del fruto, pedúnculo y/o pudriciones.

Acondicionamiento del fruto

Los frutos se lavaron con agua corriente y jabón para eliminar posibles cuerpos extraños y se aplicó ácido peracético ($C_2H_4O_3$) marca Mindelh S.A de C.V como biocida. Los frutos limpios fueron despulpados y se extrajeron las semillas rodeadas por el perianto, las cuales fueron desinfectadas con un Microbicida comercial marca Microdyn S.A de C.V.

 ISSN: 2007 8102

Obtención de polvos
El bagazo (partes del perianto fresco y anillo del sincarpo) y las semillas se secaron en un horno (Novatech HS60-AIA, Jalisco, México) durante 24 h a 40°C para eliminar la humedad. Las muestras se pulverizaron usando un molino de café eléctrico (T-Fal, Mod.GT2035MX, China) y posteriormente los polvos fueron tamizados en una malla de 100 mesh para obtener un polvo fino y homogéneo. El rendimiento de los polvos fue determinado en relación al peso de la semilla y bagazo frescos y el peso de la semilla y bagazo después del secado.

Determinación de humedad
Se evaluó el parámetro de humedad en los polvos como un factor importante de predicción de vida de anaquel. Para la determinación de humedad se utilizó un analizador de humedad (Ohaus Modelo BL-MB23ZH, USA). El método se realizó por triplicado utilizando 3 g de cada muestra en el platillo al interior donde la acción del calor y la circulación de aire evaporó la humedad de la muestra resultando en un diferencial de peso inicial, con el peso final de la muestra deshidratada, ésta convierte en una proporción (%) de humedad contenida [15].

Acidez titulable
Como un indicativo del grado de deterioro en los polvos se determinó el contenido de acidez como % de ácido cítrico por gramo de las diferentes muestras de polvo. Se realizó por titulación con NaOH 0.1 N (Golden Bell ®) de acuerdo con el método de AOAC [16].

Determinación de color
Para analizar la colorímetría de los polvos obtenidos durante el procesamiento de las muestras de semillas y bagazo se evaluaron los parámetros de color CIELAB L* a y b en un equipo Hunter Color Measuring System UltraScan Vis (Lanscan, XE, Hunter Lab, Inc., USA). El promedio de seis valores fue tomado para cada corrida de muestras.

PROPIEDADES TECNOFUNCIONALES DE LOS POLVOS
Capacidad de Retención de Aceite (CRAc)
Se evaluó la capacidad de retención de aceites con la finalidad de conocer el uso potencial de los polvos de yaca, debido a que las harinas de semillas son útiles potencialmente en la interacción estructural en los alimentos. A 1 g de polvo se le adicionaron 10 mL de aceite de girasol y se mantuvieron en agitación en una parrilla (Science Me, Mod. H550-PRO, Finlandia) durante 30 min. Posteriormente, la mezcla se centrifugó (crmGlobe®, Centrificient II, México) a 4750 rpm durante 30 min y al finalizar se midió el volumen del sobrenadante. Por diferencia entre el volumen inicial de aceite y el volumen recuperado se determinó la capacidad de retención de aceite la cual fue expresada en mL/g [17].

Capacidad de Hinchamiento (CH)
Se realizó la evaluación de la capacidad de hinchamiento ya que es un parámetro que se puede utilizar como un indicativo del grado de modificación de los almidones por tratamientos termomecánicos. Se colocaron 2.5 g de muestra en una probeta graduada y se le adicionaron 30 mL de agua, la mezcla se agitó manualmente y se dejó en reposo 24 h a temperatura ambiente, finalmente se midió el volumen final (Vf) de la muestra en mL. El resultado de la capacidad de hinchamiento se obtuvo aplicando la ecuación (1).

$$CH = Vf\ (mL)\ (g) \qquad \text{Ec. (1)}$$

Donde:
Vf: volumen final de muestra en mL
g: peso de muestra

Determinación de viscosidad
La viscosidad de los polvos de semilla y bagazo de yaca se determinó mediante el método de Grace [18], utilizando un viscosímetro (Brookfield modelo DV-E, Stuttgart, Alemania). Se preparó la solución a partir de 10 g de polvo en 400 mL de agua destilada. La lectura fue tomada con agujas rotantes del número 1 y 2, 23°C y 50°C, a velocidades de 10, 20, 30, 50, 60 y 100 rpm.

 ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Rendimiento de la harina de semillas y bagazo de yaca

El rendimiento del polvo de semilla fue de 20% y del polvo de bagazo fue de 12.3% por cada kilogramo de yaca. Si bien los rendimientos son relativamente bajos, se justifica por el hecho de que sea un residuo a partir del cual se pueda rescatar un producto con posibilidades de uso alimentario. Los resultados en el rendimiento pueden variar de acuerdo con factores como contenido de humedad, especies, ubicación geográfica, así como el método para la obtención de la harina.

Humedad

De acuerdo con lo observado en la Tabla 1, el polvo de bagazo presentó una humedad de 8.04%, el cual es similar a los valores reportados en harina de bagazo de yaca verde [19] con un 8.45% y en harina de yaca en madurez fisiológica con un 11.36%. El bajo nivel de humedad en el polvo de bagazo puede prevenir el ataque de bacterias y hongos aumentando su vida útil, favoreciendo su uso, además el polvo de bagazo se encuentra en los límites establecidos por la NOM-247-SSA1-2008 [20] en el rango de 1 a 15% de humedad en harinas. La muestra de polvo de semilla sin cáscara presentó un 9.4% de humedad, mostrando una diferencia significativa con respecto a lo reportado en la harina de semilla de bledo para la elaboración de un embutido tipo chorizo con un valor de 59.4% [21]. El contenido de humedad en los productos desarrollados con harinas no convencionales es muy variado, en algunos productos el contenido de humedad aumenta [22] y en otros productos se reduce [23-24]. Estas variaciones pueden estar relacionadas con la retención de agua causada por harinas ricas en almidón.

Tabla 1. Contenido de humedad de los polvos de bagazo y semilla de yaca.

Muestra	Humedad (%)
Polvo de bagazo	8 %
Polvo de semilla con cáscara	9.4%
Polvo de semilla sin cáscara	6 %

Acidez

En la Tabla 2 se observa que el porcentaje de acidez más alto se detectó en el polvo de bagazo con 6.72% seguido del polvo de semilla con cáscara (2.98%) y el polvo de semilla sin cáscara; estos datos son superiores a los valores de acidez permisibles decretadas por la NOM-187-SSA1/SCFI-2002 [21]. Estos resultados muestran una similitud con lo reportado en harina de cáscara de cacao criollo con un 0.32% [26] y en harina de epicarpio de guayaba (*Psidium guajava* L.) con 0.45% [28]. El bajo nivel de acidez puede ser favorable, ya que el ambiente ácido de los polvos podría retrasar el desarrollo de los microorganismos.

Tabla 2. Determinación de acidez en polvos de semilla y bagazo de yaca.

Muestra	Acidez titulable (%)
Polvo de bagazo	6.72 ± 0.32^{a}
Polvo de semilla con cáscara	2.98 ± 0.37^{b}
Polvo de semilla sin cáscara	1.92 ± 0.00^{c}

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Los datos expresan valores promedio ± la desviación estándar (n=3) repeticiones y medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Color

De acuerdo con la Tabla 3, los valores de luminosidad (*L**) en bagazo presentaron diferencias estadísticamente significativas, alcanzando valores hasta de 85.17 ± 0.28, el cual se asemeja a lo reportado por Dussán et al. [28] con 84.87±1.5 de luminosidad para harina de quinua. Para el caso del polvo de semilla con cáscara mostró valores diferentes (62.35 ± 0.60) con respecto a las demás muestras de semilla.

En el parámetro a*, para el caso de muestras de bagazo no se observaron diferencias estadísticamente significativas, la muestra de bagazo fresco con un valor de 5.30 ± 0.29 se acerca a lo reportado por Murillo et al. [26] con un valor para a* de 5.61 ± 0.05 para harina de cáscara de cacao criollo. En las muestras de semilla no

 ISSN: 2007 8102

se observaron diferencias estadísticamente significativas. Para el parámetro b* (coordenadas amarillo/azul) tanto en muestras de bagazo y semillas no se detectaron diferencias significativas, alcanzando valores hasta de 12.82 ± 0.14, este resultado se asemeja a lo reportado por Colmenares [29] con un valor de 12.87 ± 0.06 en la coordenada b para harina de topocho verde. Los valores de chroma (c) no mostraron una diferencia estadísticamente significativa, con valores cercanos a 14.9 ± 0.5 para harina de quinua Dussán et al. [28]. En muestras de polvo de semilla sin cáscara no se presentaron diferencias estadísticas. Los valores hue (tono o matiz) mostraron diferencia estadísticamente significativa, alcanzando valores de 75.83 ± 0.47, el cual es ligeramente inferior a lo reportado por Dussán et al. [24]28 con 82.4 ± 0.3 del valor Hue para harina de chontaduro.

Tabla 3. Determinación de color en polvos de semilla y bagazo de yaca.

Polvos de Semilla y bagazo						
Muestra	***L****	**a***	**b***	**Croma**	**Hue**	**Color**
Polvo de bagazo	85.17 ± 0.28^{a}	3.23 ± 0.08^{d}	12.82 ± 0.14^{c}	13.22 ± 0.12^{c}	75.83 ± 0.47^{b}	
Polvo de semilla con cáscara	62.35 ± 0.60^{a}	8.90 ± 0.04^{d}	17.24 ± 0.27^{c}	19.31 ± 0.09^{b}	62.49 ± 0.05^{a}	
Polvo de semilla sin cáscara	72. 56 ± 0.47^{b}	4.85 ± 0.12^{d}	18.09 ± 0.04^{c}	18.71 ± 0.04^{c}	75.00 ± 0.36^{a}	

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Los datos expresan valores promedio ± la desviación estándar (n=3) repeticiones y medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, p≤0.05). D.E: Desviación Estándar**.**

Poder de hinchamiento

En la Figura 1 se observa una diferencia estadísticamente significativa entre las muestras, detectando el valor más alto con 9.20 ± 0.40b mL/g, la presencia de la cáscara en el polvo de semilla reduce esta propiedad. Estos resultados son superiores al valor de 5.00 ± 0.00 mL/g en harina desengrasada de *A. hypochondriacus* [29] y en harina desengrasada de *C. quinoa* Willd con un valor de 4.00 + 0.00 mL/g [29] y ampliamente inferior a 130.09 ± 5.90 mL/g para harina de trigo durum con almidón de banano [30].

El contenido relativamente alto de fibra de yaca tiene la capacidad de absorber moléculas de agua que pueden ser responsables del aumento de la capacidad de hinchamiento de la harina compuesta en comparación con las muestras de polvo de semilla. Mayores índices de solubilidad, absorción de agua y poder de hinchamiento en las harinas vegetales, indican una mayor facilidad para formar geles en presencia de calor y exceso de agua [31].

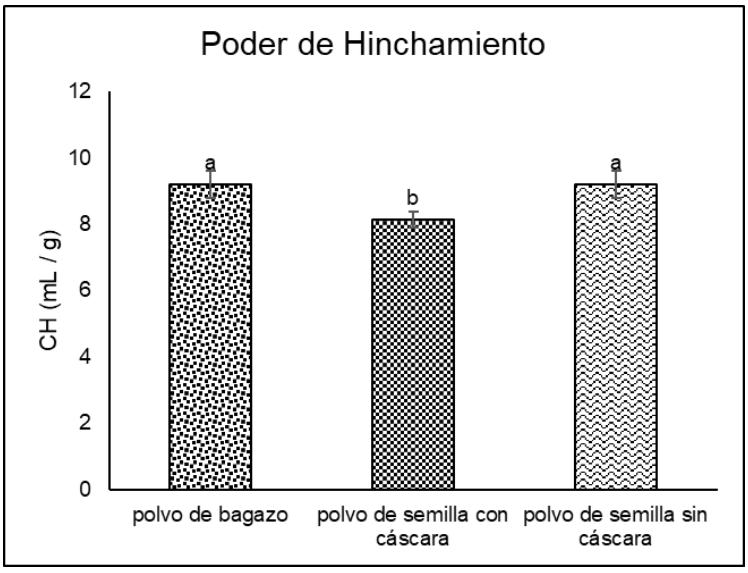


Figura 1. Poder de hinchamiento en las muestras de semilla y bagazo de yaca.

 ISSN: 2007 8102

Capacidad de retención de aceite

Los resultados de la capacidad de retención de aceites en las muestras de harina de semilla y bagazo de yaca se muestran en la Figura 2. Las muestras no presentaron diferencias estadísticamente significativas con valores cercanos al reportado para harina de semilla de mango con un 3.2 ± 0.1 mL/g [32]. La variación de la capacidad de retención de aceite viene determinada por la presencia de cadenas laterales no polares de aminoácidos que se unen a las cadenas laterales hidrocarbonadas del aceite. La CRAc es mayor en fibras que tienen alto contenido de fibra insoluble, debido a que las moléculas son atrapadas en su mayoría gracias al tamaño de las moléculas de la fibra [33]. El polvo de bagazo obtuvo un valor de 2.58 ± 0.27 mL/g, el polvo de semilla sin cáscara con 2.37 ± 0.32 mL/g y la de polvo de semilla con cáscara con 2.25 ± 0.25 mL/g, acercándose a lo reportado por Vegas [34] para harina de linaza residual con extracción de mucílago con un valor de 1.87 ± 0.07 mL/g.

La capacidad de retención de aceites se ve influenciada por parámetros fisicoquímicos como la humedad inicial, el contenido de humedad, tipo de ácido graso, la composición de aminoácidos y la conformación de la proteína y parámetros físicos como, la estructura superficial del material alimenticio, relación superficie/peso, porosidad y la polaridad o hidrofobicidad de la superficie [35-36].

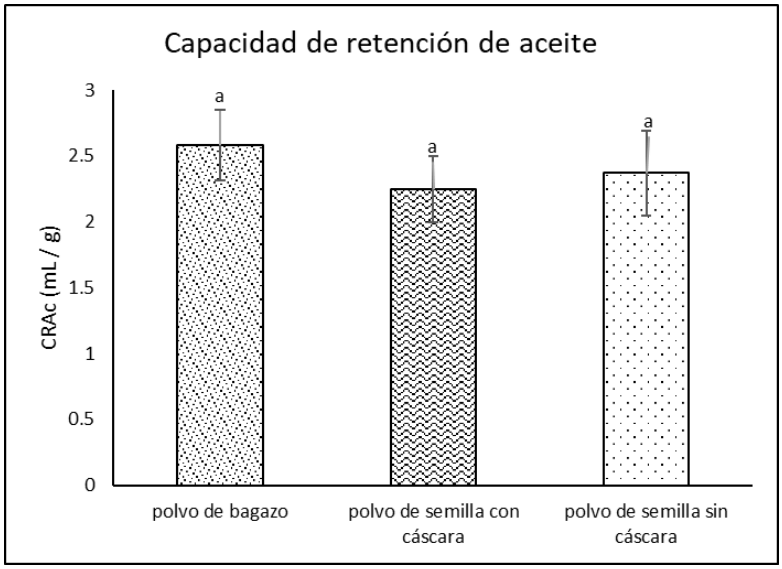


Figura 2. Capacidad de retención de aceite de polvos de semilla y bagazo de yaca.

Viscosidad

En la Tabla 4, se muestran los valores de viscosidad de las muestras de harina a 23° C y a 50 °C. La viscosidad máxima alcanzada para la muestra de bagazo fue de 324 cP con la aguja No. 2 a una velocidad de 60 rpm, este resultado se asemeja a lo reportado por Jiménez [37] con un cP de 327± 55.85 para harina de batata variedad 199064-1. La viscosidad máxima a 50 °C para el polvo de bagazo fue de 680 a 10 rpm, este resultado es ligeramente superior a lo reportado por Jiménez [37] con un valor de 401± 77.20 para harina de batata variedad 440224, ambas muestras utilizando la aguja No.2. La viscosidad máxima alcanzada para las muestras de polvo de semilla a 23 °C fue de 279 cP para semilla con cáscara a 60 rpm, mientras que la muestra de semilla obtuvo un 497 cP, todas estas muestras empleando aguja No. 2. La viscosidad de la muestra de polvo de semilla con cáscara tuvo un valor de 340 cP y la muestra de semilla sin cáscara obtuvo un valor de 663 cP, ambas a 60 rpm y a 50 °C. Aquellas harinas que presentaron mayor aumento en la viscosidad podrían ser empleadas en la elaboración de productos que requieran espesamiento en procesos de cocción, como mezclas de sopas y de pudines instantáneos [38]. La capacidad de los polvos para resistir el calor y el esfuerzo cortante durante la cocción disminuye al aumentar la viscosidad de descomposición; la formación de geles y la retrogradación del almidón son causas de deterioro de productos principalmente en cambios de textura durante su procesamiento [39].

 ISSN: 2007 8102

Tabla 4. Determinación de color en polvos de semilla y bagazo de yaca.

		Bagazo		Semilla			
		Temperatura ambiente	50 °C	Temperatura ambiente		50 °C	
VELOCIDAD (rpm)	No. Aguja	Polvo Bagazo	Polvo Bagazo	Polvo Semilla con cáscara	Polvo Semilla sin cáscara	Polvo Semilla con cáscara	Polvo Semilla sin cáscara
10	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	680	0	552	0	580
20	1	51	14.5	127	497	3.5	51.5
	2	0	86	12	158	0	0
30	1	110.03	143.4	47.3	147.3	6.1	148.3
	2	113	0	0	19	167	184
50	1	147	79	105.4	154	110.2	67.6
	2	169	68	248	146.4	262	20
60	1	132	63.7	84.3	117	151	72.3
	2	324	114	279	370.7	340	663
100	1	3.5	87	63.4	72.6	75.8	48
	2	354	216	93	316	298	278

Trabajo a futuro

Se propone que los polvos de semilla y bagazo de yaca sean evaluados en cuanto al contenido de fibra dietaria, almidón, perfil proteico, compuestos fenólicos y ser aplicados en el diseño de diversos productos alimentarios, además de los productos de panificación, con lo que se podría evaluar la influencia de los polvos en el producto final, así como estimar la predicción del índice glicémico, evaluación de textura y grado de aceptación de los productos obtenidos. Con esto se busca dar valor agregado a los residuos del fruto exótico de yaca y que permita su futura incorporación en el diseño de alimentos funcionales con propiedades bioactivas.

Conclusiones

Los polvos presentaron valores de humedad en un rango de 6 y 9.4%, el polvo de bagazo presentó un nivel de acidez cercano a la neutralidad (6.72%), la acidez de los polvos de semilla fue similar a este resultado. El color de los polvos presentó diferencias en su luminosidad. Los polvos de semilla de yaca con o sin cáscara mostraron características similares en su capacidad de retención de aceites y poder de hinchamiento. De acuerdo con el presente estudio, los polvos de semilla y bagazo de yaca son una alternativa de uso como ingredientes en alimentos, dando un valor agregado a estos residuos agroalimentarios.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto TNM “Evaluación de la incorporación de residuos de yaca (*Artocarpus heterophyllus L.)* sobre la digestibilidad in vitro en productos de panificación “con clave TNM 17834.23. PD de la Convocatoria 2023 Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación, para los Institutos Tecnológicos Federales, Descentralizados y Centros.

Referencias

[1] F. Akter and M.A. Haque, "Jackfruit Waste: A Promising Source of Food and Feed,”*Annals of Bangladesh Agriculture,* vol. 23, no. 1, pp. 91-102, 2019.

[2] S. Semante, "Utilización de harina de jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) en galletas con bajo índice glucémico," Tesis Profesional de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador, 2021.

[3] A. U. Khan, "Status of mango fruit infestation at home garden in Mymensingh, Bangladesh," *Current Research in Agriculture and Farming,* vol. 1, no. 4, pp. 35-42, 2020.

[4] A. U. Khan, M. A. R. Choudhury, M. A. Maleque, C. K. Dash, M. S. A. Talucder, A. R. M. Maukeeb, I. J. Ema and M. Adnan, "Management of insect pests and diseases of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) in agroforestry system: a review," *Acta Entomology and Zoology, vol.* 2, no. 1, pp.37–46, 2021.

[5] A. U. Khan, "A Review on Importance of *Artocarpus heterophyllus* L. (Jackfruit)," *Journal of Multidisciplinary Applied Natural Science,* vol. 1, no. 2, pp. 106-116, 2021.

[6] L. Ortega, N. Güemes, A. Quintero, S. Soto, "Sustitución de harina de trigo por harina de semilla de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.): Efectos sobre la reología de la masa y la textura de las rosquillas de fritura y análisis sensorial", *Revista Internacional de Gastronomía y Ciencia de los Alimentos,* vol. 30, no. 5, 2022.

[7] S. Palamthodi, S. Shimpi, and K. Tungare, "A study on nutritional compositions and functional properties of wheat, ragi and jackfruit seed composite flour," *Food Science and Applied Biotechnology*, vol. 4, no. 1, pp. 63-75, 2020.

[8] K. L. Peralta Pachacama, "Determinación del efecto del sistema de procesamiento, tiempo y temperatura en la obtención de bastones de Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*)", Tesis de Licenciatura de Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador, Quito. 2023.

[9] V. L. Shinde, C. D. Pawar, O. S. Warang, V. S. Dandekar, M. M. Kulkarni, J. Josiya and M. S. Joshi, "Studies on preparation of ice-cream from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) seed powder," *International Journal of Chemical Studies*. vol.9, no 1, pp. 2710-2712, 2021.

[10] A. N. M. Ramli, S. Z. S. Badrulzaman, H. A. Hamid, and P. Bhuyar, "Antibacterial and antioxidative activity of the essential oil and seed extracts of *Artocarpus heterophyllus* for effective shelf- life enhancement of stored meat," *Journal of Food Processing and Preservation*. vol. 45, no. 1, 2021.

[11] J.O. Chávez-Santiago, J.O, A.L. Perales-Torres, S.E. Alemán-Castillo, R. Santiago-Adame. Composición química proximal de jaca (*Artocarpus heterophyllus* L.) Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos Vol. 5, 207-210, 2020.

[12] Morillas-Ruiz and Delgado-Alarcón. Análisis Nutricional de Alimentos Vegetales Con Diferentes Orígenes: Evaluación de Capacidad Antioxidante y Compuestos Fenólicos Totales. Nutrición Clínica y Dieta Hospitalaria. Vol. 32(2),8–20, 2012.

[13] Dam, S. M and N. T. Nguyen.Production of fermented beverage from fruit rags of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*). Acta Horticulturae. vol. 989 pp.285-292, 2013.

[14] Minitab 18 Software estadístico (2010). [Software informático]. State College, PA: Minitab, Inc. (www.minitab.com)

[15] NMX-F-428-1982. Alimentos. Determinación de humedad (Método rápido de la termobalanza). Foods. Determination of moisture (Thermobalanza). Foods. Determination of moisture (Thermobalance rapid method). Normas Mexicanas. Dirección general de normas.

[16] AOAC. (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. Virginia, pp.1000-1050..

[17] C.Chau, and Y. Huang, "Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fibers prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. Cv. *Liucheng*," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 51, pp. 2615–2618, 2003.

[18] Grace, M. "Elaboración de la yuca". Método para determinar temperatura de gelatinización. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma. pp. 116. 1977.

[19] A. E. Rodríguez-Rivera, A. Hidalgo Millán, R. Balois Morales, L. M. Sánchez Herrera, R. Delgado Delgado y H. A. García Martínez, "Cinéticas de secado y caracterización fisicoquímica de la harina elaborada a partir de residuo de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam) en diferentes estados de madurez" *UTCJ Theorema Revista Científica*, p. 1193–1200, 2018. Accedido el 12 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/1074.

[20] México, Secretaría de Salud, "Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba", *Diario Oficial de la Federación*, 27 de julio de 2009. Accedido el 15 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5100356&fecha=27/07/2009&print=true

[21] Y. García Pacheco, L. A. Ariza Yépez y M. A. López Padilla, "Evaluación de la sustitución parcial de proteína de origen animal en la elaboración de un embutido tipo chorizo a partir de harina de semilla de bledo (*Amaranthus hypochondriacus* L.)", *Prospectiva*, vol. 20, no. 1, 2022. Accedido el 12 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.15665/rp.v20i1.2774.

[22] L. N. F. Aslinah, M. Mat Yusoff and M. R. Ismail-Fitry, "Simultaneous use of adzuki beans (*Vigna angularis*) flour as meat extender and fat replacer in reduced-fat beef meatballs (*Bebola daging)*", *Journal Food Science and Technology*, vol. 55, no. 8, pp. 3241–3248, 2018. Accedido el 13 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1007/s13197-018-3256-1.

[23] M. E. A. do Prado *et al.*, "Physicochemical and sensorial characteristics of beef burgers with added tannin and tannin-free whole sorghum flours as isolated soy protein replacer", *Meat Science,* vol. 150, pp. 93–100, 2019. Accedido el 13 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.12.006

[24] K. d. L. Santos, F. Moisés de Sousa, R. Duarte de Almeida, R. Pereira de Gusmão and T. A. S. Gusmão, "Replacement of Fat by Natural Fibers in Chicken Burgers with Reduced Sodium Content", *The Open Food Science Journal*, vol. 11, no.1, pp. 1–8, 2019. Accedido el 13 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.2174/1874256401911010001.

[25] México, Secretaría de Salud, "Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba", *Diario Oficial de la Federación*, 18 de agosto de 2003. Accedido el 14 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691995&fecha=18/08/2003&print=true.

[26] S. Murillo-Baca, F. Ponce-Rosas y M. Huamán-Murillo,"Physicochemical characteristics, bioactive compounds and minerals content in cocoa fruit (*Theobroma cacao* L.) shell flour," Manglar, vol. 17, no. 1, pp. 67–73, 2020. Accedido el 11 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.17268/manglar.2020.011.

[27] V. A, Velazco, A. A, Bernal, L.E. Ordoñez y J.I, Hleap, "Caracterización del epicarpio de guayaba *(Psidium guajava* L.) como alternativa natural para uso en productos alimenticios procesados," *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 18, no. 2126. https://doi.org/10.18684/bsaa(18)26-36.

[28] S. Dussán-Sarria, D. L. Hurtado-Hurtado y J. H. Camacho-Tamayo, "Granulometría, Propiedades Funcionales y Propiedades de Color de las Harinas de Quinua y Chontaduro," *Información tecnológica*, vol. 30, no. 5, pp. 3–10. 2019. Accedido el 12 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000500003.

[29] M. Colmenares, J. Marín y G. Martínez, "Evaluación de la composición proximal, almidón total y color de las harinas obtenidas de clones de musáceas," *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, vol. 18, 2022.

[30] J. L. Criollo Feijoo, E. O. Edison Martínez Mora, C. E. Silverio Calderón y R. Díaz Torres, "Pruebas de cocción de pastas alimenticias elaboradas con harina de trigo - almidón de banano", *Cumbres*, vol. 4, no. 1, pp. 63–73, 2018. Accedido el 14 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.48190/cumbres.v4n1a

[31] A. García-Jiménez y Ch. L. Vázquez, Masa y Harina de Maiz Nixtamalizado, Rev. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, ISSN: 2448-7503, vol.1(2), pp. 78-82, 2016.

[32] J. A. Ulloa, "Caracterización tecno-funcional de un concentrado proteínico obtenido de la semilla de mango (*Mangifera indica* L.)", *Biotecnia*, vol. 23, no. 1, pp. 120–126, 2021. Accedido el 15 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i1.1306

[33] L. Marina Baena, "Obtención y caracterización de fibra dietaría a partir de cascarilla de las semillas tostadas de *Theobroma cacao* L. de una industria chocolatera colombiana", Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2012. [En línea]. Disponible: http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/9/140.pdf

[34] R. M. Vegas Niño, "Efecto del pH y cloruro de sodio sobre las propiedades tecnofuncionales de harina de semillas residuales de linaza (*Linum usitatissimum* L.)", *Cátedra Villarreal*, vol. 9, no. 1, 2021. Accedido el 15 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.24039/cv20219110716.

[35] C. Dobarganes, G. Márquez-Ruiz y J. Velasco, "Interactions between fat and food during deep-frying", *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 102, no. 8-9, pp. 521–528, 2000. Accedido el 15 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1002/1438-9312(200009)102:8/9%3C521::aid-ejlt521%3E3.0.co;2..

[36] N. Sunil, S. Chauhan, Samsher, S. Chandra, J. Singh y S. Singh, "Assessment of functional properties of composite flours", *Progressive Agriculture*, vol. 19, no. 1, pp. 161, 2019. Accedido el 15 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.5958/0976-4615.2019.00001.2

ISSN: 2007 8102

[37] K. Jiménez-Villalba, L. Arrieta-Banquet, J. Salcedo-Mendoza y K. Contreras-Lozano, "Caracterización de harinas y almidones de batatas (*Ipomoea batatas* Lam.), de la costa caribe colombiana", *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 22, no. 1, 2019. Accedido el 15 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1185

[38] J. C. Lucas, V. Dumar Quintero y C. A. Cárdenas Valencia, "Caracterización de harina y almidón obtenidos a partir de plátano guineo (*Musa sapientum* L.)", *Acta Agronomica,* vol. 62, no. 2, pp. 83–96, 2013. Accedido el 14 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122013000200000

[39] J. Montoya-López, G.A. Giraldo-Giraldo, J.C. Lucas-Aguirre, C. Juan. Caracterización física de harina de trigo y pan mediante determinación de calorimetría diferencial de barrido y análisis termogravimétrico, Vitae, vol. 19 (1), pp. S417-S419.

 ISSN: 2007 8102

Propiedades fisicoquímicas de una botana extrudida elaborada de mezclas de harinas de hierba mora-maíz morado

*J. A. Pérez-Cortes, B. Hernández-Santos, E. Ramírez-Figueroa, J. G. Torruco-Uco, J. Rodríguez-Miranda**

*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Calzada Dr. Víctor Bravo Ahúja, No. 561, Col. Predio el Paraíso, Tuxtepec, Oaxaca, C.P. 68350, México. *jesrodmir@gmail.com; jesus.rm@tuxtepec.tecnm.mx*

Área de participación: *Ingeniería Química*

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue evaluar algunas propiedades fisicoquímicas de una botana extrudida elaborada de mezclas de hierba mora (*Solanum nigrescens*) en maíz morado (*Zea mays* L). Se evaluaron tres variables independientes (Temperatura: 125-175 ºC, contenido de humedad:18-25% y la concentración de harina de hierba mora (HHM) en harina de maíz morado (HMM): 0-50%). Las variables de respuesta fueron la textura (dureza), radio de expansión (RE) y la densidad aparente (DA). El análisis de los efectos estandarizados (Análisis de Pareto) mostró que la concentración de HHM en HMM tuvo el impacto más significativo entre todas las variables de respuesta estudiadas, seguido de la humedad sobre RE y la temperatura sobre DA. Los resultados mostraron un intervalo de textura: 13.79 a 104.54 N, RE: 85 a 156% y DA: 0.60 a 1.18 g/cm^3. Los resultados indican que el producto extrudido tendría una alta probabilidad de aceptación si se sometiera a pruebas de aceptabilidad del consumidor.

Palabras clave: *hierba mora, maíz morado, Solanum nigrescens, Zea mays* L.

Abstract

The aim of this work was to evaluate some physicochemical properties of an extruded snack made from mixtures of nightshade (Solanum nigrescens) in purple corn (Zea mays L). Three independent variables were evaluated (Temperature: 125-175 ºC, moisture content: 18-25% and the concentration of nightshade flour HHM in purple corn flour HMM: 0-50%). The response variables were texture (hardness), expansion radius (RE) and bulk density (DA). The analysis of the standardized effects (Pareto analysis) showed that the concentration of HHM in HMM had the most significant impact among all the response variables studied, followed by humidity on RE and temperature on DA. The results showed a range of texture: 13.79 to 104.54 N, RE: 85 to 156% and DA: 0.60 to 1.18 g/cm^3. The results indicate that the extruded product would have a high probability of acceptance if it were subjected to consumer acceptability tests.

Key words*: nightshade, purple corn, Solanum nigrescens, Zea mays* L.

Introducción

El desafío en la actualidad para las industrias que se encargan de la producción de alimentos tipo botana es la reformulación de estos mismos productos para poder hacerlos más nutritivos sin que se afecte el sabor u olor de los productos. Por ello, el proceso de extrusión es uno de los procesos más comunes para la obtención de los productos alimenticios mencionados. El interés por el uso de extrusores en la industria alimentaria surge del hecho de que estas mismas pueden ser mezcladas con diferentes ingredientes en nuevas estructuras de alimentos que pueden ayudar en el desarrollo de productos alimenticios funcionales, también el atractivo de este proceso termo-mecánico es que es un método de preparación más continuo y homogéneo además de que ofrece una gran variedad de ventajas técnicas, económicas sobre otros procesos usados para la elaboración de botanas [1]. El proceso de extrusión se lleva a cabo a altas temperaturas y presiones durante un corto lapso de tiempo, lo cual es beneficioso para los alimentos sensibles a las altas temperaturas porque los efectos secundarios como lo es la pérdida de proteínas, por ello la calidad del producto final puede variar y depende de varios parámetros de extrusión, como el tipo de extrusión y la configuración del tornillo [2]. Actualmente la industria de los alimentos se ha enfocado en la elaboración de botanas de fuentes poco convencionales para su posterior desarrollo de nuevos productos. El maíz morado es una variedad pigmentada de *Zea mays*, y es cultivado normalmente en América Latina y son ricos en almidón y gluten, esta es una planta anual la cual tiene una gran importancia en el comercio internacional siendo uno de los principales cultivos sembrados alrededor del mundo [3]. Así mismo, el maíz tiene un bajo contenido proteico y es por ello que se busca aumentar su contenido nutritivo, esto añadiendo harinas de

 ISSN: 2007 8102

fuentes poco convencionales, como la hierba mora (*Solanum nigrescens*) que es una planta herbácea, que crece como maleza en áreas silvestres y es adaptable a diferentes tipos de clima, esta posee un alto valor proteico y una gran capacidad antioxidante. Una combinación adecuada en la homogenización de ambas harinas enriquece su composición de aminoácidos, lo que da como resultado una mezcla proteica de mayor calidad [4]. Por lo que, el objetivo del presente trabajo es evaluar algunas propiedades fisicoquímicas (textura (dureza), radio de expansión y densidad aparente) a una botana extrudida a partir de maíz morado (*Zea mays* L.) enriquecida con polvo de hierba mora (*Solanum nigrescens*).

Metodología

Materiales

La hierba mora (*Solanum nigrescens*) se adquirió en el mercado local de San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México. Los granos de maíz morado (*Zea mays* L.) fueron adquiridos de la comunidad de San José Chiltepec Oaxaca, México.

Obtención de las harinas de hierba mora y maíz morado

Las hojas de hierba mora fueron limpiadas de impurezas, lavadas, y se colocaron en un secador de charolas a 60 ºC por 4 h, posteriormente se molieron y tamizaron hasta reducir las partículas a un tamaño 0.42 mm (malla 40). Los granos de maíz morado, se molieron y tamizaron en una malla No. 40. Las harinas se recolectaron en bolsas de polietileno, se sellaron y se almacenaron a 4 ºC para su posterior uso.

Elaboración de las mezclas

Las mezclas se llevaron a cabo en lotes de 100 g utilizado de acuerdo con el diseño de experimentos (Tabla 1). Las harinas se pesaron y se mezclaron de forma manual hasta obtener una mezcla homogénea.

Proceso de extrusión

La extrusión de las botanas se realizó en un extrusor de tornillo simple marca Brabender (Modelo E19/25 D Instruments Inc South Hackensack, N.J. U.S.A). Se realizó las mezclas de los 18 tratamientos, así como también se realizó el ajuste del contenido de humedad de acuerdo con el diseño de experimentos. La extrusión se realizó a una alimentación de 200 g/min, velocidad de tornillo 200 rpm, fuerza de compresión del tornillo 3:1, diámetro interno del dado de salida de 3 mm y la temperatura del porta-dado vario de 125 a 175 ºC acorde con el diseño de experimentos. Posteriormente los extrudidos se secaron a una temperatura de 60 °C por 2 h.

Tabla 1. Diseño de experimentos utilizado

Tratamientos	Cont. de Humedad (%)	Temperatura (°C)	Conc. HHM/HMM (%)*
1	19.42	135.13	10.13/89.87
2	23.58	135.13	10.13/89.87
3	19.42	164.87	10.13/89.87
4	23.58	164.87	10.13/89.87
5	19.42	135.13	39.87/60.13
6	23.58	135.13	39.87/60.13
7	19.42	164.87	39.87/60.13
8	23.58	164.87	39.87/60.13
9	18.00	150.00	25.00/75.00
10	18.00	150.00	25.00/75.00
11	21.50	125.00	25.00/75.00
12	21.50	175.00	25.00/75.00
13	21.50	150.00	0.00/100.00
14	21.50	150.00	50.00/50.00
15	21.50	150.00	25.00/75.00
16	21.50	150.00	25.00/75.00
17	21.50	150.00	25.00/75.00
18	21.50	150.00	25.00/75.00

HHM = harina de hierba mora, HMM = harina de maíz morado. *La suma de HHM + HMM = 100 g

 ISSN: 2007 8102

Propiedades fisicoquímicas evaluadas

Textura (Dureza)

La textura de los productos extrudidos de determinó en un analizador de textura TA-XT2 Plus (TextureTechnologies Corp. Scarsdale, NY/Stable Micro Systems, Haslemere, Surrey, UK) [5]. Para determinar la fuerza requerida para fragmentar el producto extrudido y registrar la dureza del producto, se utilizó una cuchilla de corte Warner-Bratzler, con una velocidad previa a la prueba de 1.0 mm/s, una velocidad de prueba de 5 mm/s, una velocidad posterior a la prueba de 10.0 mm/s, una distancia de 30 mm. Se llevaron a cabo 17 mediciones por tratamiento y se reportó la fuerza máxima de ruptura en N [6].

Densidad aparente (DA)

La DA se determinó de acuerdo con la técnica reportada por Wang et al. [7]. A veinte muestras de extrudidos seleccionados al azar, se les determinó el diámetro (d) y luego su longitud (L). A cada muestra se le tomaron tres mediciones del diámetro y se calculó el valor promedio. Posteriormente se pesaron cada extrudido (Pm), la densidad se calculó utilizando la ecuación 1. Los resultados se expresaron en g/cm^3.

$$\mathrm{DA} = pm/(\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 L) \qquad \text{Ec. 1.}$$

Radio de expansión (RE)

Se determinó por el método reportado por Téllez-Morales et al. [8]. A veinte muestras representativas de 5 cm de cada tratamiento se tomaron tres mediciones del diámetro, se promedió y se dividió en entre el diámetro del dado de salida del extrusor y se multiplicó por 100.

Diseño de experimentos y análisis estadístico

Los resultados fueron expresados como el valor promedio de veinte determinaciones. Se usó un diseño de experimentos central compuesto con tres variables independientes: Temperatura 125-175 ºC, contenido de humedad:18-25% y la concentración de HHM en HMM: 0-50% (Tabla 1), utilizando un paquete estadístico comercial (Design-Expert 7.0.0 Stat-Ease Inc.). Las variables de respuesta fueron la textura, RE y DA. Se utilizó un gráfico de Pareto para evaluar las variables del proceso en orden descendente según el efecto estadístico asociado a cada respuesta estudiada.

Resultados y discusión

La textura de los productos obtenidos se puede observar en la Tabla 2. La textura es una de las propiedades fisicoquímicas del producto extrudido que está estrechamente ligada con la temperatura del proceso de extrusión de la materia prima, así como también el contenido de humedad y contenido de almidón [9]. La textura de los extrudidos osciló entre 13.79 a 104.54 N (Tabla 2). La variable más importante fue la concentración HHM/HMM, presentando un efecto significativo (p<0.05) positivo en su término cuadrático y negativo en su término lineal como se puede observar en la Figura 1. Esto se puede atribuir que al incrementar la concentración HHM en los tratamientos aumentó la textura de la botana, esto debido al grado de gelatinización y degradación del almidón lo cual hace que sean más frágiles. El tratamiento 12 fue el extrudido donde se observó una menor textura con 13.79 N, los extrudidos con menor dureza fueron más frágiles. La resistencia a la rotura aumentó debido a las condiciones de procesamiento, al grado de gelatinización y degradación del almidón [10]. Por otro lado, el tratamiento con mayor dureza se obtuvo en el Tratamiento 4 bajo las siguientes condiciones: temperatura de 150 °C, contenido de humedad de 21.5%. Rivera-Mirón et al. [11] mencionaron que al incrementar el contenido de proteínas en productos extrudidos se desarrollan productos más frágiles y quebradizos, resultando en valores de textura menores. De acuerdo con Cabrera-Martínez [12] el contenido de proteínas de la hierba mora es de 33.93 g/100 g por lo que, el incremento de la concentración de ésta en la mezcla aumentó el contenido de proteínas en la mezcla por lo tanto el efecto observado.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Propiedades de textura, radio de expansión y densidad aparente de las botanas extrudidas elaboradas de mezclas de hierba mora y maíz morado.

Tratamiento	Textura (N)	RE (%)	DA (g/cm^3)
1	26.20	146	0.91
2	18.68	137	0.95
3	15.02	138	0.86
4	25.15	155	0.80
5	20.02	91	1.11
6	22.05	139	0.92
7	20.58	90	1.18
8	16.12	85	1.13
9	19.89	163	0.60
10	24.69	156	0.85
11	29.34	135	0.94
12	13.79	113	0.68
13	104.54	155	0.77
14	25.96	91	1.13
15	20.09	134	0.70
16	16.55	127	0.88
17	24.45	124	0.97
18	21.14	110	0.98

Los resultados son el promedio de veinte determinaciones. RE = Radio de expansión, DA = Densidad aparente.

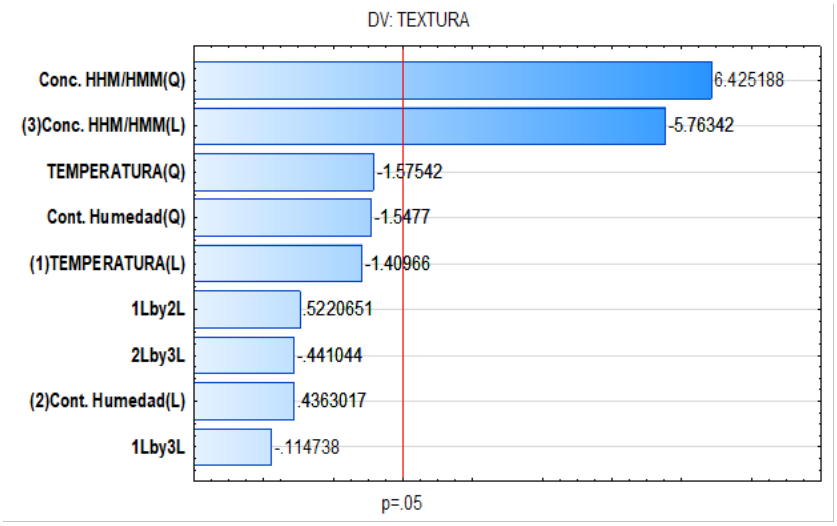


Figura 1. Diagrama de Pareto que muestra el efecto de la temperatura, contenido de humedad y concentración HHM/HMM sobre la textura (Dureza) de los extrudidos obtenidos.

En la Figura 2 se observa que la concentración de HHM en su término lineal es la variable más importante para el RE afectándola de forma negativa ($p < 0.05$), seguida del contenido de humedad en su término cuadrático positivo ($p<0.05$), la interacción negativa de la temperatura-conc. HHM/HMM (1Lby3L) ($p<0.05$), la temperatura en su término lineal negativa ($p<0.05$), puede atribuirse a la desnaturalización de las proteínas una vez que son sometidas a temperaturas altas en el proceso de extrusión, lo que da como resultado una botana extrudida más compacta. El intervalo de RE encontrado osciló entre 85 a 156% (Tabla 2). El tratamiento 8 fue el que mostró un menor RE (85%) elaborado a una temperatura de 164.87 °C, contenido de humedad de 23.58% y concentración de HHM de 39.87% y 60.13% de HMM (Tabla 2), esto puede deberse a que un factor que afectó la expansión de los extrudidos fue probablemente el alto contenido de proteínas aportado por la HHM, debido a la desnaturalización que sucede en las proteínas a temperaturas altas así como también a la humedad, debido a que la temperatura interactúa con las moléculas de agua en los grumos de la masa e interrumpe la formación de burbujas de aire [11,13]. Esto puede atribuirse al contenido de la HHM que afecta la expansión debido a su capacidad de modificar las diferentes distribuciones del agua dentro de la matriz alimentaria, así como a las interacciones con el almidón presente en la mezcla, disminuyendo la expansión de las cadenas de amilopectina

 ISSN: 2007 8102

e inhibiendo la liberación del contenido de agua, por lo que disminuye la expansión y aumenta la densidad así como su conformación y estructura macromolecular, teniendo un efecto significativo sobre las propiedades de las botanas extrudidas [14]. Por lo tanto, las mezclas con mayor contenido de HMM mostraron los valores de RE más altos (Tabla 2).

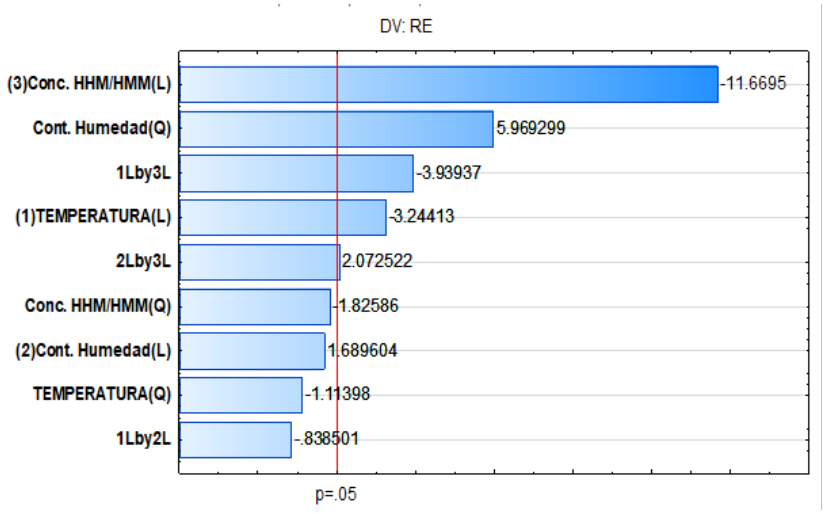


Figura 2. Diagrama de Pareto que muestran el efecto de la temperatura, contenido de humedad y concentración HHM/HMM sobre el radio de expansión (RE) de los extrudidos obtenidos.

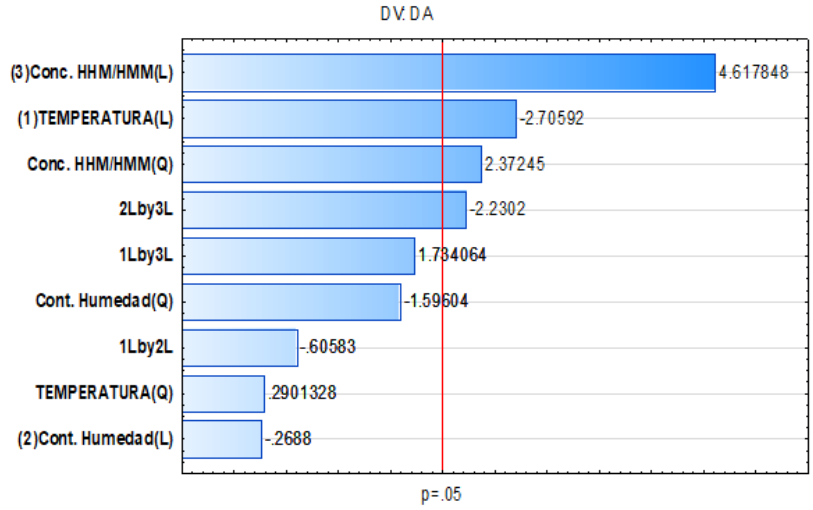


Figura 3. Diagrama de Pareto que muestran el efecto de la temperatura, contenido de humedad y concentración de HHM/HMM sobre la densidad aparente (DA) de los extrudidos obtenidos.

Las botanas que poseen una baja densidad se caracterizan por tener estructuras mejor expandidas y están constituidas por moléculas más grandes y paredes más delgadas [14]. En la Figura 3 podemos obervar que la variable más importante bajo las condiciones establecidas en el diseño de experimentos para la DA es la concentración de HHM en HMM, se observó un efecto lineal positivo (p<0.05), la temperatura en su término lineal mostró un efecto significativo negativo (p<0.05), la Conc. HHM/HMM presentó un efecto cuadrático positivo, mientras que la interacción Cont. Humedad-Conc. HHM/NMM (1Lby3L) (Figura 3) exhibió un efecto significativo negativo. La DA de las botanas extrudidas está estrechamente relacionada con la expansión que ocurre durante la extrusión, en este caso los altos valores de DA en el extrudido puede deberse al alto contenido de fibra en la mezcla y al interactuar con las moléculas de agua provocando la ruptura de burbujas de aires en los extrudidos, aumentando así la obtención de extrudidos de mayor densidad [14]. El intervalo de DA encontrado osciló de 0.60

 ISSN: 2007 8102

a 1.18 g/cm^3. El tratamiento 9 fue el que tuvo la menor DA elaborado a una temperatura de 150 ºC, 18% de humedad y 25% de HHM y 75% de HMM. El tratamiento 7 presentó la mayor DA elaborado a 164.87 ºC, 19.42% de contenido de humedad y 34.87% de HHM y 60.13% de HMM. Esto podría atribuirse a que la DA es inversamente proporcional al radio de expansión y que esta respuesta es afectada por la formulación de las botanas, así como por la temperatura y que el aumento de HHM aumentó la DA en los extrudidos, esto debido a la incorporación de fibra y proteína en los extrudidos lo que da como resultado botanas con una mayor DA, por lo que los resultados reportados en esta investigación pueden atribuirse al aumento del contenido de proteínas aportadas por la HHM aunque faltaría determinar el contenido de proteínas para comprobar este hecho. Esto coincide con lo reportado por Rivera-Mirón et al. [11].

Trabajo a futuro

El presente trabajo es parte del proyecto financiado por el Tecnológico Nacional de México (TecNM), titulado "Utilización de las hojas de hierba mora (*Solanum nigrescens*) en la elaboración de una botana a base de maíz morado: caracterización fisicoquímica, tecno-funcional y antioxidante", clave: 17291.23-P. Las evaluaciones realizadas en este trabajo, además de realizar la determinación de la composición química de las botanas, la determinación de las propiedades tecno-funcionales y la capacidad antioxidante permitirá seleccionar la mezcla con las mejores condiciones y características para la elaboración de la botana extrudida. Correlacionar el contenido de proteínas y la textura (Dureza) de los productos obtenidos, así como el empaque y la vida de anaquel de los extrudidos y la evaluación sensorial.

Conclusiones

La elaboración de una botana extrudida de mezclas de hierba mora y maíz morado con características fisicoquímicas aceptables es posible. El uso y la concentración de harina de hierba mora juega un papel muy importante ya que, este es el factor que mayor efecto significativo tuvo sobre las propiedades fisicoquímicas evaluadas en este trabajo esto probablemente al alto contenido de proteínas. Sin embargo, falta realizar una mayor investigación sobre la composición química, capacidad antioxidante, así como a pruebas de aceptabilidad del consumidor.

Referencias

[1] J. A. Téllez-Morales, B. Hernández-Santos, J. M. Juárez-Barrientos, A. A. Lerdo-Reyes, and J. Rodríguez-Miranda, "The use of tubers in the development of extruded snacks: A review". *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 46, no. 7, pp. e16693, 2022.

[2] J. A. Téllez-Morales, and J. Rodríguez-Miranda, "Improved extrusion cooking technology: A mini review of starch modification", *Journal of Culinary Science & Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-10, 2023.

[3] J. M. Moreno López, and V. D. Andahua Castellano, "Aceptabilidad y valor nutricional de galletas dulces saludables de harina de maíz morado (*Zea mays*), camote morado (*Ipomoea batata*) y algarrobo (*Prosopis pallida*)". (Bachelor's thesis). 2020.

[4] N. I. Terán-Jaramillo, Evaluación biológica del extracto de Solanum nigrescens M. Martens & Galeotti, fundamentado en el uso etnobotánico (Bachelor's thesis). 2019.

[5] M. Brennan, E. Derbyshire, B. Tiwari, and C. Brennan, "Ready to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks." *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 48, no. 5, pp. 893-902, 2013.

[6] J. Rodríguez-Miranda, B. Hernández-Santos, E. Herman-Lara, M. A. Vivar-Vera, R. Carmona-García, C. A Gómez-Aldapa, and C.E. Martínez-Sánchez, "Physicochemical and functional properties of whole and defatted meals from Mexican (*Cucurbita pepo*) pumpkin seeds". *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 47, no. 11, pp. 2297-2303. 2012.

[7] W. M. Wang, C. F. Klopfenstein, J. G. Ponte, "Effects of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat and wheat bran and on the baking quality of the wheat bran". *Cereal Chemistry*, vol. 70, no. 6 pp.707-711, 1993

[8] J. A. Téllez-Morales, B. Hernández-Santos, R. O. Navarro-Cortez, and J. Rodríguez-Miranda, "Impact of the addition of cricket flour (*Sphenarium purpurascens*) on the physicochemical properties, optimization

 ISSN: 2007 8102

and extrusion conditions of extruded nixtamalized corn flour". *Applied Food Research*, vol. 2, no. 2, pp. 100149, 2022.

[9] K. Pérez-Ramos, C. Elías-Peñafiel, and V. Delgado-Soriano, "Bocadito con alto contenido proteico: un extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y camote (*Ipomoea batatas* L.)". *Scientia Agropecuaria*, vol. 8, no.4, pp. 377-388, 2017.

[10] L. A. Esparza, Martínez, M. G. Vega, E. M. M. C. Sánchez, Padilla, and J. V. Hernández, "Efecto de extrusión sobre las propiedades fisicoquímicas en botanas de tercera generación enriquecidas con proteína vegetal". *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*, vol. 2, no. 3, pp. 78-87, 2019.

[11] M. I. Rivera-Mirón, J. G. Torruco-Uco, R. Carmona-García, and J. Rodríguez-Miranda, "Optimization of an extrusion process for the development of a fiber-rich, ready-to-eat snack from pineapple by-products and sweet whey protein based on corn starch". *Journal of Food Process Engineering*, vol. 43, no. 11, pp. e13532, 2020.

[12] L. E. Cabrera-Martínez, "Optimización de las condiciones de extracción de compuestos bioactivos de *Solanum nigrescens*: evaluación fisicoquímica, antioxidante e hipoglucemiante". Tesís de Maestría, Instituto Tecnológico de Tuxtepec. 2023.

[13] R. M. Taimal, "Efecto de los parámetros de extrusión sobre la calidad nutricional y textura en la mezcla de maíz *Zea mays*, chocho *Lupinus mutabilis* Sweet y papa *Solanum tuberosum* en el snack". (Bachelor's thesis), 2019.

[14] M. Sharma, D. N. Yadav, D. Mridula and R. K. Gupta, "Protein enriched multigrain expanded snack: optimization of Extrusion Variables", Proceedings of the National. *Academy of Science India Section B: Biological Sciences*, vol. 86, no. 4, pp. 911-920, 2016.

ISSN: 2007 8102

Selección de un envase sustentable para arándano azul (*Vaccinium corymbosum*) para productores de Hueyapan, Puebla.

Cabrera Ramírez Ariadna[1], Villalobos Espinosa Julieta del Carmen[1], Nicolás García Mayra[1], Rojas García Ana Crsitina[1]*

*[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlan; Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P.73960. Teziutlan, Puebla, México. *ariadna.cr@teziutlan.tecnm.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue realizar la selección de un envase amigable con el medio ambiente e idóneo para el manejo del arándano azul *(V. corymbosum*) de Hueyapan, Puebla. Los frutos se almacenaron en 3 envases (PT, FM y PET) durante 0, 24, 72 y 168 h a diferentes temperaturas (4, 7 y 20 °C). Se monitoreo el pH y SST (°Brix) para observar el comportamiento de conservación. Los resultados indicaron que la temperatura de refrigeración de 4 °C preservo el fruto durante 168 h, resaltando el envase de FM no presentó diferencias significativas entre el tiempo de almacenamiento, por lo que retardó el proceso de senescencia del fruto evitando así la deshidratación del mismo. Los resultados permitirán a los productores de "Xocotzin" contribuir al objetivo 12 de la agenda 2030 de la ONU "producción y consumo responsable" incorporando aspectos de una economía circular al envase elegido.

***Palabras clave**: Envase sustentable, arándano azul, economía circular.*

Abstract

The aim of this study was to select an environmentally friendly container suitable for handling blueberries (*V. corymbosum*) from Hueyapan, Puebla. The fruits were stored in 3 containers (PT, FM and PET) for 0, 24, 72 and 168 h at different temperatures (4, 7 and 20 °C). The pH and TSS (°Brix) were monitored to observe the conservation behavior. The results indicated that the refrigeration temperature of 4 °C preserved the fruit for 168 h, noting that the FM container did not present significant differences between storage time, thus retarding the fruit senescence process and preventing fruit dehydration. The results will allow "Xocotzin" producers to contribute to goal 12 of the UN 2030 agenda "responsible production and consumption" by incorporating aspects of a circular economy to the chosen packaging.

***Key words**:* Sustainable packaging, blueberry, circular economy.

Introducción

Se ha informado que el crecimiento de los desechos en el mundo crecerá en un 70% hacía el 2050, dato que refleja la importancia de elaborar envases que se incorporen a la Economía Circular. Cada año se producen más de 300 millones de toneladas de plástico; México produce cerca de 8 millones de toneladas de plástico al año de los cuales el 50% son de un solo uso y el 9% se recicla, el 12% se incinera y el 79% va a vertederos o es tirada en el ambiente generando problemas ambientales de contaminación en mares, océanos y suelos. Se ha reportado que el 70% de la contaminación de los mares es por residuos de plásticos y que alrededor de 100,000 tortugas, mamíferos marinos y un millón de aves marinas mueren anualmente por la contaminación del mismo [1-3]. Por lo que, la búsqueda continua de soluciones que ayuden a disminuir la contaminación que se genera a partir de estos residuos, se convierte en una constante. Una opción es el uso de envases biodegradables. Boz et al. [4] hace referencia a la importancia de los envases ecológicos "acciones como consumir, desechar y contaminar los recursos son efectos producidos por las industrias, siendo un desafío la creación de envases sostenibles para una mejora de los impactos ambientales".

Algunas de las funciones del envase primario son llevar al consumidor un producto en mejores condiciones, por ello la importancia de establecer el adecuado envase a los productos de la industria alimentaria, considerando las propiedades físicas de los mismos. Las principales funciones de los envases son proteger la mercancía de daños mecánicos, de la luz, humedad, grasas, ácidos, oxígeno, en algunos casos contra las vibraciones y los peligros ocasionados por la manipulación en la distribución y el transporte, entre otros [5]. Por otra parte, la importancia de usar materiales biodegradables para envases pues incorporan el desarrollo de componentes

 ISSN: 2007 8102

orgánicos como carboximetilcelulosa obtenida de desechos agrícolas, funcionando como protección al producto y la descomposición del recipiente, generando así valor ambiental [6]. Lindh et al. [7] indicó que la creación de envases biodegradables se considera una práctica indispensable en el desarrollo sostenible, con la particularidad que se distingue de envases comunes por la reducción de los recursos y desperdicios generados durante su ciclo de vida.

Por tanto, una selección adecuada del envase primario para el arándano azul *(Vaccinium corymbosum*) permitiría evitar riesgos mecánicos, químicos y microbiológicos como: la humedad, resecamiento, golpes, presencia de contaminación microbiana y migración de gases como el oxígeno, además de contribuir a la economía circular. El Arándano Azul es "Conocido científicamente como (*V. corymbosum*) este tipo de fruto es un arbustivo caducifolio hasta de 60 cm de altura, pertenece a la familia de las ericáceas y es apreciado principalmente por países como Estados Unidos". Tambien llamada Berry en inglés (baya), dado su forma esférica que mide de 1 a 2 cm de diámetro, cuyo color es azul intenso o suave (Blueberry). El arándano azul es un fruto que suele presentar ciertos cambios de acuerdo con las condiciones climatológicas con las que se encuentre relacionado, por ello, es catalogado como uno de los frutos climatéricos, esto quiere decir, que después de haber sido cosechados de la planta continúan con su proceso de maduración. Es importante destacar, que este fruto climatérico cuando alcanza su etapa de maduración suele experimentar ciertos cambios principalmente en el color, sabor y firmeza en la fruta; si no se cuenta con el adecuado sistema postcosecha el deterioro, ablandamiento, pérdida de sabor y de color son realidades inevitables en el fruto. Con esto es posible observar que contar con el adecuado envase para el fruto es uno de los temas importantes para los productores del arándano azul [8-9]. Este fruto, en los últimos años en México ha experimentado un gran crecimiento a nivel nacional y ocupa el cuarto lugar a nivel mundial, esto se debe principalmente a los usos cotidianos para lo que es utilizado. Actualmente, los Berries conocidos también como frutos del bosque (moras, fresas, zarzamoras y arándanos) y según la revista mexicana de comercio exterior, menciona que la producción de arándano azul en México va en incremento, registrando el 57% de exportación del arándano a Estados Unidos y el estado de Puebla según la Secretaría de Desarrollo Rural informó que 134 productores obtuvieron certificación orgánica por el programa Nacional orgánico del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (Nop-USDA) de la cooperación Alemana al Desarrollo sustentable (GIZ) [10].

Con respecto a lo anterior, es de suma importancia que se den a conocer envases que contribuyan a un consumo y producción responsable, señalado como objetivo de desarrollo sustentable de la agenda 2030 de la ONU, se considera relevante insertar la economía circular en la propuesta de un envase para el arándano azul, ya que al hablar de economía circular se manejan temas de producción establecidos por los distintos sectores productivos, diferentes autores proponen distintas definiciones para la economía circular, como Porcelli & Martínez [11] que la definen como: una estrategia que reduce el impacto negativo sobre el medio ambiente, ofreciendo una alternativa al modelo lineal empresarial tradicional (producir, consumir, desechar), se busca que el producto final genere valor y alcance un punto álgido con su consumo, es decir, su objetivo principal es aumentar la vida útil del producto, producir bienes con ciclos de vida largos. La economía circular es una alternativa factible en el sector agrícola, especialmente en la producción del arándano azul debido a que se pueden generar ciclos continuos de desarrollo aumentando el capital natural y optimizando recursos, además menciona que la economía circular, es una estrategia y competitividad empresarial, muestra que la economía circular ha generado un nuevo enfoque que admite establecer mejores estrategias que permitan el cuidado del medio ambiente, por ello, es importante mencionar que este término se basa en principios fundamentales sobre los cuales la economía circular ha establecido sus bases: Principio 1: Cuando se desea generar un cambio basado en la economía circular es necesario preservar y aumentar el capital natural, controlando los stocks finitos y equilibrando los flujos de recursos renovables, esto quiere decir, que el momento donde se requieran los recursos, el sistema circular los selecciona sabiamente y elige tecnologías y procesos que utilizan recursos renovables o del más alto rendimiento. Principio 2: La búsqueda de una optimización de los recursos es una de las bases importantes, dado que, por medio de un ciclo circular, se buscan siempre productos, componentes y materiales en su nivel más alto de utilidad, en los ciclos técnico, que permita reelaborar, renovar y reciclar. Principio 3: Promover la efectividad del sistema, mediante estrategias que permitan disminuir el daño causado a sistemas y áreas que afectan a las personas, tales como alimentos, movilidad, casas, educación, sanidad o entretenimiento, y gestionar externalidades tales como la contaminación del aire, el agua, la tierra, y el ruido, las emisiones de sustancias tóxicas y el cambio climático.

La economía circular ha revolucionado la manera de establecer los procesos productivos de bienes y servicios, para el caso del sector productivo del arándano no se encuentra excluido de este tema, por lo cual, con la apertura de estrategias sustentables dentro de su cadena de abastecimiento se fomenta el cuidado y preservación del

 ISSN: 2007 8102

medio ambiente. Por lo anterior, el presente trabajo propone realizar la selección de un envase amigable con el medio ambiente e idóneo para el manejo del arándano azul *(V. corymbosum*) de la región de Hueyapan, Puebla, promoviendo la gestión social y sustentable.

Metodología

Materia prima

Los frutos de arándano azul para el estudio fueron donados por la sociedad cooperativa "Xocotzin" situada en el municipio de Hueyapan, Puebla. Los frutos se dividieron en dos lotes y se almacenaron a temperaturas de congelación hasta su uso. La muestra 1 (M1) corresponde al arándano descongelado durante un tiempo de 2 h (675 g) y la muestra 2 (M2) que corresponde al arándano descongelado durante un periodo de 12 h (760 g).
Los envases primarios empleados fueron: el envase de paja de trigo (PT), envase de fécula de maíz (FM) y envase de polietileno tereftalato (PET) obtenidos del mercado de la región de Teziutlán, Puebla. Se evaluaron 4 envases por muestra.

Evaluación de los parámetros para la selección del envase

Para evaluar el envase adecuado se realizó una cinética considerando las variables de pH, sólidos solubles totales (SST, °Brix) a diferentes temperaturas (4, 7 y 20 ± 2 ºC) y durante 0, 24, 72 y 168 h de almacenamiento de M1 y M2.

Evaluación de los parámetros físico-químicos del arándano azul

Para el análisis físico-químico de las muestras durante el almacenamiento a diferentes temperaturas y en los diferentes tipos de envase se realizó la extracción del jugo de M1 y M2. El pH se determinó con un potenciómetro (ST20/Ohaus) y los SST se utilizó un refractómetro (Smartsmith) reportados como °Brix [12]. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

Recolección de datos

Para consolidar las bases del estudio realizado, se optó por trabajar mediante un enfoque de investigación mixto, un análisis de datos cualitativos y cuantitativos. Para el caso de la prueba a realizar se orientó a obtener información principalmente por medio de la observación, para ello durante un determinado periodo de tiempo se analizaron las condiciones del fruto al estar en contacto con distintos envases de materiales diferentes, así mismo se aplicó la medición de características cuantitativas como el peso, pH, temperatura, etc.

Se utilizó una bitácora o diario de campo, es decir, por medio de la observación durante un periodo de tiempo de 7 días se llevó a cabo el proceso de toma de nota para cada uno de los sucesos ocurridos con el arándano al estar en condiciones de temperatura totalmente distintas, así como su comportamiento al recurrir a envases de diferente material PT, FM y PET. Con los datos obtenidos con el instrumento de recolección se pasó a un proceso de esquematización de datos, a través de gráficas y tabulaciones, los cuales permitieron dar una lectura práctica a los datos recogidos durante la observación.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron reportados como la media + desviación estándar. Las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de los experimentos realizados durante el almacenamiento en envases de PT, FM y PET se realizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA por sus siglas en inglés) de una vía y la prueba de Tukey usando el programa MINITAB versión 16.

Resultados y discusión

Análisis cualitativo de la evaluación de los envases

En la Figura 1 se muestra los envases (PT, FM y PET) utilizados en el estudio. Las muestras (M1 y M2) almacenadas en los envases (Figura 2) experimentaron comportamientos diferentes, M2 presentó un proceso de descomposición después de 24 h independientemente de la temperatura de almacenamiento, debido al crecimiento microbiano. Este comportamiento puede deberse al daño estructural que presenta el fruto después de un proceso de descongelación prolongado. Dado que el arándano es un fruto climatérico que se caracteriza por la producción de etileno durante su maduración, la conservación de sus nutrientes, pigmentos y compuestos fenólicos responsables de su color y sabor son de gran importancia para el consumidor. Por ello, la selección del envase es de vital importancia, por lo tanto, monitorear los parámetros de acidez a través del pH y del contenido

 ISSN: 2007 8102

de sólidos solubles (°Brix), permite realizar la toma de decisiones en la selección del envase a utilizar, ya que estas variables afectan directamente la composición, pérdida y extracción de sus compuestos fenólicos (antocianinas) y su actividad antioxidante [13].

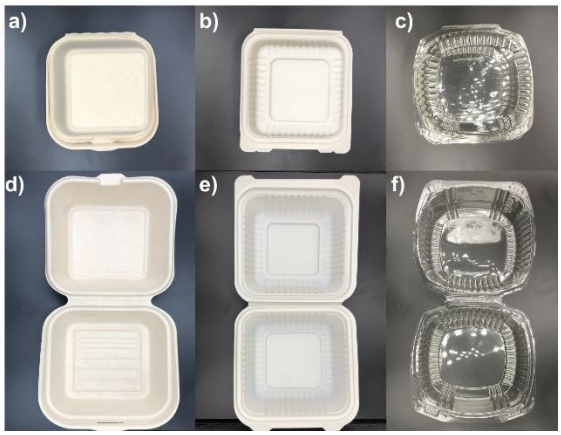


Figura 1. Envases primarios empleados para el desarrollo del proyecto. a y d) envase cerrado y abierto de PT; b y e) envase cerrado y abierto de FM; c y f) envase cerrado y abierto de PET.

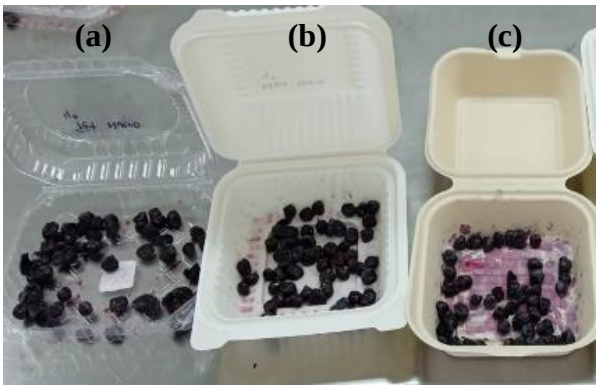


Figura 2. Frutos de arándano azul (M1) almacenados en PET (a), FM (b) y PT (c).

Evaluación de parámetros físico-químicos del fruto

Una de las características que presenta este tipo de fruto es la relación área superficial/volumen ya que, al ser mayor que otros frutos climatéricos es más susceptible a la deshidratación y con ello a la pérdida de agua, lo cual no favorece su conservación, viéndose afectados parámetros como la acidez y SST; lo que se ve reflejado de forma directa en el contenido de compuestos fenólicos presentes en el fruto. Por lo tanto, realizar la medición de este parámetro para los productores de la región de Hueyapan, Puebla es imprescindible debido a que es un indicativo del proceso de descomposición o senescencia del fruto. En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos de las cinéticas realizadas para los diferentes materiales empleados (PT, FM y PET), en todos los casos se obtuvo un aumento de pH en las primeras 24 h de almacenamiento. PT presentó un incremento del 28% después de 24 h a las diferentes temperaturas. Sin embargo, se observó que el almacenamiento a 4 °C el pH se mantiene estable hasta 168 h.

 ISSN: 2007 8102

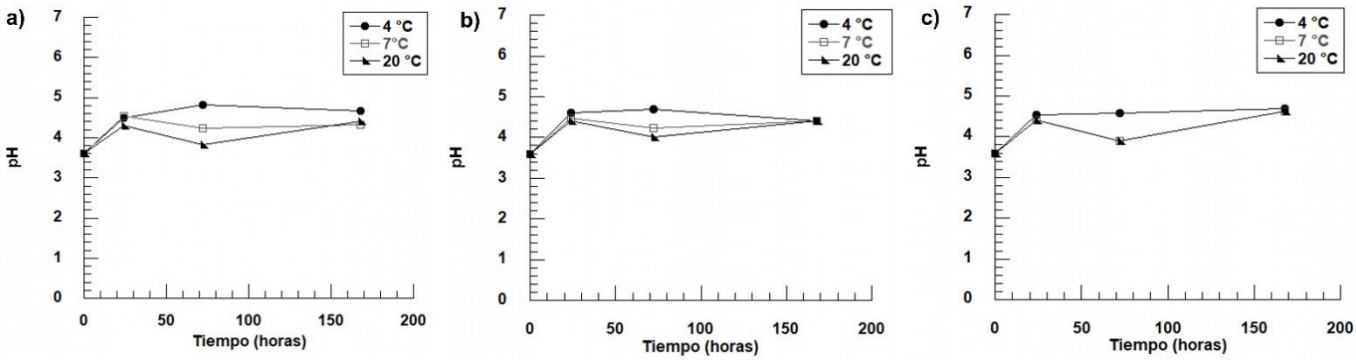


Figura 3. Cinéticas de pH del arándano azul *(V. corymbosum)* en envases primarios. a) FM, b) PT y c) PET.

Durante el proceso de maduración el fruto experimenta cambios en el contenido de azúcares, observándose un incremento lo que favorece al sabor que caracteriza al arándano. En la Figura 4 se puede observar el comportamiento de SST durante el almacenamiento. En las primeras 24 h se observó un incremento el cual se puede relacionar con la pérdida de peso que sufre el arándano durante su proceso de maduración derivado de la relación área superficial/volumen y que se ve reflejado en un incremento en la concentración de SST presentes en el fruto. Todas las muestras iniciales presentan un valor de 10 °Brix, valor que se encuentra por debajo de lo reportado por Bouzari et al. [14] quien menciona que los arándanos deben de cosecharse en un rango de 12 a 14 °Brix para tener una fruta con propiedades sensoriales deseables por el consumidor. Los resultados de los parámetros evaluados se propondrán a los productores de Hueyapan, Puebla con la finalidad de comercializar un fruto de buena calidad. Las muestras guardadas en FM presentaron una disminución de SST después de las 24 h independientemente de la temperatura empleada, lo que se relaciona con un proceso de fermentación del producto e indicaría que no sería un envase apto para la conservación del producto, resultados que concuerdan con los reportados para pH en la sección anterior.

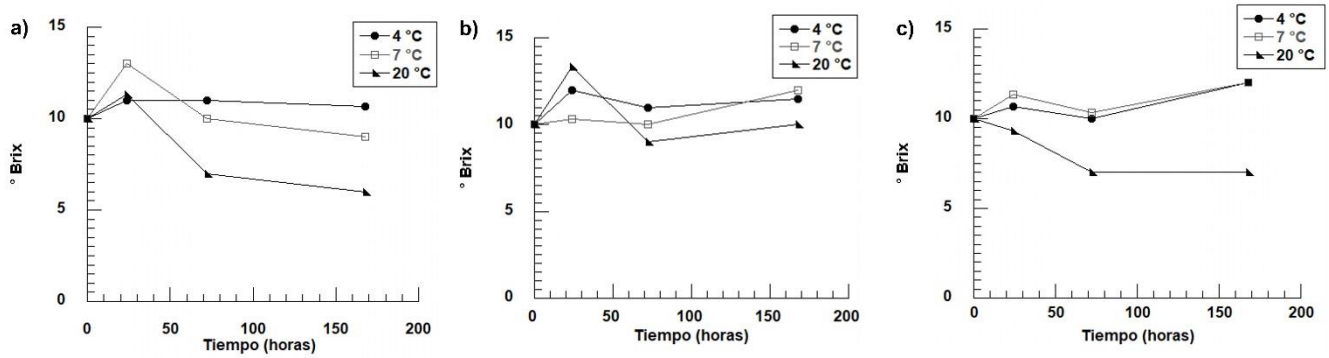


Figura 4. Cinéticas de °Brix del arándano azul *(V. corymbosum)* en envases primarios a) FM; b) PT; c) PET.

Considerando los principios básicos de la economía circular y haciendo referencia a la reducción de insumos y menor utilización de recursos naturales, específicamente en el apartado de buscar la optimización eficiente de los recursos naturales utilizados en los procesos productivos [11], la selección de un envase sustentable que permita un mejor manejo del arándano permitirá contribuir a los objetivos de la agenda 2030 específicamente en el objetivo número 12 “Producción y consumo responsable”, así como optimizar los recursos naturales en el proceso productivo y en este caso para consumo local como exportación. Siendo el envase de FM el más idóneo en comparación con PT y PET, contribuyendo a regresar a la tierra y en un periodo menor de degradación, como lo fundamenta la economía circular.

Gestión sustentable: Economía circular

Se ha evidenciado que un envase elaborado por almidón de maíz cuenta con características cualitativas y físicas y que su tiempo de degradación es aproximadamente de 90 días [15], por lo tanto, se considera idóneo por su tiempo de degradación, así como por el análisis realizado con anterioridad, dado que regresaría a la tierra en un movimiento circular contribuyendo al medio ambiente.

 ISSN: 2007 8102

El ciclo de vida de envases y embalajes comienza con la etapa de extracción de materias primas, las cuales son utilizadas para la producción de materiales e insumos, posteriormente viene la manufactura, produciendo envase y embalajes, consecutivamente, se presenta la distribución, puntos de venta o productos a envasar y comercializar [16]. Sin embargo, utilizar un envase que al final de su ciclo de vida puede ser enterrado pasaría a formar parte de residuos que al cabo de un determinado tiempo se incorporar a la tierra generando un menor impacto ambiental, por lo que se destaca la importancia de utilizar envases mas amigables con el ambiente.

Trabajo a futuro

Para hablar de trabajo a futuro de la utilización de los frutos es importante considerar que “Si conseguimos que el packaging sea el idóneo, las frutas y verduras frescas y recién cortadas se mantendrán óptimas más tiempo. Para que esto ocurra se deben considerar tres factores: la humedad, temperatura y la atmósfera con sus componentes modificadores. Las hortalizas y las frutas frescas son un atractivo dentro de nuestra alimentación. Sin embargo, estos alimentos tienen una rápida degeneración, descomposición y envejecimiento. Un mal aspecto de estos productos influye en el momento de la compra”. Haciendo énfasis a la anterior cita se considera un trabajo funcional para un sector productivo tan importante como el mercado de los arándanos, sin embargo, aún existen trabajos por realizar como embalajes, y la divulgación de los resultados a los productores de otras zonas del estado, así como agregar etiqueta de acuerdo con la norma NOM-EM-034-FITO-2000, código Price Look-Up, lo cual permitiría que se apoye a la economía circular, además de seguir contribuyendo en los objetivos de Desarrollo sustentable número 12 “Producción y consumo responsable” de la agenda 2030 de las Naciones Unidas [17-18].

Conclusiones

Se evaluaron diferentes tipos de envases (PT, FM y PET) mediante el comportamiento de los parámetros físico-químicos (pH y SST) del fruto. Los resultados indicaron que la temperatura de refrigeración presentó diferencias significativas entre los envases, debido a que los SST disminuyeron indicando un proceso de fermentación y descomposición de los mismos a 20 °C. En el caso de FM los frutos almacenados a 4 °C los parámetros físico-químicos se conservaron durante los 168 días. Por lo que, se puede concluir que FM es ideal para la comercialización del arándano azul, debido a que retarda el proceso de senescencia en el fruto evitando así la deshidratación del mismo. Por lo tanto, la propuesta de la aplicación de FM se dará a conocer a la sociedad cooperativa “Xocotzin”. En el presente estudio se evaluó únicamente el efecto de los envases en la conservación del fruto climatérico, es importante mencionar que es necesario conocer el tiempo de degradación del envase y ver el efecto que este pueda causar al medio ambiente. Sin embargo, al ser elaborado por polímeros como el almidón de maíz puede sugerirse que el periodo de degradación es menor al de otros recipientes utilizados en la industria alimentaria. Al ser un envase lavable, manejable para el consumidor, se puede re utilizar para otros fines o desecharlo dado su degradación ecológica (aproximadamente dos años), fomentando así el cuidado del medio ambiente y contribuyendo a la implementación de una economía circular en los procesos productivos del arándano azul.

Agradecimientos

A los productores de la Sociedad Cooperativa Xocotzin de RL de CV de Hueyapan Puebla, por su tiempo y apoyo brindado para la realización de trabajos en colaboración.

Referencias

[1] E. Rezvani Ghomi, F. Khosravi, M. A. Tahavori, and S. Ramakrishna, “Circular economy: a comparison between the case of Singapore and France,” *Materials Circular Economy*, vol. 3, no. 2, pp. 1-12, 2021.

[2] F. C. Mihai, S. Gündoğdu, L. A. Markley, A. Olivelli, F. R. Khan, C. Gwinnett, J. Gutberlet, N. Reyna-Bensusan, P. Llanquileo-Melgarejo, C. Meidiana, S. Elagroudy, V. Ishchenko, S. Penney, Z. Lenkiewicz, and M. Molinos-Senante, “Plastic pollution, waste management issues, and circular economy opportunities in rural communities,” *Sustainability*, vol. 14, no. 20, pp. 1-48, 2022.

 ISSN: 2007 8102

[3] M. S. Zaman, R. Zaman, and R. Sizemore, “Plastic pollution of the oceans: a review of marine plastic pollution and its environmental impacts,” *Advances in Science and Technology Research*, vol. 13, no. 1-2, pp. 1-8, 2019.
[4] Z. Boz, V. Korhonen, and C. Koelsch Sand, “Consumer considerations for the implementation of sustainable packaging: A review,” *Sustainability*, vol. 12, no. 2192,pp. 1-34, 2020.
[5] M. Palazzo, A. Vollero, and A. Siano, “Intelligent packaging in the transition from linear to circular economy: Driving research in practice,”*Journal of Cleaner Production*, vol. 388, no. 135984, pp. 1-13, 2023.
[6] J.S. Yaradoddi, N. R. Banapurmath, S. V. Ganachari, M. E. M. Soudagar, N. M. Mubarak, S. Hallad, S. Hugar, and H. Fayaz, “Biodegradable carboxymethyl cellulose based material for sustainable packaging application,” *Scientific Reports*, vol. 10, no. 21960, 2020.
[7] H. Lindh, H. Williams, A. Olsson, and F. Wikström, “Elucidating the indirect contributions of packaging to sustainable development: A terminology of packaging functions and features,” *Packaging Technology and Science*, vol. 29, no. 4-5, pp. 225-246, 2016.
[8] J. Shi, Y. Xiao, C. Jia, H. Zhang, Z. Gan, X. Li, and Q. Wang, “Physiological and biochemical changes during fruit maturation and ripening in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.),” *Food Chemistry*, vol. 410, no. 135299, pp. 1-11, 2023.
[9] L. M. Anaya-Esparza, A. Pérez-Larios, J. M. Ruvalcaba-Gómez, J. A. Sánchez-Burgos, R. Romero-Toledo, and E. Montalvo-González, “Funcionalización de los recubrimientos a base de quitosano para la conservación postcosecha de frutas y hortalizas,” *TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas,* vol. 23, pp. 1-14, 2020.
[10] O. A. P. Cruz, “Análisis de la cadena productiva del arándano en México y Chile,” *PORTES, Revista Mexicana de Estudios sobre la Cuenca del Pacífico*, vol. 12, no. 23, pp. 31-62, 2018.
[11] A. M., Porcelli and A. N. Martínez, “Análisis legislativo del paradigma de la economía circular,” *Revista Direito GV*, vol. 14, no.3, pp. 1067-1105,2018.
[12] E. Babiker, S. J. Stringer, H. F.akhanokho and P. Muńoz, “Combining High-throughput Phenotyping and Multivariate Analysis to Assess Fruit Quality Traits in Southern Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* Interspecific Hybrids) Germplasm Collection,” *HortScience*, vol. 58, no.7, pp.750-755, 2023.
[13] J. O. Onuh, N. L. Dawkins, and R. E. Aluko, “Cardiovascular disease protective properties of blueberry polyphenols (*Vaccinium corymbosum*): a concise review,” *Food Production, Processing and Nutrition*, vol. 5, no. 1, pp. 27, 2023.
[14] A. Bouzari, D. Holstege, and D. M. Barrett, “Mineral, fiber, and total phenolic retention in eight fruits and vegetables: a comparison of refrigerated and frozen storage,” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 63, no. 3, pp. 951-956, 2015.
[15] D. Datta, and G. Halder, “Effect of media on degradability, physico-mechanical and optical properties of synthesized polyolefinic and PLA film in comparison with casted potato/corn starch biofilm,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 124, pp. 39-62, 2019.
[16] O. Huerta, “Ecodiseño de envases para una economía circular,“ *Revista Chilena de Diseño: creación y pensamiento*, vol. 5, no. 9, pp. 1-12, 2020.
[17] X. Zhang, N. Chen, H. Sheng, C. Ip, L. Yang, Y. Chen, Z. Sang, T. Tadesse, T. P. Yee Lim, A. Rajabifard, C. Bueti, L. Zeng, B. Wardlow, S. Wang, S. Tang, Z. Xiong, D. Li, and D. Niyogi,“Urban drought challenge to 2030 sustainable development goals,” *Science of the Total Environment*, vol. 693, no. 133536, pp. 1-11, 2019.
[18] M. C. Giannakourou, and T. N. Tsironi, “Application of processing and packaging hurdles for fresh-cut fruits and vegetables preservation,” *Foods*, vol. 10, no. 4, pp. 830, 2021.

 ISSN: 2007 8102

Bioadsorción de Fe de aguas superficiales con alginato de sodio

F. Rodríguez-González[1], G. Pacheco-Vargas[1], S. V. Vargas-Solano[1]*
[1]Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CEPROBI)-Instituto Politécnico Nacional (IPN), Carretera Yautepec-Jojutla Km. 6, Calle CEPROBI No. 8, Col. San Isidro, Yautepec, Morelos, C.P. 62731, México.
**svvargass@ipn.mx*

***Área de participación**: Química*

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo estudiar la bioadsorción de Fe (hierro) de aguas superficiales con alginato de sodio. Para esto, se colectaron en 4 sitios de muestreo agua de la parte Norte del río Yautepec, se determinó el pH y la conductividad *in situ* y la concentración de Fe por espectrofotómetría de absorción atómica. Posteriormente estas muestras de agua fueron utilizadas para la bioadsorción de Fe con una solución de acuosa de alginato de sodio al 0.3 % p/v mediante el método de jarras, enseguida se determinó el pH, conductividad y concentración de Fe de las aguas. Las muestras de agua del río Yautepec tuvieron pH desde 6.41 hasta 8.25, conductividad de 105.5 hasta 1092 µS/cm y concentración de Fe de 3284 a 8410 µg/L y un % de bioadsorción de Fe superior al 97 % en la mayoría de las muestras.

***Palabras clave**: Bioadsorción, Alginato de sodio, Fe, aguas superficiales*

Abstract

The objective of this work was to study the bioadsorption of Fe (iron) from surface waters with sodium alginate. For this, water from the northern part of the Yautepec River was collected at 4 sampling sites, the pH and conductivity *in situ* were determined, and the Fe concentration by atomic absorption spectrophotometry. Subsequently, these water samples were used for the bioadsorption of Fe with an aqueous solution of sodium alginate at 0.3% w/v by means of the jar method, immediately the pH, conductivity and Fe concentration of the waters were determined. The water samples from the Yautepec river had a pH from 6.41 to 8.25, conductivity from 105.5 to 1092 µS/cm and Fe concentration from 3284 to 8410 µg/L and a% bioadsorption of Fe greater than 97% in most of the samples.

***Key words**: Bioadsorption, sodium alginate, Fe, surface water*

Introducción

Los metales pesados son elementos naturales que se encuentran en toda la corteza terrestre, son definidos como aquellos metales o metaloides con potencial de causar problemas de toxicidad que tienen una densidad mayor o igual a 5 g/cm^3. La exposición del ser humano a los metales pesados como el arsénico, cadmio, cromo, plomo y mercurio es considerada importante y prioritaria por el Sistema de Salud Pública, debido a su alto grado de toxicidad ya que pueden inducir un daño a múltiples órganos, incluso a bajos niveles de exposición [1].

Los metales pesados en la naturaleza se pueden encontrar libres y/o combinados con O-2, S-2, Cl-1, CO3-2, SO4-2, SiO3-2, NO3-1, PO4-3, en yacimientos naturales de la corteza terrestre. También, pueden estar presentes en el ambiente debido a las actividades humanas desarrolladas. Éstos son considerados contaminantes ambientales que no pueden ser capaces de destruirse o degradarse, por lo que pueden bioacumularse después de un tiempo de haber sido introducidos al cuerpo humano a través de los alimentos, aire o agua. La mayor parte de la contaminación ambiental puede ocurrir a través de la corrosión del metal, la deposición atmosférica, la erosión del suelo y la lixiviación de metales pesados; también por fenómenos naturales como la meteorización y

 ISSN: 2007 8102

las erupciones volcánicas; y por exposición humana como las operaciones de minería y fundición, la producción y el uso industrial, doméstico y agrícola de compuestos que contienen metales [2].

En la actualidad, la principal preocupación con relación al agua es la presencia de contaminantes químicos, los cuales pueden ser productos químicos orgánicos e inorgánicos en los cuales se incluyen los metales pesados. Los diferentes métodos utilizados en el tratamiento de aguas para eliminar contaminantes de diversas fuentes de agua como las residuales (municipales e industriales) generalmente se basan en las propiedades físicas o químicas de los contaminantes para ser removidos y son conocidos como métodos fisicoquímicos, entre los más utilizados destacan: precipitación, sedimentación, desinfección, cribado, adsorción, desarenación, filtración y sus variantes, coagulación, floculación y oxidación química [3].

En los últimos años, se ha probado el uso de materiales poliméricos naturales en el tratamiento del agua con el propósito de valorizar los recursos biológicos disponibles y eliminar el posible impacto negativo de los polímeros sintéticos en la salud humana debido a la presencia de sus residuos. Se ha sugerido que algunos polímeros naturales, como los polisacáridos, son moderadamente eficientes debido a sus bajos pesos moleculares y su alta estabilidad al cizallamiento, y se ha observado que son baratos y fácilmente disponibles a partir de recursos agrícolas y forestales reproducibles. Las ventajas adicionales de estos polielectrolitos naturales incluyen la seguridad para la salud humana, biodegradabilidad y un rango de dosis efectiva más amplio de floculación para varias suspensiones coloidales. Por lo tanto, los polímeros orgánicos naturales han sido estudiados en los últimos años, por su capacidad de floculación para reemplazar los coagulantes inorgánicos [4, 5].

El alginato de sodio es un compuesto utilizado ampliamente en la industria farmacéutica como agente espesante y gelificante debido a la afinidad por cationes divalentes y trivalentes, este material está compuesto por ácido α-L-gulurónico (1→4), ácido β-D-manurónico (1→4) (Ver Figura 1), por lo que es considerado un polielectrolito. Así mismo, las carrageninas son polímeros fuertemente aniónicos, de gran tamaño y peso molecular. Estas características, le confieren la capacidad de reaccionar con moléculas catiónicas y anfotéricas; también se caracterizan por ser solubles en agua, lo que permite generar soluciones de alta viscosidad y/o geles, debido a que poseen una estructura molecular lineal y una naturaleza polielectrolítica. Estas propiedades de ambos materiales son aprovechadas ampliamente en múltiples aplicaciones en la industria alimentaria.
Por otro lado, en los últimos años ha surgido un gran interés en el estudio de materiales polielectrolitos generados por microorganismos, animales y plantas, para su uso en el tratamiento de remoción de turbidez y metales pesados presentes en aguas superficiales, mediante el proceso de coagulación y/o floculación. Esto es debido a que son considerados de bajo costo, biodegradables, fuentes renovables y tienen la capacidad de remover más del 80% de impurezas como las arcillas (generadoras de turbidez alta) y metales pesados [6].

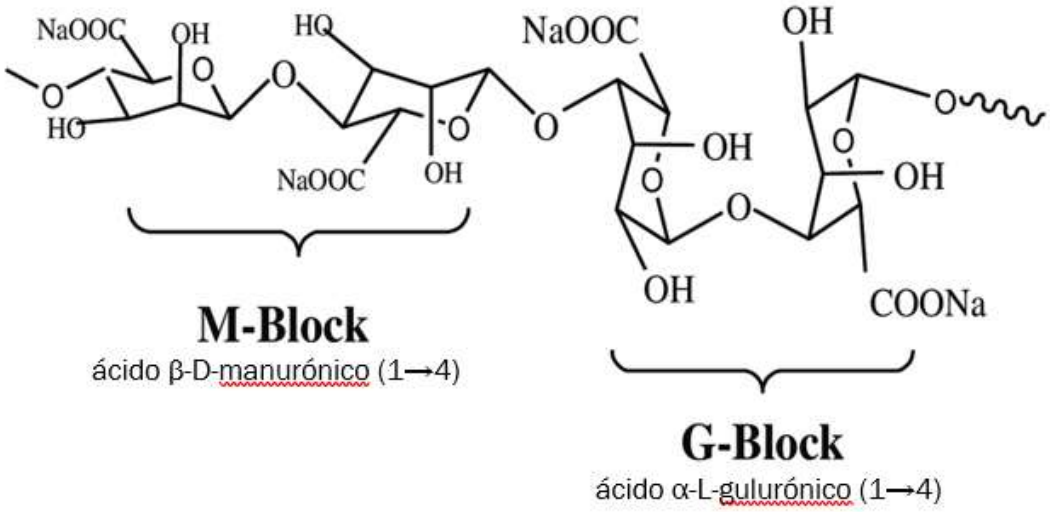


Figura 1. Estructura química del alginato de sodio

Wang et al. [7] estudiaron el uso de alginato de sodio en solución, tanto para la eliminación de metales pesados, así como para la recuperación de estos de aguas residuales sintéticas. Ellos utilizaron Pb 2+, Cu 2+ y Cd 2+ como modelo de metales pesados en aguas residuales. Estos autores agregaron la solución de alginato de sodio

 ISSN: 2007 8102

a las aguas preparadas con los diferentes iones metálicos, posterior a la gelificación centrifugaron las mezclas y los contenidos de metales pesados restantes en la fase líquida se midieron mediante un espectrómetro de absorción atómica de tipo llama. Los autores descubrieron que la eficiencia de eliminación de metales por gelificación aumentó a medida que aumentó el pH de 2 a 6 en la solución, reportando que el alginato exhibió una mayor afinidad de gelificación hacia Pb 2+ que Cu 2+ y Cd 2+, lo que permitió una eliminación selectiva de Pb 2+ de las aguas residuales. El objetivo de este trabajo fue estudiar la bioadsorción de Fe (hierro) de aguas superficiales con alginato de sodio.

Metodología

Materiales

Para el desarrollo de este estudio fue utilizado alginato de sodio de grado analítico (REASOL, Lote: 1463), ácido nítrico ultrapuro (HNO3) (Fermont), agua grado milli Q .

Colecta de aguas superficiales

Las muestras de agua del río Yautepec fueron colectadas en la zona norte del estado de Morelos durante el mes de diciembre de 2016. A estas muestras de agua se les determinaron algunos parámetros fisicoquímicos *in situ* a saber; pH y conductividad. Para la determinación de estos parámetros, se colocaron 200 ml de muestra de agua en un vaso de precipitado, posteriormente fueron introducidos el conductímetro (HM Digital, modelo *aqua pro*) y el potenciómetro (Oakton, modelo pH Testrs 30) y se registró la lectura de cada uno. Las mediciones fueron realizadas por triplicado. Las muestras fueron almacenadas en botes de polietileno a 4 °C en una cámara fría hasta su uso. Los botes con capacidad de 3.8 litros fueron lavados con agua desionizada e inmersos en una solución de ácido nítrico ultrapuro (HNO_3) al 2%.

Determinación de Fe en aguas superficiales

La determinación de Fe en las muestras de agua fue realizada de acuerdo con el método de calentamiento en placa. Para ello, después de la determinación de los parámetros fisicoquímicos fueron acidificadas las muestras de agua utilizando 2 ml de HNO3 ultrapuro por cada 500 ml, hasta obtener un pH ≤ 2. Enseguida cada probeta y vaso de precipitado Berzelius fue lavado previamente con su muestra de agua designada, después fueron medidos 500 ml de agua en la probeta, adicionados al vaso y éste fue colocado en una parrilla de calentamiento (Thermolyne, modelo Cimarec 2) la cual se introdujo dentro de una campana de extracción.

Las muestras fueron llevadas a calentamiento sin llegar a una temperatura de ebullición, hasta reducir el volumen a 25 ml aproximadamente; enseguida se le adicionó 1 ml de HNO_3 ultrapuro a cada muestra y el vaso fue cubierto con un vidrio de reloj para generar reflujo, hasta sequedad. Posteriormente cada muestra fue filtrada con papel filtro grado 41 (GE Whatman) y el sobrenadante fue recuperado en un matraz volumétrico de 50 ml, mismo que fue aforado con agua grado milli Q (libre de trazas de metales) y almacenado en un tubo tipo Falcon a una temperatura de refrigeración (4 ºC). Finalmente, las muestras fueron analizadas en un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer, Analyst 100) para determinar la concentración de hierro (Fe) mediante el método de flama.

Bioadsorción de Fe con alginato de sodio

Se elaboró una solución de alginato de sodio a una concentración de 0.3% p/v, utilizando agua tridestilada como disolvente y se llevó a una temperatura de calentamiento de 60 °C durante 10 minutos, manteniéndose en agitación constante.

El estudio de la capacidad de bioadsorción de Fe con alginato de sodio fue evaluado mediante el método de jarras [8]. Esta evaluación se realizó a 4 muestras de 500 mL de agua del río de Yautepec. Para esto, el agua se llevó a una agitación de 300 rpm durante 1 min, en el cual se adicionaron 50 mL de la solución de alginato de sodio. Posteriormente, las muestras de agua fueron agitadas a 80 rpm durante 30 min y se dejaron en reposo durante 10 min. El agua después del tratamiento de remoción fue centrifugada a 10, 000 rpm durante 8 min a una temperatura de 15 °C, enseguida se retiró el sobrenadante y a éste se le determinó el pH, la conductividad y metales pesados por el método antes descrito. El procedimiento de remoción de las 4 muestras de agua fue realizado por triplicado. Se utilizó agua tridestilada como blanco.

ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica de aguas superficiales

La Tabla 1 presenta los valores de los parámetros fisicoquímicos evaluados antes y después del proceso de remoción usando soluciones acuosas de alginato de sodio como coagulante natural en muestras de agua del río Yautepec. En ésta se puede observar que las aguas del río tuvieron un pH desde 6.41 hasta 8.25, por lo que la mayoría de las muestras están dentro de los valores permitidos por las normas nacionales e internacionales, excepto la muestra 1 que tuvo un pH por debajo al establecido en éstas. Los valores de pH bajos son atribuidos la presencia del volcán Popocatepetl, el cual se encuentra activo y días previos a la colecta del agua se había reportado la expulsión de cenizas y gases como el SO_2 que son liberados a la atmosfera, y a partir de ello se generan diversos tipos de ácidos por reacciones químicas [9].

También se puede observar que se modificaron los valores de este parámetro después del proceso de bioadsorción de Fe utilizando alginato de sodio como bioadsorbente, reduciendo o aumentando dichos valores en las muestras, lo cual permite que todas las muestras fueran adecuadas para uso y consumo humano al estar dentro de los valores establecidos por las normas.

Tabla 1.- Parámetros fisicoquímicos evaluados durante la bioadsorción de Fe con alginato de sodio

Muestra	Proceso	pH	Conductividad (µS/cm)
1	Inicial	6.41	893
	Final	6.66	829.6
2	Inicial	8.25	727
	Final	8.02	683.6
3	Inicial	6.75	105.5
	Final	6.56	133.3
4	Inicial	6.86	1092
	Final	7.39	1031.5

Respecto al parámetro de conductividad se obtuvieron en las aguas del río Yautepec valores desde 105.5 hasta 1092 µS/cm, siendo la muestra 3 la de menor conductividad y la muestra 4 la de mayor conductividad, respectivamente. Este resultado se relaciona con la presencia de iones metálicos provenientes de la desorción de iones metálicos liberados de las rocas (iones de minerales) que componen el suelo de la zona, además de los productos químicos utilizados en la agricultura [10].

También en este parámetro se obtuvieron modificaciones en los valores después del proceso de bioadsorción de Fe, reduciendo sus valores en la mayoría de las muestras, excepto en la muestra 3 que tuvo la conductividad inicial más baja de todas las muestras y posterior al proceso de bioadsorción incrementó dicho valor. Estos resultados se relacionan con la disminución de los iones metálicos en el agua en la mayoría de las muestras, debido a una interacción química con el alginato de sodio en el proceso de bioadsorción [10].

Cuantificación de Fe en aguas superficiales

La concentración de los metales pesados obtenida de las muestras de agua colectadas en el Río Yautepec, se muestran en la Tabla 2, así como los límites permisibles de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana para uso y consumo humano. La concentración de Fe presenta variaciones en las diferentes muestras estudiadas en la parte norte del río Yautepec que van desde 3284 hasta 8410 µg/L, observando que la mayor concentración de Fe se obtuvo en la muestra 2 y la menor concentración se obtuvo en la muestra 4. La presencia y alto contenido de Fe en el agua del río puede ser atribuido como una consecuencia de la actividad volcánica que genero la expulsión de ceniza volcánica recubierta superficialmente con sales solubles compuestas de hierro, las cuales también pueden aumentar la acidez [9].

ISSN: 2007 8102

Por otro lado, todas las muestras analizadas contienen concentraciones de Fe superior a la concentración establecida como límite permisible (300 µg/L) por la NOM-127-SSA1-2021, agua para uso y consumo humano [11], por tanto, todas las muestras estudiadas fueron seleccionadas para el proceso de bioadsorción de Fe con alginato de sodio para mejorar su calidad con respecto a la concentración de hierro.

Tabla 2.- Concentración de Fe durante el proceso de bioadsorción de Fe con alginato de sodio

Muestra	Fe Inicial (µg/L)	Fe Final (µg/L)
1	3618	94.3
2	8410	34.2
3	3284	1860
4	3260	55
SSA, 2022	300	

Las muestras de agua del río Yautepec después del proceso de bioadsorción de Fe con alginato de sodio obtuvieron concentraciones desde 34.2 hasta 1860 µg/L, observando que la muestra 2 tuvo la concentración de Fe más baja y que la muestra 3 fue la de mayor concentración de este metal pesado. Por lo tanto, las muestras estudiadas con la excepción de la muestra 3, después del proceso de bioadsorción usando soluciones acuosas de alginato de sodio obtuvieron concentraciones inferiores al límite establecido por la norma nacional.

La Figura 2 muestra gráficamente el porcentaje de remoción de hierro de cada una de las muestras de agua colectadas y estudiadas del Río Yautepec utilizando una solución de alginato de sodio. En las diferentes muestras analizadas se observan porcentajes de remoción de Fe superior al 97%, con excepción de la muestra 3 con el 43.3 %.

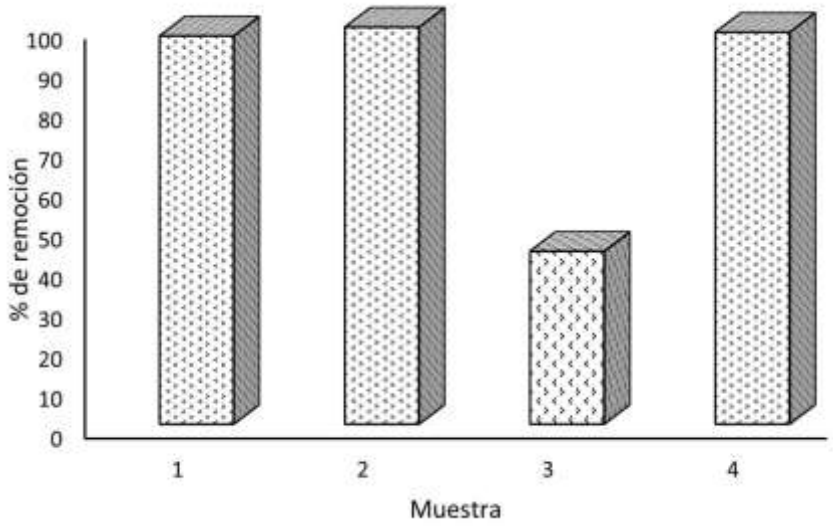


Figura 2. Porcentaje de remoción de Fe de muestras de agua del río Yautepec

 ISSN: 2007 8102

Los resultados obtenidos en las diferentes muestras sugieran que hay una interacción entre las cargas negativas de los grupos funcionales (hidroxilo, carbonilo y carboxilo) del polielectrolito utilizado (alginato de sodio) y las cargas positivas de Fe, produciendo una adsorción entre ellos que reduce o neutraliza las cargas de los metales mediante una interacción polímero-metal pesado [6].

Trabajo a futuro

El estudio de este material polielectrolítico (alginato de sodio) como bioadsorbente en la remoción de Fe del agua del río de Yautepec, mostró resultados favorables para éste; sin embargo, se sugiere continuar estudiando en trabajos de investigación futuros la caracterización del alginato de sodio mediante un análisis de FTIR antes y después de la remoción para confirmar que los grupos funcionales fueron los involucrados en el proceso de adsorción de Fe.

Conclusiones

En este trabajo se realizó un estudio de la caracterización fisicoquímica del agua del Río Yautepec mediante la determinación de pH, temperatura, conductividad y Fe; además de la capacidad del alginato de sodio como material bioadsorbente para el tratamiento de remoción de Fe en muestras de agua del río Yautepec. Los resultados obtenidos a partir de las determinaciones realizadas y la bioadsorción de Fe de este estudio se utilizaron para generar las siguientes conclusiones.

- La evaluación de la característica fisicoquímica del pH en las muestras de agua durante el proceso de bioadsorción de Fe podría servir como un indicador de remoción del metal pesado estudiado.
- El alginato de sodio estudiado removió el Fe del agua de Río Yautepec en diferentes %, debido a la influencia del pH inicial del agua y la concentración inicial de los iones metálicos.
- Las diferentes muestras estudiadas con la excepción de la muestra 3 obtuvieron concentraciones inferiores al límite establecido por la norma nacional, después del proceso de bioadsorción usando soluciones acuosas de alginato de sodio.

Agradecimientos

Los autores agradecen el soporte financiero a través del proyecto No. 2023 de la Secretaría de Investigación y Posgrado. Los autores agradecen el financiamiento al Sistema Nacional de Investigadores (SNII), CONACyT.

Referencias

[1] S. V. Vargas-Solano, F. Rodríguez-González, R. Martínez-Velarde, S. S. Morales-García and M. P. Jonathan, "Removal of heavy metals present in wáter from the Yautepec River Morelos Mexico, using *Opuntia ficus-indica* mucilage," *Environmental Advances*, Vol. 7, pp 100160, 2022.

[2] M. A. Hoaghia, O. Cadar, C. Moisa, C. Román and E. Kovacks, "Heavy metals and health risk assessment in vegetables grown in the vicinity of a former non-metallic facility located in Romania, " *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, pp. 40079–40093, 2022.

[3] J. Ma, S. Fang, P. Shi and M. Duan, "Hydrazine-Functionalized guar-gum material capable of capturing heavy metal ions, " *Carbohydrate Polymers*, vol. 223, pp. 115137, 2019.

[4] J. S. Castañeda-Figueredo, A. I. Torralba-Dotor, C. C. Pérez-Rodríguez, A. M. Moreno-Bedoya and C. S. Mosquera-Vivas, "Removal of lead and chromium from solution by organic peels: effect of particle size and bio-adsorbent," *Heliyon*, vol. 8, pp. e10275, 2022.

 ISSN: 2007 8102

[5] M. G. Antov, M. B. Šćiban, J. M. Prodanović, D. V. Kukić, V. M. Vasić, T. R. Đorđević and M. M. Milošević, "Common oak (Quercus robur) acorn as a source of natural coagulants for water turbidity removal, " *Industrial Crops & Products*, vol. 117, pp. 340–346, 2018.

[6] Weng, G. Yang, Y. Li, L. Xu, X. Chen, H. Song and C. X. Zhao, "Alginate-based materials for enzyme encapsulation," Advances in Colloid and Interface Science, Vol. 318, pp. 102957, 2023.

[7] Y. Wang, Y. Feng, X. F. Zhang, X. Zhang, J. Jiang and J. Yao, Alginate-based attapulgite foams as efficient and recyclable adsorbents for the removal of heavy metals, *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 514, pp. 190–198, 2018.

[8] ASTM D2035-19 (American Society for Testing and Material), "Standard Practice for coagulation-Flocculation Jar Test of Water," *ASTM Annual Book of Standar*, vol. 11.02, pp. 1-4, 20019.

[9] C.W. Firth, S.P. Turner, H.K. Handley, M.B. Turner, S.J. Cronin, G. Girard and I.E.M. Smith, "Rapid magmatic processes drive persistently active volcanism" *Lithos*, Vol. 380–381, pp. 105868, 2021.

[10] W. Su, Y. Ma, Q. W, Q. Yan, X. Lu, Z. Ma, L. Yi, X. Liu, F. Chen, F. Han and Z. Xu, "Effects of salinity and particle size on radium desorption from river sediments in the Qinghai-Tibet Plateau," *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 241, pp. 106771, 2022.

[11] SSA (Secretaria de Salud), Norma Oficial Mexicana NOM127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano-límites permisibles de la calidad del agua, 2022. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022.

 ISSN: 2007 8102

Actividad de fosfatasa ácida y ureasa en suelos citrícolas con manejo orgánico

K. C. Mar Cayetano[1], A. Hernández Cruz[2], C. B. Fosados Osorio[2], L. Chaires Martínez[2]*

[1]Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, km 7.5 Carretera Tuxpan-Tampico, Col. Universitaria, C.P. 92895, Tuxpan, Veracruz. México.
[2]Centro de Investigación en Alimentos y Ambiental. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache, km 6.5 Carretera Potrero del Llano-Tuxpan, C.P. 92750, Álamo Temapache, Veracruz. México.
**leandrochaires@yahoo.com.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen
En México, son pocos los trabajos sobre el estudio bioquímico de los suelos agrícolas. En el presente trabajo, se determinó y comparó la actividad de fosfatasa ácida y ureasa en suelos citrícolas con manejo orgánico y con manejo convencional. La actividad de fosfatasa se llevó a cabo por el método del *p*-nitrofenol y la ureasa mediante el método de la urea. Además, se determinaron parámetros fisicoquímicos como indicadores de fertilidad de los suelos. La actividad de fosfatasa fue mayor en el suelo orgánico (3644 µg PNP h^{-1} g^{-1}) y en el caso de la ureasa fue mayor en el suelo convencional (38333 µg NH_4 g^{-1} 2 h^{-1}). Con respecto a las propiedades fisicoquímicas, el suelo orgánico presentó mejores resultados. Este proyecto presenta datos importantes y necesarios para tomar decisiones acertadas sobre el manejo a mediano y largo plazo del suelo citrícola orgánico y de esta manera producir cultivos sustentables.

***Palabras clave**: Citricultura orgánica, fosfatasa ácida, ureasa*

Abstract
In Mexico, there are few works that address the biochemical study of agricultural soils. In the present work, the activity of acid phosphatase and urease in citrus orchard soils with organic and conventional management was determined. The activity of phosphatase was carried out by the method of p-nitrophenol and urease by the method of urea. In addition, physicochemical parameters were determined as indicators of soil fertility. Phosphatase activity was higher in organic soil (3644 µg PNP h^{-1} g^{-1}) and urease was higher in conventional soil (38333 µg NH_4 g^{-1} 2 h^{-1}). With regard to physicochemical properties, organic soil presented better results. This project presents important and necessary data to make sound decisions about the medium and long-term management of organic citrus soil and thus produce sustainable crops.

***Key words**: Organic citrus farming, acid phosphatase, urease*

Introducción
La agricultura moderna ha evolucionado para lograr altos rendimientos en los cultivos de interés comercial; sin embargo, las prácticas utilizadas no han sido sustentables y han provocado efectos adversos sobre suelos, agua y aire. Por tal motivo, la agricultura orgánica surge como una opción viable, amigable con el ambiente, para seguir expandiendo la agricultura y de esta manera satisfacer las necesidades de las generaciones futuras [1]. De acuerdo al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la agricultura orgánica se define como aquel sistema de producción agrícola que evita el uso de entradas artificiales; por ejemplo, el uso de fertilizantes, herbicidas, plaguicidas y hormonas. Son muchas las ventajas que se persiguen con la agricultura orgánica, como el disminuir la pérdida de suelos, uso de energía, agua y otros recursos no renovables; además, se busca mejorar las condiciones fisicoquímicas de los suelos y la actividad microbiana para beneficio de los cultivos [2].

 ISSN: 2007 8102

Las plantaciones de naranja a nivel mundial se producen en países como Brasil, Estados Unidos, México, España, China y Sudáfrica; cerca de 30 países producen y exportan cítricos orgánicos certificados, siendo Italia, Estados Unidos, Brasil, Costa Rica, Grecia y España los principales exportadores. Por consiguiente, existe aún un gran potencial para la expansión de las plantaciones orgánicas en muchos países [3]. En México, la producción de naranja por métodos convencionales se da principalmente en los estados de Veracruz y Tamaulipas (cerca del 69% de la producción total del país) [4]. De acuerdo a un informe del Gobierno de México, “es una prioridad en investigación la de mejorar las condiciones de producción de naranja en la modalidad orgánica”; y dentro de los resultados satisfactorios que se han logrado hasta el momento, es la obtención de rendimientos por arriba de las 14 ton/año. El manejo de huertas orgánicas se localiza al norte de Veracruz, pero sería económica y ambientalmente beneficioso que más regiones adopten dicho sistema [5].

Una vez que se ha transitado hacia las diferentes prácticas de la citrícultura orgánica, es importante esclarecer los efectos de estás sobre el desarrollo sustentable de los ecosistemas; ya sea mediante el análisis de las propiedades sensoriales y/o nutritivas de los frutos, el seguimiento de la productividad de los cultivos o bien sobre el estudio de los cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos [6-7]. La actividad y diversidad biológica en los suelos, son factores primordiales para el éxito de las plantaciones orgánicas. Los microorganismos del suelo producen enzimas que participan en la transformación bioquímica de la materia orgánica y en el reciclado de nutrientes [8]; por ejemplo, el grupo de las fosfatasas extracelulares microbianas o de exudados de las plantas, participan en la mineralización del fósforo orgánico [9] y la actividad de ureasas en la hidrólisis de la urea para producir carbonato de amonio, un compuesto inestable que lleva a la generación del gas amoniaco [10]. Pocos son los reportes del estudio biológico de suelos comparando huertas orgánicas y convencionales citrícolas [11-15], lo que denota la necesidad de seguimiento de este tipo de investigaciones.

El grupo de trabajo de la presente investigación, ha venido colaborando con un sector de citricultores del municipio de Tepetzintla, Veracruz: la asociación Tlalli Yeyetzin A.C., la cual por 15 años ha producido naranja con plantaciones libres del uso de agroquímicos; sin embargo, no cuentan con estudios científicos que avalen la calidad de sus productos ni estudios referentes al cambio en las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los suelos de cultivo. Por todo lo anterior, el objetivo del presente proyecto fue determinar el efecto del manejo orgánico sobre la actividad de fosfatasa ácida y ureasa en suelos de plantaciones de naranja orgánica, comparando los resultados con huertas de manejo convencional. Adicionalmente, se determinó la calidad de los suelos mediante indicadores de fertilidad.

Metodología

Área de estudio

Los muestreos de suelo se llevaron a cabo en la parcela 130 en el municipio de Tepetzintla, Veracruz, ubicada entre los paralelos 21° 08’ 47’’ y 21° 14’ 65’’ de latitud norte y los meridianos 97° 49’ 00’’ y 97° 81’ 69’’ de longitud oeste. Las plantaciones de naranja cuentan con 15 años sin el uso de agroquímicos. Para efectos de comparación, se llevaron a cabo muestreos en una huerta de naranja convencional, en la localidad de Santa Martha, municipio de Álamo Temapache, situada entre los paralelos 20° 47’ y 21° 12’ de latitud norte y los meridianos 97° 30’ y 97° 56’ de longitud oeste. Por último, se llevaron a cabo muestreos en un bosque subtropical perennifolio sin perturbación, ubicado en el municipio de Tepetzintla a un costado de la parcela 130.

Muestreo

La recolección de muestras de suelo se llevó a cabo según la NOM-021-SEMARNAT-2000 [16], mediante el método de zigzag, fijando 5 puntos de muestreo, en cada huerta de estudio. Brevemente, se colectaron 3 núcleos de suelo (5 cm de diámetro, 5-20 cm de profundidad) en cada punto de muestreo, se tamizaron (< 5 mm) y se guardaron en bolsas de plástico a 4°C para mantenerlas en condiciones óptimas antes del trabajo de gabinete.

 ISSN: 2007 8102

Diseño experimental
El estudio se llevó a cabo mediante un diseño de un factor. Cada huerta citrícola fue considerada como un tratamiento, al igual que el bosque perennifolio. En cada tratamiento se fijaron 5 puntos de toma de muestra y en cada punto se tuvieron 3 réplicas (3x5x3). Las variables independientes fueron el manejo convencional y el manejo orgánico; mientras que las variables dependientes fueron las actividades de fosfatasas, ureasas y parámetros fisicoquímicos del suelo.

Determinación de fosfatasa ácida
Se determinó la actividad de fosfatasa ácida mediante la liberación de *p*-nitrofenol (PNP) a partir de *p*-nitrofenil-fosfato (PNPP) [17]. Un gramo de suelo fresco se mezcló con 0.5 mL de tolueno por 15 minutos y posteriormente se incubó 1 h a 37 °C en un buffer conteniendo PNPP. La reacción se detuvo con NaOH 0.5 M, se filtró en papel Whatman #42 y la formación de PNP se determinó a 420 nm. La actividad de la fosfatasa ácida se expresa en µg PNP h^{-1} g^{-1}.

Determinación de ureasa
Para la determinación de ureasa, 2 mL de un buffer de fosfatos pH 7 y 0.5 mL de urea al 6.4%, se adicionaron a 0.5 g de suelo. Posteriormente se incubó a 30 ºC por 90 min. Se adicionó 10 mL de agua destilada y se liberó el amonio mediante la adición de 1 mL de NaOH 10 M. Para determinar el amonio desprendido, se adicionó 2 g de MgO y se colectó un destilado en 5 mL de ácido bórico. Se tituló el destilado con H_2SO_4 0.005 M. El gasto de cada mL de H_2SO_4 0.005 M es equivalente a 70 µg de N-NH_4 liberado en la reacción y la actividad se expresa en µg N-NH_4 g^{-1} 2 h^{-1} [17].

Análisis fisicoquímico
En orden de complementar la comparación entre los tratamientos, se mandaron a analizar muestras de suelo a la empresa Fertilab S.A. de C.V. (Celaya, Guanajuato). Se determinó pH, densidad real, densidad aparente, textura, materia orgánica, carbonatos totales, nitrógeno (N-nitrato), azufre (S-SO_4), conductividad eléctrica, bases intercambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio) y fósforo (P-Olsen).

Análisis estadístico
Todos los experimentos se llevaron a cabo por triplicado, reportando las medias y su desviación estándar. Así mismo, se compararon las medias entre tratamientos mediante un análisis de varianza (ANOVA) a una vía y con prueba posterior de Tukey para ver diferencias significativas ($P<0.05$) con el programa IMB SPSS statistics 20 (USA).

Resultados y discusión

Fosfatasas
En las prácticas agrícolas convencionales, se acostumbra aumentar la cantidad de fósforo (P) por medio de la aplicación de fertilizantes minerales; sin embargo, solo el 10-20% de este P mineral es utilizado efectivamente por los cultivos en una primera temporada de aplicación [18]. Por su parte, los fertilizantes orgánicos también pueden contribuir a la reposición de P orgánico y al suplemento de otros nutrientes para las plantas [19]. El proceso de mineralización de P orgánico (monoésters, diésters, fosfonatos) en P inorgánico (ortofosfatos, pirofosfatos, polifosfatos) disponible para las plantas se ha correlacionado con la actividad de fosfatasas ácidas y alcalinas [20]. En el presente trabajo, la actividad de fosfatasa ácida fue 184.4% mayor ($P<0.05$) en el suelo con manejo orgánico en comparación con el suelo convencional y con el suelo de bosque no perturbado (Figura 1 y Tabla 1). Los resultados mostraron el mismo comportamiento reportado por Luo y col. [21], quienes después de un meta-análisis de 599 mediciones procedentes de 106 estudios publicados, determinaron que el manejo orgánico de las tierras en comparación con el manejo convencional, incrementó el potencial de fosfatasas ácidas y alcalinas entre un 22% y 53%, respectivamente.

En la Tabla 1, se presenta una comparación de las investigaciones reportadas en literatura sobre la actividad de fosfatasas en diferentes tipos de suelo y de cultivo y en la Tabla 2 se muestra un resumen de la actividad de fosfatasas y ureasas determinada en el presente trabajo.

 ISSN: 2007 8102

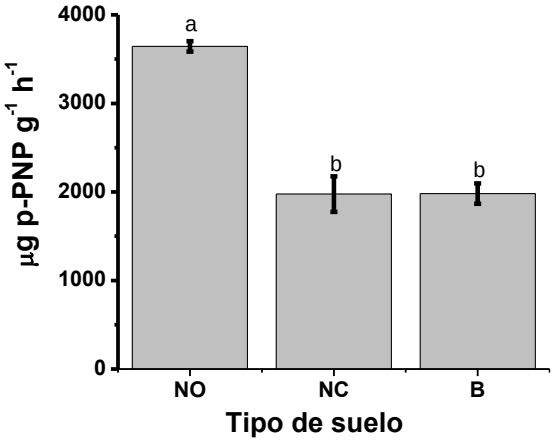


Figura 1. Análisis de fosfatasa ácida en los suelos con manejo orgánico (NO), convencional (NC) y el bosque subtropical no perturbado (B). Se muestra el promedio ± la desviación estándar; letras diferentes significa que existen diferencias con una *P<0.05*.

Tabla 1. Investigaciones sobre actividad de fosfatasas en suelos.

Cultivo	Actividad de fosfatasa ácida (µg PNP h^{-1} g^{-1})		Autores
	Convencional	Orgánico	
Naranja en suelo arcilloso con aplicación de lixiviados de lombricomposta e inóculos de hongos micorrizógenos	1976	3644	[1]
Microcosmos del suelo sin plantas y adicionado de lodos de aguas residuales	4170	55600	Pascual y col., [23]
Soya en suelo franco limoso	27-105	**	Fernández y col., [24]
Microcosmos del suelo sin plantas y adicionados de lodos de aguas residuales	293-478	301-1066	Criquet y Braud [25]
Tabaco en suelos arcillosos tratados con fertilizantes fosfatados	176-275	**	Toledo y col., [26]
Soya en suelos franco arenosos con diferentes historias de manejo orgánico	**	296-875	Fraser y col., [27]
Maíz en suelos Ultisoles y Oxisoles	190	215	Luo y col., [18]
Maíz y trigo en suelo Cambisol, adicionado de urea y superfosfato	200	**	Zheng y col., [28]
Avena y chícharo en invernadero con suelo franco arcilloso	146-167	**	Adetunji y col., [29]

[1]Datos del presente proyecto. **Datos no reportados.

Con respecto al análisis biológico y/o bioquímico en suelos citrícolas con manejo orgánico, Albiach y col. [14], reportaron que el manejo orgánico incrementó el contenido de materia orgánica en el suelo y la biomasa microbiana. Yu y col. [12], relacionaron el P total y P disponible para las plantas con la actividad de fosfatasas a pH neutro (55-190 µg PNP 3 h^{-1} g^{-1}) y a pH natural del suelo (77-295 µg PNP 3 h^{-1} g^{-1}). Aunque no compararon con suelos de manejo orgánico, su conclusión es importante, ya que proponen la actividad de las fosfatasas como índicador del P que es disponible para las plantas. Toledo y col. [22], determinaron entre 140 y 426 µg PNP h^{-1} g^{-1} en suelos ácidos

 ISSN: 2007 8102

bajo cultivo citrícola. Ge y col. [13], examinaron 4 tratamientos (manejo orgánico en invernadero, en campos abiertos y manejo convencional en invernadero y en campos abiertos); aunque no se monitoreo la actividad enzimática en los suelos, si se pudo observar que el manejo orgánico en invernadero aumento significativamente la biomasa microbiana y que esto permitirá promover esta técnica de cultivo como parte de las estrategías de la seguridad alimentaria a futuro. Wang y col. [14], evaluaron el efecto de labrar la tierra y sembrar plantas sobre la colonización de propagulos de hongos arbusculares micorrizógenos y sobre el cambio en las propiedades químicas y biológicas del suelo; en cuanto a la actividad de fosfatasa ácida reportaron hasta 2100 µg de hidrobenzeno por 2 h^{-1} g^{-1} en suelos cubiertos por plantas naturales y cultivados con mandarina. Pérez-Piqueres y col. [15], reportaron los efectos de distintos tratamientos (cubierta vegetal, manejo orgánico, solarización y manejo orgánico + solarización) sobre las principales propiedades bioquímicas y microbianas de suelos citrícolas durante un año completo; la actividad de fosfomonoesterasas y fosfodiesterasas varió entre 2-190 µg PNF h^{-1} g^{-1} y los resultados obtenidos indicaron que la solarización tuvo un efecto negativo en la actividad de las enzimas y los valores más altos de actividad se produjeron en los tratamientos orgánicos. Las investigaciones con respecto a la caracterización de suelos con manejo orgánico utilizando fosfatasas como sinónimo de fertilidad son pocos, pero es evidente que son necesarios para establecer estrategias sustentables en el desarrollo de cultivos citrícolas.

Ureasas

Las ureasas resultan un parámetro bioquímico importante a monitorear, ya que el nitrógeno (N), comúnmente se adiciona como urea en los terrenos de cultivo y el N de la urea se puede perder rápidamente mediante el proceso de producción y volatilización de amonio o mediante la lixiviación en forma de nitrato producto de la actividad de las ureasas y de otras enzimas, por lo que los investigadores buscan inhibir su actividad en los suelos para evitar la pérdida de N. Por ejemplo, Juan y col. [30], estudiaron los efectos de varios inhibidores de ureasa sobre sus propiedades cinéticas; concluyeron que el control de la humedad en el suelo es determinante para aumentar la eficiencia del uso de fertilizantes nitrogenados afectados por la ureasa. Dawar y col. [31], reportaron el uso de agrotain, un producto comercial, en campos de cultivo de arroz para incrementar el consumo de N en los plantíos. Khan y col. [32], prolongaron el tiempo en que se hidroliza la urea en campos de trigo mediante el uso sinérgico de aliltiourea y 1,2,4-triazol como inhibidores de ureasa. En el presente trabajo (Figura 2 y Tabla 2), los resultados indicaron mayor actividad de ureasas en el suelo del bosque subtropical perennifolio sin perturbación, seguido del suelo de uso convencional y luego el de manejo orgánico.

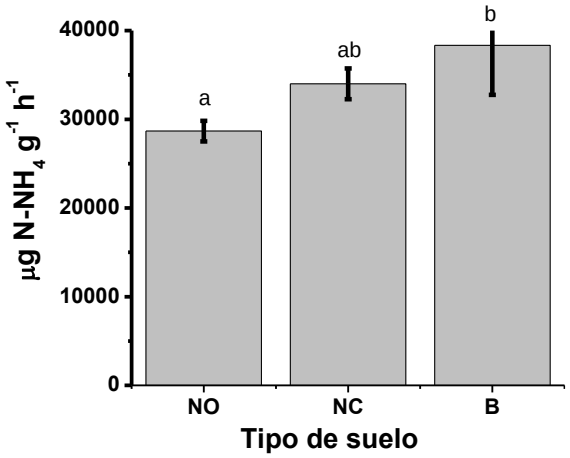


Figura 2. Análisis de ureasa en los suelos con manejo orgánico (NO), convencional (NC) y el bosque subtropical no perturbado (B). Se muestra el promedio ± la desviación estándar; letras diferentes significa que existen diferencias con una *P<0.05*.

De igual manera que con la actividad de fosfatasa, los estudios sobre la actividad de las ureasas en suelos de manejo orgánico son escasos; por ejemplo, Pascual y col. [23], reportaron valores de

 ISSN: 2007 8102

actividad de ureasa de 34, 74 y 189 µg NH_4 h^{-1} g^{-1} en ensayos donde adicionaron composta, residuos sólidos municipales y lodos residuales, respectivamente en microcosmos del suelo sin cultivo de plántulas. Wang y col. [14], reportaron hasta 680 µg NH_4 24 h^{-1} g^{-1} en cultivos de mandarina. Sun y col. [33], reportaron que la actividad de la ureasa se incrementó continuamente después de la aplicación de mantillo orgánico así como la conversión de N disponible, mineralización de N y amonio; los valores de actividad reportados alcanzaron hasta 25000 µg NH_4 d^{-1} g^{-1}. Adetunji y col. [29], reportaron valores de 48.71 y 43.75 µg NH_4 2 h^{-1} g^{-1} en cultivos de *S. cereal* y *A. sativa*, respectivamente; ellos concluyen que aún existen pocos estudios sobre el uso de enzimas para monitorear la calidad del suelo ante los cambios en el manejo de producción, pero que estos estudios pueden ser la clave para ello.

Tabla 2. Actividad de fosfatasas y ureasas determinadas en el presente trabajo.

Tratamiento	Actividad de fosfatasa ácida (µg PNP h^{-1} g^{-1})	Actividad de ureasas (µg NH_4 h^{-1} g^{-1})
Manejo convencional	3644 ±58.9^{a}	28667 ±1155^{a}
Manejo orgánico	1976.6 ±200.5^{b}	34000 ±1732^{ab}
Bosque sin perturbación	1851 ±115.2^{b}	38333 ±5774^{b}

Se muestra el promedio ± la desviación estándar; letras diferentes significa que existen diferencias entre tratamientos con una *P<0.05*.

Análisis fisicoquímico

En la Tabla 3 se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos efectuados a las muestras de suelo. Como se observó, el pH de las huertas estudiadas fue ligeramente alcalino. El pH óptimo debe estar entre 5.5-6.0 [35], aunque también se han reportado altos rendimientos en pH de 7.7 [35]. Los suelos estudiados presentaron texturas arcillosas y franco arcillosas y los valores de materia orgánica y cationes intercambiables fueron mayores (*P<0.05*) en las huertas orgánicas que las convencionales. El P-Olsen se correlacionó con los resultados de la actividad de fosfatasas descrita en secciones anteriores. Para el suelo de manejo orgánico se determinaron 2.11 ppm de P-Olsen, valores superiores inclusive con los del suelo de origen boscoso. Estos resultados son similares a los reportados por Garg y Bahl [36], quienes reportaron el efecto de la adición de estiércol sobre la actividad de fosfatasas y de la disponibilidad de P, demostrando un incremento del P-Olsen (0.23 µg g^{-1}) en los suelos adicionados con estiércol de aves de corral en cultivos de maíz. Los valores más altos de actividad de ureasa descritos en el presente trabajo, se correlacionaron a la mayor presencia de materia orgánica en el bosque y a la aplicación de fertilizantes nitrogenados en la huerta con manejo convencional. De igual manera se correlacionaron a los valores de $N\text{-}NO_3$ encontrados en cada sitio de muestreo, que indicaron menor concentración de N disponible para las plantas, tanto en el bosque como en la huerta convencional.

Tabla 3. Resultados de los parámetros fisicoquímicos de los suelos estudiados.

Parámetro	Tipo de plantación		
	Orgánica	Convencional	Bosque no degradado
pH	7.950±0.15^{a}	7.54±0.17^{b}	7.94±0.06^{a}
Da (g/cm³)	1.006±0.13^{a}	1.008±0.06^{a}	0.990±0.05^{a}
D_r (g/cm³)	2.420±0.38^{a}	0.981±0.13^{b}	1.79±0.67^{a}
Textura	Arcilloso	Franco Arcilloso	Arcilloso
M.O. (%)	3.240±0.01^{a}	3.38±0.02^{a}	5.41±0.01^{b}
K (ppm)	260±1^{a}	159±1^{b}	384±1.7^{c}
P-Olsen (ppm)	2.11±0.015^{a}	0.83±0.020^{b}	0.69±0.010^{b}
Ca (ppm)	7087±1.73^{a}	5633±1.00^{b}	7259±1.00^{a}
Mg (ppm)	224±1.00^{a}	182±1.00^{a}	284±1.73^{b}
$N\text{-}NO_3$ (ppm)	71.6±2.3^{a}	52.8±1.15^{b}	16.6±3.2^{c}
Carbonatos totales %	16.3±0.5^{a}	47.1±0.7^{b}	21.4±1.2^{a}
CE (dS/m)	1.25±0.06^{a}	1.05±0.04^{a}	0.58±0.6^{b}

Se muestra el promedio ± la desviación estándar; letras diferentes entre tratamientos significa que existen diferencias con una *P<0.05*.

Trabajo a futuro

El presente trabajo formó parte de la vinculación con la Asociación Tlalli Yeyetzin A.C. y dentro de las actividades programadas a corto y mediano plazo es el seguimiento de la actividad bioquímica de los suelos a través del tiempo; también el ampliar el estudio a la determinación de la actividad de otras enzimas, el estudio de la adición de hongos micorrizógenos y en general, enfocar investigaciones a la mejora de los suelos citrícolas y aumento de la productividad de los cultivos.

Conclusiones

Se demostró que los suelos con manejo orgánico presentaron mejores características fisicoquímicas y bioquímicas en comparación con los suelos de manejo convencional. La actividad de fosfatasas se vio reflejada en los valores de P-Olsen, lo que indicó que hay mayor concentración de P disponible para las plantas. La actividad de ureasas fue alta en comparación con los reportes de literatura, lo que implica establecer estrategias para inhibir su actividad y mejorar la retención de nitrógeno disponible para las plantas. La investigación representa los primeros estudios en México relacionados al tema del manejo de huertas orgánicas, y el entendimiento de los procesos biológicos y el reciclado de nutrientes en los diferentes terrenos de cultivo de nuestro país; estudio que tendrá implicaciones importantes para el manejo económico y ambiental, manteniendo la fertilidad de los suelos, evitando la degradación de los mismos y en general asegurando la soberanía alimentaria a mediano y largo plazo.

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento interno por parte del ITS Álamo Temapache/Tecnológico Nacional de México y a la Asociación Tlalli Yeyetzin A.C. por las atenciones brindadas.

Referencias

[1] A. Gamage, R. Gangahagedara, J. Gamage, N. Jayasinghe, N. Kodikara, P. Suraweera, and O. Mera, "Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture," *Farming System,* vol. 1, pp. 100005, 2023.

[2] K. Murmu, P. Das, A. Sarkar, and P. Bandopadhyay, "Organic agriculture; as a climate change adaptation and mitigation strategy," *Zeichen Journal,* vol. 8, no. 3, pp. 171-187, 2022.

[3] C. Turra, E. A. Fernandes, M. A. Bacchi, F. S. Tagliaferro, and E. J. Franca, " Differences between elemental composition of orange and juices and leaves from organic and conventional production systems," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry,* vol. 270, no. 1, pp. 203-208, 2006.

[4] SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, “Anuario estadístico de la producción agrícola,” *Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural*. *https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/***.** (accedido el 28 de julio de 2023).

[5] Secretaria de agricultura y Desarrollo Rural. "Naranja orgánica: una dulce oportunidad". gob.mx. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/una-agricultura-comercial-y-sustentable-es-posible?idiom=es (accedido el 28 de julio de 2023).

[6] H. Letaief, H. Zemni, A. Mliki, and S. Chebil, “Composition of *Citrus sinensis* (L) Osbeck cv <<Maltaise demi-sanguine>> juice. A comparison between organic and conventional farming,” *Food Chemistry*, vol. 194, pp. 290-295, 2016.

[7] S. Cao, Y. Zhou, Y. Zhou, X. Zhou, and W. Zhou, “Soil organic carbon and soil aggregate stability associated with aggregate fractions in chronosequence of citrus orchards plantations,” *Journal of Environmental Management*, vol. 293, pp. 112847, 2021.

[8] L. Balezentiene, "Hydrolases related to C and N cycles and soil fertility amendment: responses to different management styles of agro-ecosystems," *Polish Journal of Environmental Studies,* vol. 21, pp. 1153-1159, 2012.

[9] P. Nannipieri, L. Giagnoni, L. Landi, and G. Renella, "Role of phosphatase enzymes in soil," In: E.K. Bunemann *et al.* (eds.), Phosphorus in Action, Soil Biology 26, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, pp. 215-243, 2011.

[10] K. M. Udet, T. A. Larsen, M. Biebow, and W. Gujer, "Urea hydrolysis and precipitation dynamics in a urine-collecting system," *Water Research,* vol. 37, pp. 2571-2582, 2003.
[11] R. Albiach, R. Canet, F. Pomares, and F. Ingelmo, "Structure, organic components and biological actvity in citrus soils under organic and conventional management," *Agrochimica XLIII,* pp. 235-242, 1999.
[12] S. Yu, Z. L. He, P. J. Stoffella, D. V. Calvert, X. E. Yang, D. J. Banks, and V. C Baligar, "Surface runoff phosphorus (P) loss in relation to phosphatase activity and soil P fractions in Florida sandy soils under citrus production," *Soil biology and bikochemistry,* vol. 38, pp. 619-628, 2006.
[13] T. Ge, X. Chen, H. Yuan, B. Li, H. Zhu, P. Peng, K. Li, D. L. Jones, and J. Wu, "Microbial biomass activity, and comunnity structure in horticultural soils under conventional and organic management strategies," *European Journal of Soil Biology,* vol. 58, pp. 122-128, 2013.
[14] P. Wang, Y. Wang, and Q. S. Wu, "Effects of soil tillage and planting grass on arbuscular mycorrhizal fungal propagules amd soil properties on citrus orchads in southeast China," *Soil and Tillage Research,* vol. 155, pp. 54-61, 2016.
[15] A. Pérez-Piqueres, R. Albiach, A. Domínguez, and R. Canet, "Effects of soil preparation techniques on the biochemical properties and microbial communities of a citrus orchard after replanting and conversion into organic management," *Applied Soil Ecology,* vol. 119, pp. 8-17, 2017.
[16] SEMARNAT, http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf (accedido el 28 de julio de 2023).
[17] M. A. Tabatabai, Soil enzymes. In: R.W. Weaver, S. Angle, P. Bottomley, D. Bezdicek, S. Smith, A. Tabatabai, editors. Methods of Soil Analysis Part 2: Microbiological and Biological Properties. Madison (Wisconsin, USA), 7 Soil Science Society of America, pp. 775 – 833, 1994.
[18] S. Z. Sattari, A. F. Bouwman, K. E. Giller, and M. K. van Ittersum, "Residual soil phosphorus as the missing piece in the global phosphorus crisis puzzle," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* vol. 109, pp. 6348-6353, 2012.
[19] Z. Zhu, T. Ge, Y. Luo, S. Liu, and G. Guggenberger, "Microbial stoichiometric flexibility regulates rice straw mineralization and its priming effect in paddy soil," *Soil Biology and Biochemistry,* vol. 121, pp. 67-76, 2010.
[20] G. Luo, N. Ling, P. Nannipieri, H. Chen, W. Raza, M. Wang, S. Guo, and Q. Shen, "Long-term fertilisation regimes affect the composition of the alkaline phosphomonoesterase encoding microbial community of a vertisol and its derivative soil fractions," *Biology and Fertility of Soils,* vol. 53, pp. 375-388, 2017.
[21] G. Luo, B. Sun, L. Li, M. Li, M. Liu, Y. Zhu, S. Guo, N. Ling, and Q. Shen, "Understanding how long-term organic amendments increase soil phosphatase activities: Insight into phoD- and phoC-harboring functional microbial populations," *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 139, pp. 107632, 2019.
[22] D. M. Toledo, S. A. Arzuaga, H. C. Dalurzo, and S. Vázquez, "Actividad de la fosfatasa ácida en suelos rojos bajo distintos usos agrícolas," *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, 2009.
[23] J. A. Pascual, J. L. Moreno, H. Teresa, and C. García, "Persistence of immobilised and total uresase and phosphatase activities in a soil amended with organic wastes," *Bioresource Technology*, vol. 82, pp. 73-78, 2002.
[24] L. A. Fernández, M. A. Sagardoy, and M. A. Gómez, "Estudio de la fosfatasa ácida y alcalina en suelos de la región pampeana norte del área sojera argentina," *Ct. Suelo*, vol. 26, 35-40, 2008.
[25] S. Criquet, and A. Braud, "Effects of organic and mineral amendments on available P and phosphatase activities in a degraded Mediterranean soil under short-term incubation experiment," *Soil and Tillage Research*, vol. 98, 164–174, 2008.
[26] M. Toledo, H. Dalurzo, and S. Vázquez, "Fosfatasa ácida en Oxisoles bajo cultivo de tabaco," *Ct. Suelo*, vol. 28, pp. 33-38, 2010.
[27] T. D. Fraser, D. H. Lynch, J. Gaiero, K. Khosla, and K. E. Dunfield, "Quantification of bacterial non-specific acid (phoC) and alkaline (phoD) phosphatase genes in bulk and rhizosphere soil from organically managed soybean fields," *Applied Soil Ecology*, vol. 111, pp. 48-56, 2017.

 ISSN: 2007 8102

[28] M. M. Zheng, C. Wang, W. X. Li, L. Guo, Z. J. Cai, B. R. Wang, J. Chen, and R. F. Shen, “Changes of acid and alkaline phosphatase activities in long-term chemical fertilization are driven by the similar soil properties and associated microbial community composition in acidic soil,” *European Journal of Soil Biology*, vol. 104, pp. 103312, 2021.

[29] A. T. Adetunji, B. Ncube, A. H. Meyer, O. S. Olatunji, R. Mulidzi, and F. B. Lewu, “Soil pH, nitrogen, phosphatase and urease activities in response to cover crop species, termination stage and termination method,” *Heliyon*, vol. 7, pp. e05980, 2021.

[30] Y. H. Juan, L. J. Chen, Z. J. Wu, and R. Wang, “Kinetics of soil urease affected by urease inhibitors at contrasting moisture regimes,” *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 9, 125–133, 2009.

[31] K., Dawar, M. Zaman, J. S. Rowarth, J. Blennerhassett, and M. H. Turnbull, “Urease inhibitor reduces N losses and improves plant-bioavailability of urea applied in fine particle and granular forms under field conditions,” *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 144, pp. 41–50. 2011.

[32] M. Q. Khan, K. Rahman, U. Ghani, A. Basharat, S. A. Qamar, and M. Bilal, “Synergistic effect of inhibitors (allylthiourea and 1,2,4-triazole) on the activity of wheat soil urease to reduce nitrogen loss,” *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 2, pp. 100059. 2020.

[33] X. Sun, Y. Ye, Q. Ma, Q. Guan, and D.L. Jones, “Variation in enzyme activities involved in carbon and nitrogen cycling in rhizosphere and bulk soil after organic mulching,” *Rhizosphere*, vol. 19, pp. 100376, 2021.

[34] Secretaria de Agricultura Ganaderia Desarrollo Rural Pesca y alimentacion. (2016). Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257073/Potencial-C_tricos-parte_uno.pdf.

[35] M. A. Hondebrink, L. H. Cammeraat, and A. Cerda Bolinches, “The impact of agricultural management on selected soil properties in citrus orchards in Eastern Spain: A comparison between conventional and organic citrus orchards with drip and flood irrigation,” *Science of the Total Environment*, vols. 581-582, pp.153-160, 2017.

[36] S. Garg and G.S. Bahl, “Phosphorus availability to maize as influenced by organic manures and fertilizer P associated phosphatase activity in soils,” *Bioresource Technology,* vol. 99, pp. 5773-5777, 2008.

 ISSN: 2007 8102

Evaluación de la interacción de deflectores tubulares con impulsores radiales y axiales mediante modelos numéricos

J. Eduardo Lugo-Hinojosa [1], Sergio A. Martínez-Delgadillo[2], J. Antonio Yáñez-Varela[3], Israel Gonzalez-Neria[4], Alejandro Alonzo-García[5].*

[1]Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco y jesedulugo@yahoo.com.mx, [2]Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco y samd@azc.uam.mx, [3]Universidad Mexiquense del Bicentenario, Unidad de Estudios Superiores Tultitlán, catedraumb.jayv@gmail.com, [4]División de Gestión de la Producción, Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl, Nezahualcóyotl, Estado de México C.P. 57000, México. isrgonner@gmail.com, [5]CONACyT-Tecnológico Nacional de México/instituto Tecnológico de Nuevo León, Av. Eloy Cavazos No. 2001, Colonia Tolteca, Cd. Guadalupe, N.L., C.P. 67170, México. aalonzo@conahcyt.mx.

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

La interacción con los diferentes partes del tanque provea al fluido las condiciones de mezclado necesarias para el proceso seleccionado. Debido al alto costo de realizar modificaciones físicas a los componentes del tanque es preferible el uso de modelos numéricos pues estas herramientas nos permiten propones diversas modificaciones que puedan mejorar el desempeño del tranque agitado con un costo menor. Empleando dinámica computacional de fluidos (CFD) en este trabajo se analizó la interacción de los deflectores tubulares con un impulsor axial (PBT) y uno radial (Rushton) en el desempeño del tanque, así como los patrones de flujo que se generan en el tanque. Los resultados muestran que los deflectores tubulares reducen el consumo energético de manera significativa para ambos casos, sin embargo, al evaluar el flujo en diferentes zonas del tanque los deflectores tubulares presentan una reducción en las zonas más alejadas del impulsor.

***Palabras clave**: tanque agitado, deflectores tubulares, patrones de flujo, consumo energético.*

Abstract

The interaction with the different parts of the tank provides the fluid with the necessary mixing conditions for the selected process. Due to the high cost of making physical modifications to the tank components, the use of numerical models is preferable since these tools allow us to propose various modifications that can improve the performance of the stirred tank at a lower cost. Using computational fluid dynamics (CFD) in this work, the interaction of the tubular baffles with an axial impeller (PBT) and a radial impeller (Rushton) in the performance of the tank was analyzed, as well as the flow patterns that are generated in the tank. The results show that the tubular baffles significantly reduce energy consumption for both cases, however, when evaluating the flow in different areas of the tank, the tubular baffles present a reduction in the areas furthest from the impeller.

***Key words**: stirred tank, tubular baffles, flow patterns, energy consumption.*

Introducción

Los tanques agitados desempeñan un papel crucial en diversas industrias, especialmente en los sectores químico, farmacéutico, alimenticio y biológicos. Los tanques mecánicamente agitados son recipientes diseñados para mezclar y homogeneizar materiales líquidos o suspensiones, ofrecen varias ventajas e importancia en la industria al mejorar la transferencia de masa [1] que son necesarias para diversos procesos para la obtención de productos con valor agregado, algunas de sus principales aplicaciones pueden ser en la mezcla de sustancias homogéneas o heterogéneas.

Los tanques agitados permiten mezclar diferentes componentes líquidos o incluso sólidos en suspensión, garantizando una mezcla uniforme y homogénea. Esto es esencial para la producción de productos químicos, farmacéuticos, alimentos y bebidas, donde la calidad y la consistencia del producto final son críticas [2]. De igual manera los tanques agitados son empleados en procesos de transferencia de calor ya que ayuda a distribuir el

ISSN: 2007 8102

calor de manera más eficiente, lo que acelera los procesos de calentamiento o enfriamiento y mejora la eficiencia energética [3].

Cuando dentro del tanque ocurren reacciones químicas los tanques agitados son esenciales para llevar a cabo reacciones químicas controladas donde la calidad y selectividad es indispensable como lo son la industrias farmacéutica y alimenticia. La agitación adecuada garantiza una mezcla uniforme de reactantes y mejora la transferencia de masa, lo que optimiza la producción. La agitación constante ayuda a proporcionar condiciones óptimas para el crecimiento de los microorganismos y la producción de productos biológicos, como enzimas, antibióticos, alimentos fermentados y productos lácteos [4].

Metodología

Descripción del tanque agitado

El reactor consta de un tanque cilíndrico con fondo plano con un diámetro (*T*) y una altura del líquido (*H*) de 25 cm. En este trabajo se evaluó el efecto que tiene el remplazo de deflectores planos (DP) cuadrados con una anchura (w) de 1/10 *T* con deflectores tubulares (DT) formados por 4 tubos con un diámetro de 1/4 de pulgada [5], los impulsores empleados en este trabajo presentan dos comportamientos diferentes, el impulsor PBT genera principalmente un flujo axial mientras que el impulsor Rushton propicia un flujo radial, ambos impulsores tienen un diámetro (*d*) de 1/3 *T* [6], este se colocó a una altura con respecto del fondo igual a al diámetro del impulsor. Las condiciones de operación fueron a una velocidad de rotación de 500 rpm lo que garantiza un flujo turbulento, los casos empleados en este trabajo se muestran en la **Figura 1**.

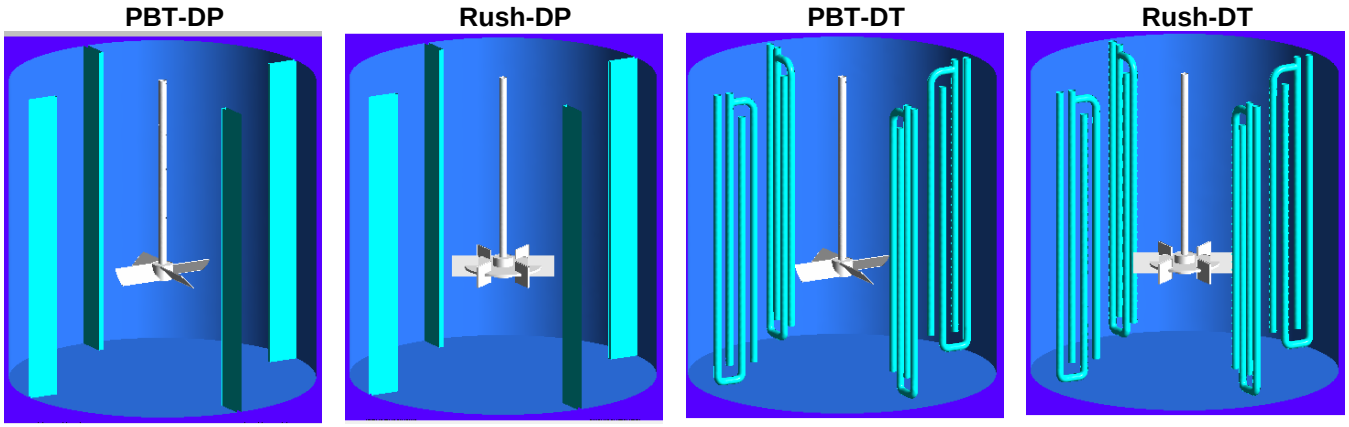


Figura 1. Casos empleados en este proyecto PBT con deflectores convencionales, PBT con deflectores planos, Rushton con deflectores planos, PBT con deflectores tubulares y Rushton con deflectores tubulares.

Evaluación de tanques agitados

Para la evaluación y descripción de los tanques agitados es común el uso de números, debido a que las ecuaciones que describen el proceso cambian con el tipo de régimen de operación es necesario determinarlo para el sistema descrito anteriormente mediante el número de Reynols (R_e) que se define para tanques agitados como:

$$R_e = \frac{\rho N D^2}{\mu} \qquad (1)$$

Donde ρ es la densidad del agua, N es la velocidad de agitación, D es el diámetro del impulsor, y μ es la viscosidad del agua a 20 °C. Debido a que el sistema se opera con una velocidad de agitación de 500 rpm ($R_e > 10^4$) es necesario involucrar el efecto de la turbulencia.

El número de bombeo (N_Q) es un parámetro adimensional que relaciona el caudal y la geometría del impulsor descrito por la ecuación (2). Donde Q es el caudal que es descargado a través del área efectiva de un impulsor generada al girar como se muestra en la **Figura 2**A por el impulsor en m^3s^{-1}, N es la velocidad de rotación del impulsor en s^{-1} y D es el diámetro del impulsor en m.

$$N_Q = \frac{Q}{ND^3} \qquad (2)$$

 ISSN: 2007 8102

Debido a que el N_Q está limitado solo a la zona inmediata del impulsor no es capaz de describir de una manera adecuada el flujo que se desarrolla a lo largo del tanque. Debido a lo anterior el flujo del tanque agitado se realizará mediante la cuantificación del flujo axial y radial que se puede obtener con las ecuaciones (3) y (4).

$$Q_{ax} = \int_0^{0.5T} \int_0^{2\pi} |V_{ax}^{+}| d\theta dr \qquad (3)$$

$$Q_{rad} = \int_0^{H} \int_0^{2\pi} |V_{rad}^{+}| dy d\theta \qquad (4)$$

Donde Q_{ax} y Q_{rad} es el caudal en obtenido al integrar la velocidad axial y radial positiva que pasa a través de una superficie distribuidas dentro del tanque en diferentes zonas de interés mostradas en la **Figura 2 B y C**.

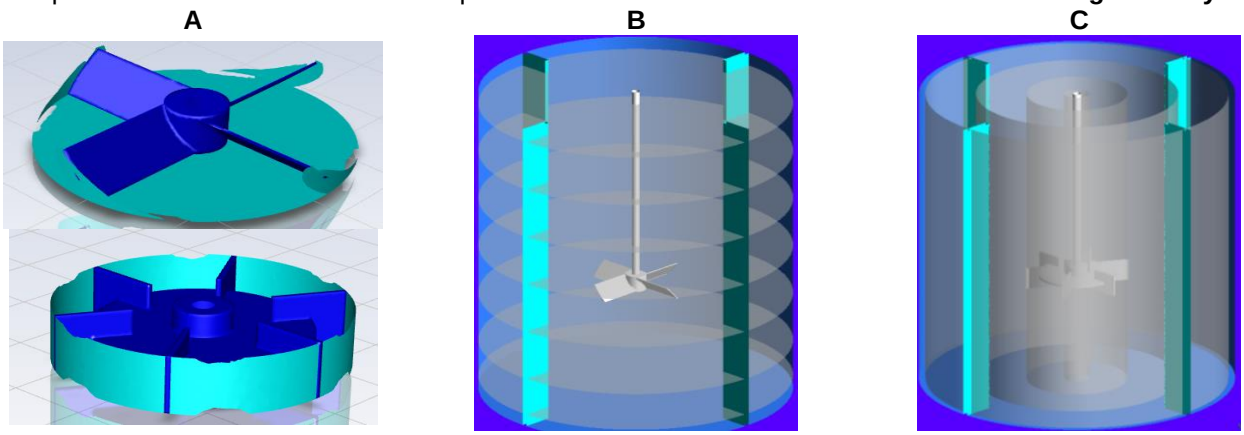


Figura 2. Superficies generadas para la evaluación del flujo A) inmediatas al impulsor, B) flujo axial y C) flujo radial.

El número de potencia (N_P) es un número adimensional que relaciona las fuerzas que se resiste al movimiento del fluido con las fuerzas inerciales descrito en la ecuación (5).

$$N_P = \frac{P}{\rho N^3 D^5} \qquad (5)$$

Donde *P* es la potencia que se aplica a un impulsor en W. *D* es el diámetro del impulsor en m, *ρ* es la densidad del fluido en kg m^{-3} y *N* es la velocidad de rotación del impulsor en s^{-1}. La potencia entregada al fluido (6) es producto de la velocidad del impulsor y el torque (τ) en N·m.

$$P = 2\pi N \tau \qquad (6)$$

Finalmente, para evaluar la calidad del mezclado de un impulsor se emplea en diversas ocasiones la eficiencia de bombeo (η_E) que relaciona el bombeo con la potencia consumida (7).

$$\eta_E = \frac{N_Q}{N_P} \qquad (7)$$

Ecuaciones del modelo

En este trabajo se utilizó un enfoque *RANS* que son las ecuaciones de Navier-Stokes con los promedios de Reynolds, esto para aproximar el fenómeno turbulento [7]. En este enfoque las propiedades de flujo como la velocidad (*u*) se describe mediante dos partes, una componente promedio (*U*) y una parte fluctuante (*u'*). Además de lo anterior y al suponer un flujo incompresible las ecuaciones de continuidad y las ecuaciones de momento quedan como:

$$\frac{\partial U_j}{\partial x_j} = 0 \qquad (8)$$

 ISSN: 2007 8102

$$\frac{\partial}{\partial x_j}\left(U_i U_j\right) = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{P}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\frac{\mu}{\rho}\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3}\delta_{ij}\frac{\partial U_i}{\partial x_i}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(-\rho u'_i u'_j\right) \quad (9)$$

Donde *U* es el vector de velocidad promedio en las diferentes direcciones en m·s^{-1}, *x* es el vector de posición en las diferentes direcciones en m y *P* es la presión en Pa. La ecuación de momento en la forma promediada (9) presenta el problema de cerradura debido al termino de los esfuerzos de Reynolds ($\rho u'_i u'_j$). La familia de modelos "κ-ε" están basados en la hipótesis de Boussinesq, que se introduce una nueva propiedad de flujo nombrada: la viscosidad turbulenta (μ_t), definida en la ecuación (10).

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{\kappa^2}{\varepsilon} \quad (10)$$

Esta nueva propiedad está en función de dos variables que son la energía cinética turbulenta (*κ*) descrita en la ecuación (11), y la tasa de disipación turbulenta (*ε*) mostrada en la ecuación (12).

$$\frac{\partial(\rho\kappa)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho U_i \kappa) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho \frac{v_{eff}}{\sigma_\kappa}\frac{\partial \kappa}{\partial x_i}\right) + \rho(P_\kappa - \varepsilon) \quad (11)$$

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho U_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho \frac{v_{eff}}{\sigma_\varepsilon}\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i}\right) + S_\varepsilon \quad (12)$$

Detalles de la simulación numérica

En esta sección se explican las consideraciones propuestas para la simulación. En las paredes del tanque como en la de los deflectores se estableció una condición de no deslizamiento, en la superficie libre del liquido se trató con una condición de simetrías es decir sin esfuerzo cortante en esta superficie, finalmente en las paredes del eje y del impulsor se configuro como una pared en movimiento. Para simular el movimiento rotacional del impulsor, se empleó el enfoque MRF. Para ello, se delimitó una zona cilíndrica en el dominio computacional alrededor del impulsor, conocida como referencia móvil (MRM), en esta zona, las celdas adquieren la velocidad angular deseada para simular el movimiento. El resto del dominio se considera una referencia estática (MRE) como se muestra en la **Figura 3**. El modelo MRF permite simular el movimiento rotatorio con un bajo coste computacional y con resultados aceptables para aproximar el flujo en tanques agitados [8].

Para crear el dominio computacional se utilizaron herramientas de dibujo asistido por computadora (CAD). Posteriormente, se exportó al módulo de ANSYS DesignModeler para obtener el dominio computacional, posteriormente, se utilizó el módulo de mallado para dividir el dominio computacional en partes mas pequeñas llamado mallado. Finalmente, para resolver el conjunto de ecuaciones algebraicas que describen el campo de flujo en estado estacionario, se empleó el algoritmo SIMPLE (Semi-Implicit Pressure Linked Equations) y se aplicaron esquemas de discretización de segundo orden a todas las variables involucradas en el cálculo además de establecer valores 1*10-4 para los residuales de continuidad y las componentes de la velocidad.

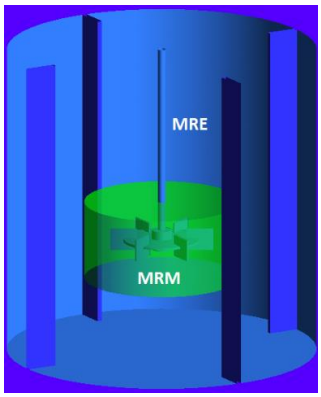


Figura 3. Esquema de simulación MRF.

ISSN: 2007 8102

Independencia de malla

La independencia de malla es un paso crucial en la dinámica de fluidos computacional (CFD) debido a su impacto en la precisión y confiabilidad de los resultados. Una malla adecuadamente refinada garantiza que los resultados de la simulación sean precisos y se acerquen lo más posible a la solución exacta. Al verificar la independencia de malla permite determinar la densidad óptima de la malla para obtener resultados precisos, al encontrar el equilibrio adecuado entre la resolución de la malla y el costo computacional es posible optimizar el tiempo de cálculo y los recursos requeridos para realizar la simulación.

El uso del índice de convergencia de malla (GCI por sus siglas en inglés) permite analizar los resultados de la independencia de malla de manera ordenada y sistemática [9]. Como primer paso, se generan mallas cuidando de duplicar el número de elementos (*r*=2) como se muestra en la **Figura 4** centrándose en zonas de interés como lo es en la zona circundante al impulsor y los deflectores.

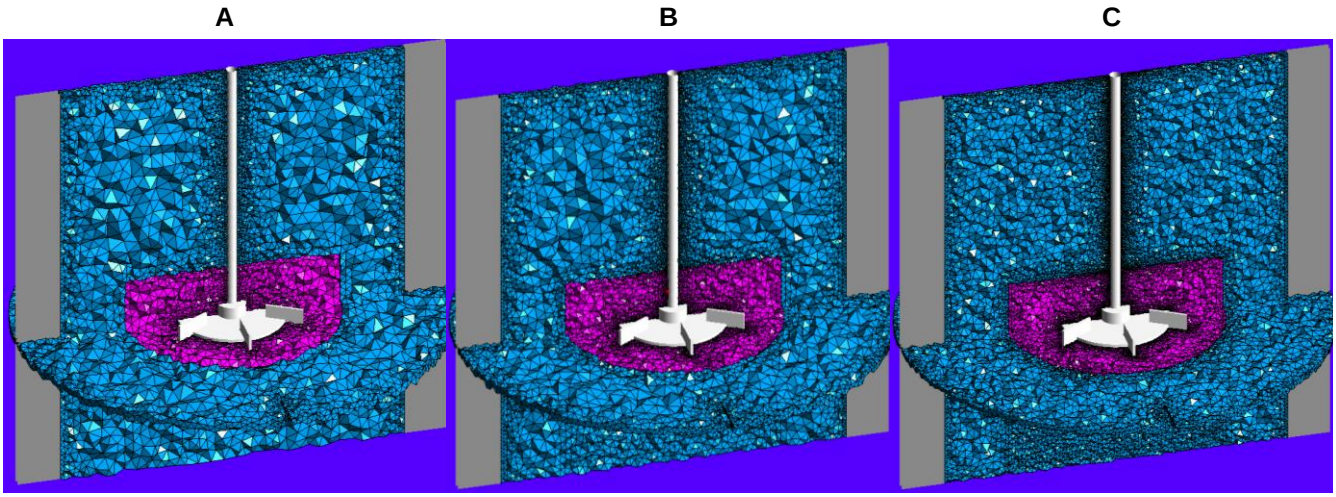


Figura 4. Independencia de malla A) malla gruesa, B) malla media y C) malla fina.

Posteriormente se programa la solución y se comparan los resultados obtenidos de los parámetros de interés como el torque, el flujo masico y la presión dinámica mostrados en la **Tabla 1**. El GCI empleado en este trabajo se describe en la ecuación (13) que indica el cambio de la solución obtenida por las diferentes mallas generadas.

Tabla 1. Descripción de parámetros de diferentes mallas caso Rushton con deflectores planos.

Malla	No. De elementos	Torque [N m]	flujo masico [kg/s]	Pres. dinámica [Pa/m^3]
M 1	760,868	0.2326	3.577	60.99
M 2	1,538,746	0.2351	3.615	59.94
M 3	3,001,860	0.2351	3.613	59.70

$$GCI_{ij} = \frac{Fs}{r^m - 1}\left|\frac{f_i - f_j}{f_i}\right| \quad (13)$$

Donde *f* es un parámetro para analizar (torque), los índices *i* y *j* representa los valores obtenidos entre dos de las diferentes mallas. Fs es un factor de seguridad con un valor de 1.25 para tres tamaños de mallas diferentes, *m* es el orden de convergencia de la solución dada por la ecuación (14).

$$m = ln\left(\frac{f_3 - f_2}{f_2 - f_1}\right)\frac{1}{ln\,(r)} \quad (14)$$

 ISSN: 2007 8102

Además, se analizó el rango asintótico de convergencia (*asyR*) (15) que indica si la solución permanece constante al obtener valores cercanos a 1.

$$asyR = \frac{GCI_{23}}{r^m GCI_{12}} \approx 1 \qquad (15)$$

Con el enfoque de GCI nos permite determinar si las variables seleccionadas logan una independencia de malla, en el caso de R-DP podemos observar que en la **Tabla 2** que $asyR$ alcanzado para diferentes parámetros logra valores cercanos a 1 por lo que podemos concluir que la malla media es una malla independiente.

Tabla 2. Resultados obtenidos de GCI para el caso base.

Variable	m	GCI12	GCI23	asyR
Torque [N m]	-5.90	79.8095	1.3258	0.989
flujo masico [kg/s]	-4.77	36.0985	1.3120	0.9901
Pres. dinámica [Pa/m^3]	-2.11	9.2520	2.1824	1.017

Esta metodología se repitió para todos los casos presentados obteniendo resultados similares con mallas independientes con más de 1 millón de elementos.

Evaluación global de parámetros

En la **Tabla 3** se presentan los parámetros globales de potencia consumida por agitación, así como el flujo volumétrico calculado en las zonas de descarga del impulsor para los diferentes arreglos propuestos en este trabajo.

Tabla 3. Parámetros de potencia y bombeo para los diferentes casos estudiados.

Caso	N_P	N_Q	$\eta_E = \frac{N_Q}{N_P}$
PBT-DP	1.22	0.79	0.66
PBT-DT	1.06	0.84	0.79
Rush-DP	5.30	0.75	0.14
Rush-D	4.07	0.65	0.16

Como se muestra en la **Tabla 3** se encuentra el caso DP que permite establecer un límite de la potencia consumida y explorar el efecto de los deflectores tubulares. En el caso del PBT al intercambian los deflectores convencionales con deflectores tubulares hay una reducción del N_P del 15%, de igual manera el bombeo con esta configuración se incrementa en un 5% por lo que al revisar la eficiencia de bombeo presenta valores superiores a los ofrecidos por los deflectores planos, sin embargo, es necesario analizar el flujo en diferentes zonas del tanque para discernir los efectos de los DT en las condiciones de mezclado dentro del tanque. Por otro lado, al analizar el efecto de los DT en el impulsor Rushton podemos observar que la potencia se reduce en un 30% pero también presenta un inconveniente al reducir el N_Q en un 15% lo que repercute en la eficiencia de bombeo al obtener en ambos casos una diferencia mínima entre ambos casos. Debido a que los deflectores tubulares pueden ser empleados con una doble función es necesario analizar el efecto de incrementar el número de deflectores, así como el patrón de flujo que se genera con el impulsor PBT.

Flujo axial y radial

En la **Figura 5A** se muestran los perfiles del flujo axial para los diferentes casos en el caso del PBT con deflectores tubulares presentan un desempeño superior en la parte baja del tanque, sin embargo, en la parte alta (0.6<y/H<0.1) los deflectores planos presentan un mejor flujo en esta zona lo que permite proveer condiciones homogéneas en toda la altura del tanque ya que al tener un flujo limitado en esta zona puede generar zonas estancadas. Es los casos donde se utiliza los impulsores Rushton **Figura 5B** cuando se reemplazan los deflectores convencionales con los tubulares se puede apreciar que en la parte baja del tanque (0<y/h<0.35) una marcada reducción en el flujo axial, mientras que en la parte media del tanque (0.35<y/h<0.65) el desempeño de los deflectores es muy parecido pero al acercarse a la superficie (0.65<y/h<1) los deflectores planos presentan

 ISSN: 2007 8102

un mayor flujo, estos resultados son un indicador de que a medida que nos alejamos del impulsor el efecto de los deflectores tubulares se ve reducido.

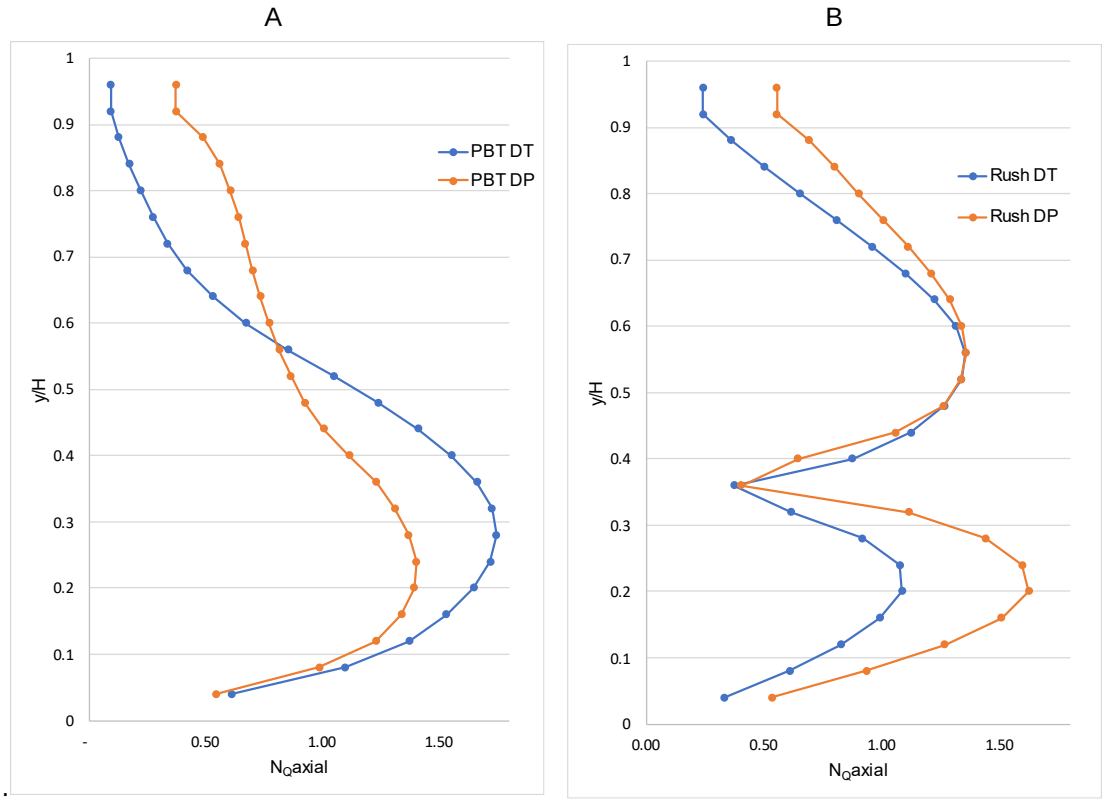


Figura 5. Efecto de los DT en el número de bombeo axial para diferentes casos A) PBT y B) Rushton.

En la **Figura 6** se muestran el efecto de los deflectores tubulares, los casos donde se emplea un impulsor Rushton presenta un mayor flujo radial, lo que es esperado ya que este tipo de impulsor promueven este flujo dentro del tanque, en los casos que emplean el PBT presentan un comportamiento muy similar con ambos deflectores sin embargo es ligeramente superior para el caso de los deflectores planos, por otra parte se puede apreciar una reducción a considerar en el caso Rush-DT en el flujo radial debido a la presencia de los deflectores tubulares lo que concuerda con la **Tabla 3** pues al reducirse el N_Q el caudal que descarga el impulsor se reduce disminuyendo de esta manera el flujo en diferentes zonas del tanque.

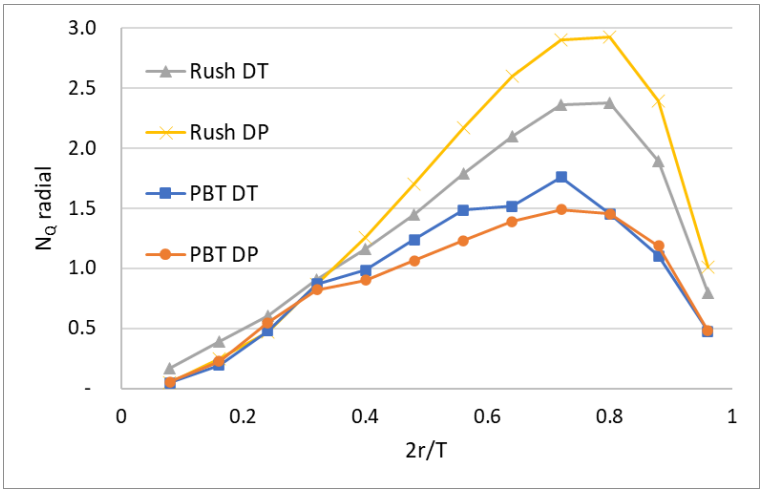


Figura 6. Efecto de los DT en el número de bombeo radial para diferentes casos.

En la **Figura 7** se muestran los contornos de velocidad axial en diferentes zonas del tanque con la intención de avaluar el desempeño de los deflectores, en el caso de los deflectores planos promueven un flujo axial tanto

 ISSN: 2007 8102

ascendente como descendente en toda la altura del tanque para los dos impulsores presentados en este trabajo, en contraste con lo anterior los deflectores tubulares presentan deficiencias al no favorecer el flujo axial en zonas altas del tanque y en la parte inferior para el impulsor Rushton, este efecto se le puede atribuir a la separación entre los deflectores pues con este arreglo el flujo puede pasar entre los tubos que forman el deflector en lugar de redireccionarlos hacia arriba.

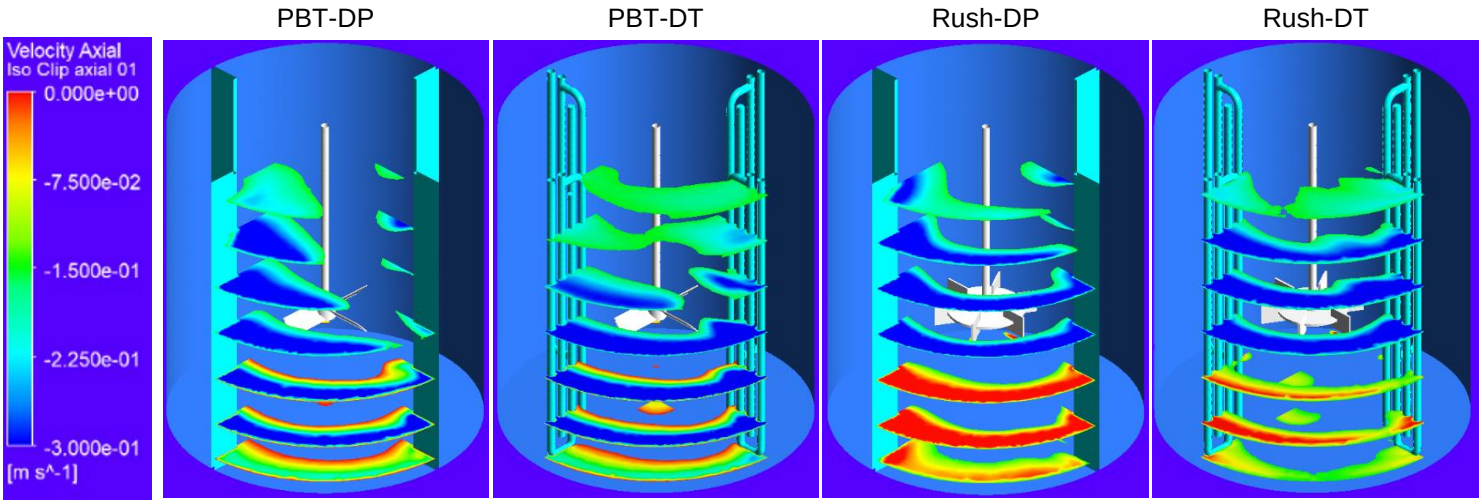


Figura 7. Contornos de velocidad axial en diferentes alturas del tanque.

Patrones de flujo

Con el propósito de entender las alteraciones del flujo dentro del tanque agitado generado por los deflectores tubulares se presenta la **Figura 8**. En el caso PBT-DP el flujo se promueve por el impulsor hacia el fondo del tanque en donde comienza a subir por las paredes del tanque hasta la superficie donde se desvía hacia el centro del tanque y finalmente competa su recorrido al pasar por el impulsor, por otro lado en el caso PBT-DT el comportamiento es similar con la excepción de que el flujo que asciende por las paredes decrece en una altura aproximadamente en y/h=0.6 concordando con lo mostrado en la **Figura 5A**. por otra parte al evaluar el caso Rush-DP presenta dos bucles de circulación típicos para un impulsor radial, se observa que como consecuencia de los deflectores tubulares el flujo en este arreglo se ve severamente afectado principalmente en la zona inferior del tanque explicando de esta manera lo mostrado en las **Figura 5B** y **Figura 6**. En los casos donde se emplean los deflectores tubulares se observa un bucle circular en la zona superior del tanque que debe ser considerado para ciertas aplicaciones.

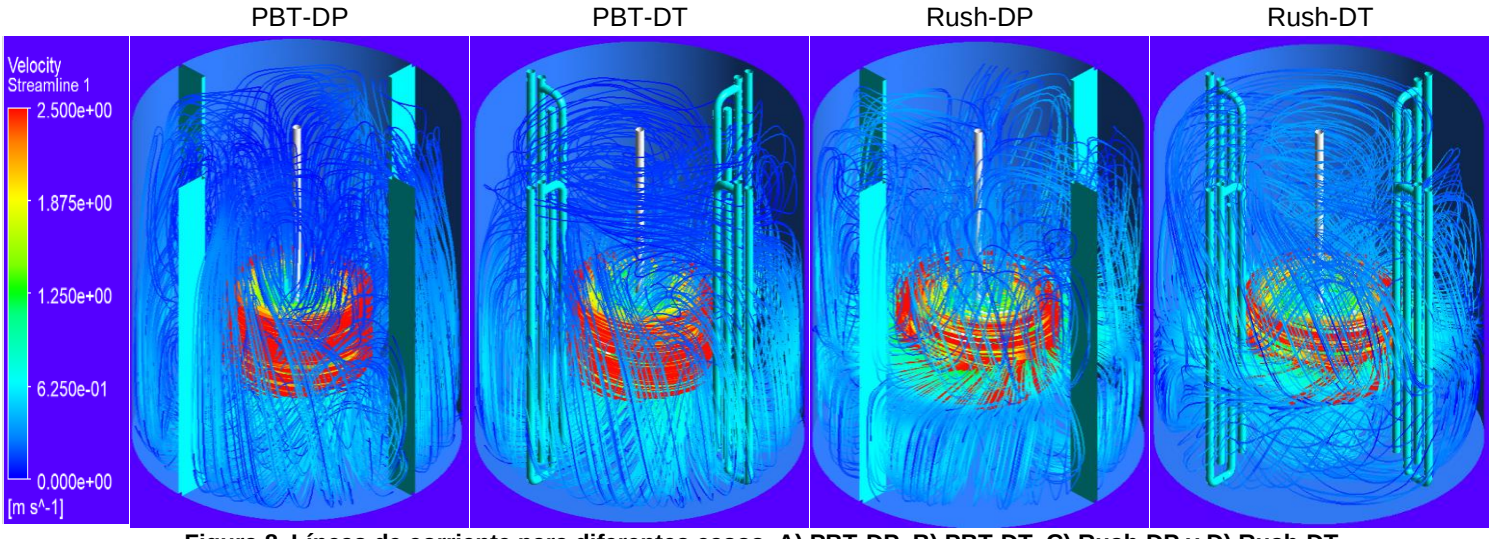


Figura 8. Líneas de corriente para diferentes casos. A) PBT-DP, B) PBT-DT, C) Rush-DP y D) Rush-DT.

 ISSN: 2007 8102

Finalmente, en la **Figura 9** los patrones de flujo formados por la interacción de los impulsores con los deflectores, además se presenta en la superficie de los deflectores la intensidad de la turbulencia, se puede observar que los deflectores planos generan los patrones característicos de flujo típicos para los impulsores PBT [10] y Rushton [11]. Por otro lado, los deflectores tubulares modifican los patrones de flujo para los impulsores evaluados, esto puede ser aprovechado pues los bucles generados coinciden con los deflectores tubulares que pueden aprovechar esta interacción para emplear los deflectores tubulares con una segunda función que se ve favorecido por las condiciones de mezclado en la zona de los deflectores pues en estas se favorece la intensidad de la turbulencia en un 15% con los deflectores tubulares para el impulsor Rushton.

PBT-DP PBT-DT Rush-DP Rush-DT

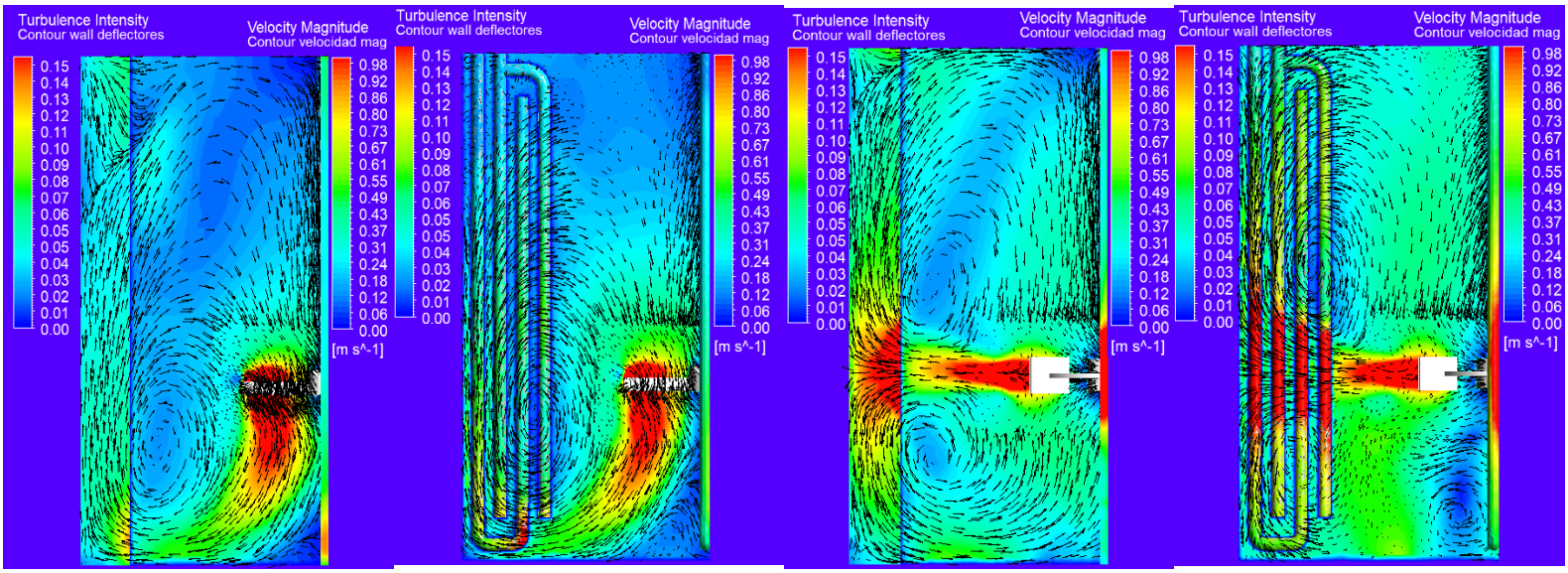


Figura 9. Contornos de magnitud de velocidad en un plano axial entre deflectores y contornos de intensidad de turbulencia en las paredes de los deflectores.

Trabajo a futuro

En este trabajo se plante seguir evaluando el efecto de incrementar el número de deflectores en el desempeño hidrodinámico del tanque, así como el uso de estos en procesos de oxidación avanzada que depende de las condiciones de mezclado y del área superficial de los deflectores tubulares.

Conclusiones

En este trabajo se caracterizó un tanque agitado equipado con deflectores planos y con dos arreglos diferentes con deflectores tubulares con el uso de la dinámica computacional de fluidos (CFD). Se encontró que los deflectores tubulares logran reducir el consumo de potencia requerido para la agitación para el impulsor PBT del 13% y para el impulsor Rushton del 23% lo que es un factor para considerar cuando el proceso de mezclado se realiza por tiempos prolongados.

Al modificar la interacción del impulsor con los deflectores alteran los patrones de flujo aumentando de esta manera el caudal que pasa a través de la zona de descarga del impulsor de un 5% para el caso del PBT mientras que el caudal se reduce para el caso del impulsor Rushton en un 13%, lo que repercute en la eficiencia de bombeo del impulsor principalmente para el PBT.

Mediante una cuantificación del flujo axial y radial en diferentes zonas del tanque, se determinó el efecto que tienen los deflectores tubulares en el desempeño del tanque. Al remplazar los deflectores planos se observa una alteración en los patrones de flujo que pueden afectar el desempeño de los deflectores al ser empleados para una segunda función como es el caso de los procesos de oxidación avanzada.

En este proyecto el caso los deflectores tubulares pueden considerarse una alternativa adecuada para reducir el consumo energético del tanque agitado además de proveer las condiciones que favorecen el mezclado en zonas próximos a los deflectores, pero debe de tomarse en cuenta el tipo de aplicación pues esta puede verse afectada.

Agradecimiento

El autor Jesús Eduardo Lugo Hinojosa con CVU 1016802, agradece a CONACYT por el apoyo económico brindado a través de la Beca de estudios de Posgrado.

Referencias

[1] E. L. Paul, V. Atiemo-Obeng, and S. Kresta, *Handbook of industrial mixing: Science and practice*. John Wiley & Sons, 2004.

[2] A. Ochieng and M. S. Onyango, "Homogenization energy in a stirred tank," *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, vol. 47, no. 9, pp. 1853–1860, Jan. 2008, [Online]. Available: https://uam.elogim.com/auth-meta/login.php?url=https://ebsco.uam.elogim.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S0255270107003364&lang=es&site=eds-live&scope=site

[3] V. Silva Rosa and D. Moraes Junior, "Design of of Heat Heat Transfer Transfer Surfaces Surfaces in in Agitated Agitated Vessels Vessels Design," in *Heat Exchangers– Design, Experiment and Simulation*, 2017, pp. 37–60.

[4] F. Scargiali, A. Busciglio, F. Grisafi, and A. Brucato, "Mass transfer and hydrodynamic characteristics of unbaffled stirred bio-reactors: Influence of impeller design," *Biochem Eng J*, vol. 82, pp. 41–47, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.bej.2013.11.009.

[5] S. M. Kresta, A. W. Etchells III, D. S. Dickey, and V. A. Atiemo-Obeng, *Advances in industrial mixing a companion to the Handbook of industrial mixing*. 2016.

[6] D. Chapple, S. M. Kresta, A. Wall, and A. Afacan, "The effect of impeller and tank geometry on power number for a pitched blade turbine," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 80, no. 4, pp. 364–372, 2002, doi: 10.1205/026387602317446407.

[7] A. Alonzo Garcia, V. X. Mendoza Escamilla, S. A. Martinez Delgadillo, I. Gonzalez Neria, C. D. C. Gutiérrez Torres, and J. A. Jiménez Bernal, "On the performance of different rans based models to describe the turbulent flow in an agitated vessel using non-structured grids and PIV validation," *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 36, no. 1, pp. 361–382, 2019, doi: 10.1590/0104-6632.20190361s20180091.

[8] H. Patil, A. K. Patel, H. J. Pant, and A. Venu Vinod, "CFD simulation model for mixing tank using multiple reference frame (MRF) impeller rotation," *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 27, no. 2, pp. 200–209, 2021, doi: 10.1080/09715010.2018.1535921.

[9] P. J. Boache, "Perspective: A Method for Uniform Reporting of Grid Refinement Studies," *J Fluids Eng*, vol. 116, pp. 405–413, Sep. 1994, [Online]. Available: http://fluidsengineering.asmedigitalcollection.asme.org/

[10] S. Bhattacharya and S. M. Kresta, "CFD Simulations of Three-dimensional Wall Jets in a Stirred Tank," 2002.

[11] Y. Zhang, L. Wang, H. Huo, Z. Li, and Z. Gao, "Computational and experimental investigation of flow fields in a Rushton turbine stirred tank with shear-thinning fluid," *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, vol. 17, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.1002/apj.2735.

 ISSN: 2007 8102

Efecto del ultrasonido en la reducción de cromo hexavalente utilizando electrodos de hierro

J. Antonio Yáñez-Varela [1], Esaú Ramírez-Palacios [1], Israel González-Neria [2], Sergio A. Martínez-Delgadillo [3], E. Jesús Lugo-Hinojosa [3]*
[1] Universidad Mexiquense del Bicentenario, Unidad de Estudios Superiores Tultitlán. Av. Ex Hacienda de los Portales, s.n. CP. 54910, Tultitlán, Estado de México, México.
[2] División de Gestión de la Producción, Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl, Nezahualcóyotl, Estado de México C.P. 57000, México.
[3] Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, CDMX.
**catedraumb.jayv@gmail.com*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

En este estudio, investigamos el efecto de la aplicación de un campo ultrasónico en una celda electroquímica destinada a la reducción de cromo hexavalente. Se utilizaron baños ultrasónicos de altas frecuencias de 250 y 1000 kHz que operaban con una potencia de 400 W. La celda electroquímica emplea electrodos de hierro, cuyos ánodos se son de acero al carbón, los cuales generan iones de hierro que promueven la reducción de las especies de cromo hexavalente. También se evaluó el impacto de la agitación en el proceso. Los resultados revelaron que tanto la agitación como la aplicación del campo ultrasónico mejoraron la velocidad de reducción, lo que redujo significativamente el tiempo requerido para alcanzar concentraciones dentro de los límites establecidos por las regulaciones mexicanas vigentes.

***Palabras clave**: Cromo hexavalente, Ultrasonido, Electroquímica, Reducción*

Abstract

In this study, we investigated the effect of applying an ultrasonic field to an electrochemical cell designed for the reduction of hexavalent chromium. We used high-frequency ultrasonic baths operating at 250 and 1000 kHz with a power of 400 W. The electrochemical cell utilized iron electrodes, with carbon steel anodes generating iron ions responsible for promoting the reduction of hexavalent chromium species. The impact of agitation on the process was also evaluated. The results revealed that both agitation and the application of the ultrasonic field improved the reduction rate, significantly reducing the time required to reach concentrations within the limits established by current Mexican regulations.

***Key words**: Hexavalent chromium, ultrasound, electrochemistry, reduction*

Introducción

La industria de la galvanoplastia genera en sus procesos aguas de enjuague con concentraciones altas de cromo hexavalente que superan los límites permisibles de descarga dictados por la regulación mexicana [1]. Otra característica de estas aguas es que son ácidas, pues su pH está por debajo de las 3 unidades y por las características de los procesos de electrodeposición no se pueden reutilizar inmediatamente en el proceso galvánico. Para prevenir su vertimiento al alcantarillado municipal se han propuesto distintos métodos de tratamiento. El más común es la coagulación química que utiliza sales para reducir y precipitar químicamente el cromo hexavalente, no obstante, este proceso genera gran cantidad de lodo residual y es poco eficiente con efluentes de baja concentración.

Sucesivamente se han presentado procesos de tratamiento basados en técnicas novedosas como son los procesos biológicos, foto-catalíticos, y electroquímicos [2-3]. Estos últimos han generado expectación por sus diversas ventajas, pues son flexibles en su implementación, ya que pueden instalarse en áreas relativamente

 ISSN: 2007 8102

pequeñas y pueden operar de forma continua, intermitente o en lote. El arranque de estos procesos no demanda tiempos largos, y operarlos es relativamente sencillo monitoreando variables fáciles de medir. Una desventaja importante de los procesos electroquímicos es el consumo energético, pues suele ser un costo de operación que dificulta la rentabilidad del tratamiento. El proceso electroquímico que utiliza electrodos de hierro en condiciones ácidas ha demostrado disminuir la demanda energética que se requiere para remover un gramo de cromo hexavalente comparada con otros métodos de tratamiento [4]. Durante este proceso se promueven las reacciones mostradas en la Figura 1.

Al utilizar electrodos de hierro el ánodo, considerado como de sacrificio, se electro diluye, pues se promueve la reacción electroquímica de hierro solido (Fe^0) a ion ferroso (Fe^{2+}). Este ion ferroso es el que actúa como agente químico reductor de las especies de cromo hexavalente ($HCrO_4^-$), necesitando tres moléculas por cada una del contaminante. Esta reacción se lleva a cabo en el seno de la solución y da como resultado ion férrico (Fe^{3+}) e iones de cromo trivalente (Cr^{3+}). En la superficie del cátodo se disocia el agua en iones hidroxilo (OH^-) y protones (H^+). Estos productos son importantes, ya que el incremento de la concentración de OH^- hace necesario controlar el pH para que este no supere las 2 unidades y así mantener a los metales en solución. Por otro lado, se genera hidrogeno gaseoso (H_2) con los H^+ formados lo que fomenta un mezclado regular en la solución. Al finalizar el tratamiento, los iones metálicos remanentes (Fe^{+2}, Fe^{+3} y Cr^{+3}) son precipitados incrementando el pH del efluente por encima de 8 unidades.

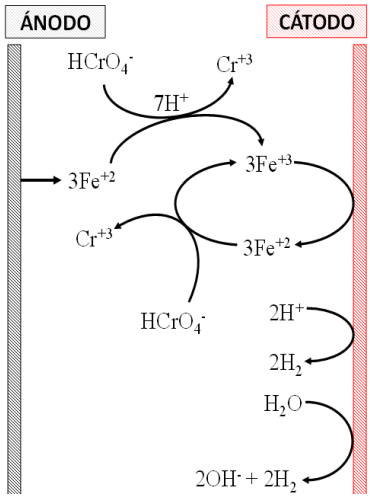


Figura 1. Esquema de reacciones desarrolladas durante el proceso electroquímico de reducción de cromo hexavalente utilizando electrodos de hierro en condiciones ácidas. Adaptado de: [5]

En años recientes se ha generado una nueva línea en el desarrollo de tecnologías electroquímicas, intensificando su desempeño a través de la aplicación de campos ultrasónicos. Estos campos generan que en el medio acuoso el fenómeno de la cavitación, que produce cambios de fase puntuales que generan burbujas con altas presiones y temperatura. Estas burbujas colapsan incrementando la transferencia de momento lo que mitiga los efectos de pasivación en los electrodos e incrementa la transferencia de masa al disminuir el grosor de la capa límite que se genera naturalmente en la superficie de los electrodos.

Estos beneficios han sido aprovechados por las tecnologías de oxidación avanzada electroquímica para la degradación y/o remoción de contaminantes orgánicos. Garbellinin y sus colaboradores en 2010 [6], utilizaron una celda de doble compartimiento de 90 mL con electrodos de diamante dopados con boro para degradar pentaclorofenol. Estas degradaciones estuvieron asistidas con ultrasonido de una potencia de 14 W y una frecuencia de 20 kHz. Al aplicar solo la degradación electroquímica, la eficiencia fue del 19.8%; sin embargo, al aplicar la sono-electrólisis, la degradación se incrementó al 82.6%. Por otro lado, Radi y sus colaboradores en 2017 [7] utilizaron una celda electroquímica con un electrodo de trabajo de platino para degradar antraquinona. La celda fue sumergida en un baño de ultrasonido con una potencia de 150 W y 35 kHz. Los autores reportan que, para los diferentes tipos de tratamiento con sus condiciones de operación optimizadas, obtuvieron una eficiencia de remoción de demanda química de oxígeno del 4.0%, 53.4% y 91.0% para el tratamiento sonoquímico, electroquímico y sonoelectroquímico, respectivamente.

 ISSN: 2007 8102

El presente trabajo tiene como objetivo realizar pruebas experimentales para investigar los efectos del ultrasonido en la velocidad de reducción electroquímica de iones de Cr^{+6} presentes en medios acuosos. El uso de altas frecuencias de ultrasonido (250 y 1000 kHz) permitirá evaluar su influencia en las reacciones químicas y electroquímicas (descritas en la Figura 1), con el propósito de determinar si el ultrasonido ejerce un efecto beneficioso en la velocidad de las reacciones, proporcionando así nuevas perspectivas en la reducción de Cr+6. Además se pretende evaluar también el efecto de la agitación tanto en el tratamiento electroquímico como en el sonoelectroquímico (electroquímico con ultrasonido). Esta investigación resulta relevante debido a la importancia de comprender y mejorar los procesos de reducción en medios acuosos, lo que podría tener implicaciones significativas en la aplicación de tecnologías de tratamiento de aguas y otros campos de la ingeniería química.

Metodología

El sistema de electrólisis utilizado en este estudio se construyó utilizando un vaso de precipitados de 2 L como celda de reacción. Para llevar a cabo las pruebas, se utilizaron seis barras de acero al carbón con perfil circular y un diámetro de ¼''. Para asegurar la disposición adecuada de los electrodos en un arreglo ánodo-cátodo, se diseñó y fabricó una tapa de material PLA mediante una impresora 3D. Esta tapa sujetó los electrodos y los posicionó en pares simétricos dentro del recipiente. La conexión eléctrica de los electrodos se realizó en serie para formar tres pares ánodo-cátodo distribuidos simétricamente. Se empleó una fuente de corriente directa con medidores de diferencia de potencial (V) e intensidad de corriente (A) para suministrar la energía eléctrica a los electrodos. La fuente de corriente se controló mediante la diferencia de potencial, lo que permitió ajustar el potencial durante los experimentos de electrólisis con el fin de mantener una intensidad de corriente constante de 276 mA.

En las pruebas de sonoelectroquímica, la celda de reacción se sumergió en baños ultrasónicos para estudiar los efectos del ultrasonido en la reducción electroquímica de Cr^{+6}. La capacidad de la celda de reacción fue de 1 L, y se rodeó con agua en el exterior para servir como medio de enfriamiento y mantener la temperatura del experimento a 25°C. Se implementó un sistema regulador de temperatura para garantizar la estabilidad térmica durante las pruebas. El baño ultrasónico se conectó a una fuente de alimentación para ajustar la frecuencia de operación, que se fijó a 250 o 1000 kHz, y la potencia máxima del equipo se limitó al 80% de su capacidad (500 W).

Durante ambos procedimientos, se tomaron muestras cada 5 minutos para determinar la concentración de Cr^{+6} en la solución. Después de cada toma de muestra, se incrementó el pH por encima de las 8 unidades para precipitar los metales remanentes y asegurar que solo el Cr+6 permaneciera en la solución. Los precipitados se separaron mediante filtración, y el filtrado resultante se analizó mediante la prueba especificada por la norma NMX-AA-044-SCFI-2014 [8]. Para implementar la agitación en el sistema experimental, se utilizó un motor de velocidad variable con una propela de acero inoxidable. En la Figura 2 se muestra una imagen del sistema experimental.

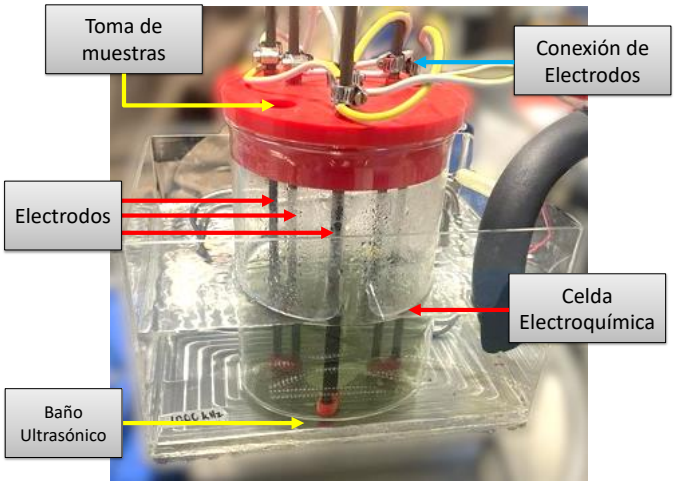


Figura 2. Sistema experimental para realizar los tratamientos electroquímicos y sonoelectroquímicos.

ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Reducción de cromo hexavalente sin agitación

En la gráfica de la Figura 3 se presentan los datos de concentración de cromo hexavalente detectada a diferentes intervalos de tiempo durante el tratamiento electroquímico y sonoelectroquímico a dos frecuencias distintas. Es importante señalar que estos experimentos no se llevaron a cabo con agitación. De la Figura 3 se puede observar que los datos tienden a fluctuar en el caso del tratamiento electroquímico. Esta variabilidad se atribuye a que el sistema experimental no contaba con ningún tipo de convección, y solo se agitaba al momento de tomar las muestras, lo que provocaba fluctuaciones en la concentración dentro del volumen del líquido.

En contraste, los resultados del tratamiento sonoelectroquímico muestran un decaimiento suave de los valores, lo que se atribuye a que el propio campo ultrasónico tiene la capacidad de mezclar el volumen del líquido y lograr concentraciones más homogéneas en todo el sistema, lo que ha sido probado con técnicas experimentales no invasivas como la velocimetría de imagen de partículas [9]. Además, es destacable que tanto el tratamiento electroquímico como el sonoelectroquímico a 1000 kHz tardan 40 minutos en alcanzar una concentración por debajo de 0.5 $mg \cdot L^{-1}$, mientras que el tratamiento que opera a 250 kHz logra este valor en 35 minutos. Estos resultados respaldan la hipótesis de que el campo ultrasónico beneficia al proceso de reducción del cromo hexavalente en una celda electroquímica.

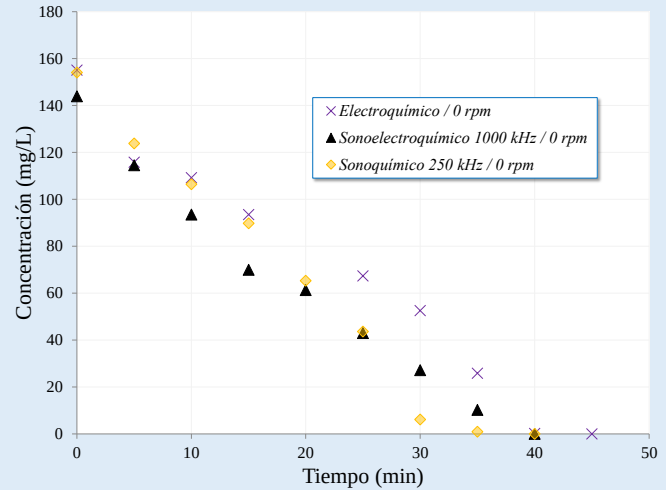


Figura 3. Concentración de Cr(VI) durante el tratamiento electroquímico y sonoelectroquímico a diferentes frecuencias.

Efecto de la agitación en el proceso electroquímico

En la Figura 4 se presentan los datos de la eficiencia de reducción de cromo hexavalente en los experimentos donde se utilizó el tratamiento electroquímico bajo diferentes velocidades de agitación. La eficiencia de remoción se calculó como la diferencia entre la concentración actual y la concentración inicial, dividiéndola posteriormente entre la concentración inicial y reportándola como porcentaje.

Es interesante destacar que la velocidad de agitación tiene un efecto beneficioso sobre la velocidad de reducción, un fenómeno que ya había sido reportado por Mollinedo y sus colaboradores [10] en un reactor electroquímico con electrodo rotatorio. Estos autores atribuyen este efecto al hecho de que la agitación mejora la dispersión de especies, fomentando así que todas las reacciones químicas y electroquímicas descritas en la Figura 1 se produzcan sinérgicamente y las especies interactúen con mayor frecuencia. Los tiempos de tratamiento disminuyeron al aumentar la velocidad de 0, 300 y 500 rpm, siendo de 25, 35 y 40 minutos, respectivamente.

 ISSN: 2007 8102

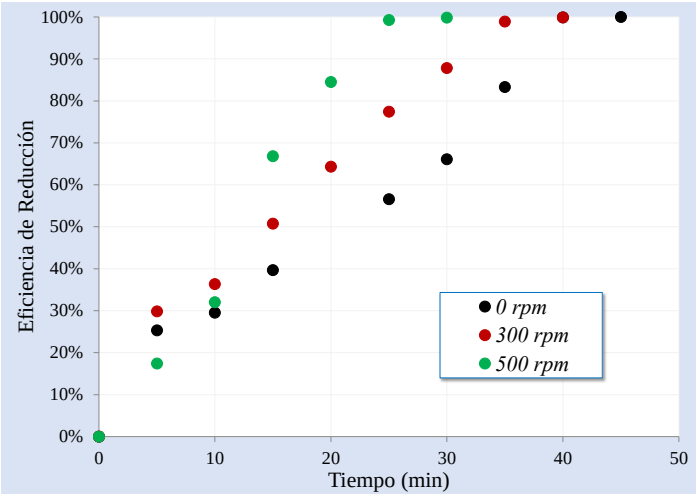


Figura 4. Evolución de la eficiencia de reducción de cromo hexavalente en función del tiempo en los tratamientos electroquímicos a distintas velocidades de agitación.

Reducción de cromo hexavalente con agitación (300 rpm) y ultrasonido (1000 kHz)

En la gráfica de la Figura 5 se presentan los datos de concentración de cromo hexavalente bajo el tratamiento electroquímico y sonoelectroquímico. Como primera observación, es destacable que los datos tienden a disminuir linealmente al inicio y de manera logarítmica a bajas concentraciones. La agitación contribuye a que ambos perfiles de concentración sean suaves y no fluctúen con el paso del tiempo. Además, estos datos demuestran una vez más que el tratamiento sonoelectroquímico logra reducir el tiempo necesario para alcanzar concentraciones bajas de cromo hexavalente en comparación con el tratamiento electroquímico. El tiempo para lograr concentraciones más bajas que las permitidas por la regulación mexicana es de 40 y 25 min para las técnicas electroquímicas y sonoquímicas, respectivamente.

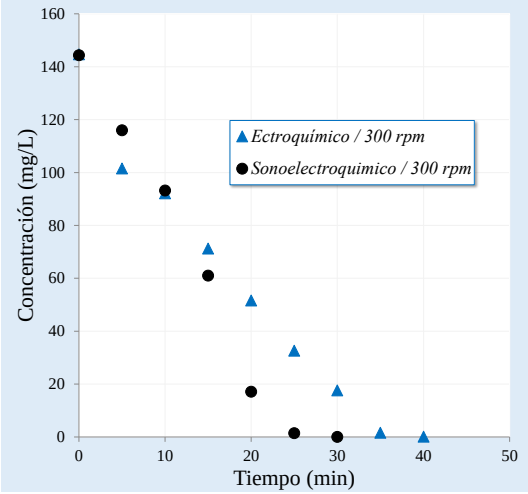


Figura 5. Evolución de la concentración de Cr(VI) en los tratamientos electroquímico y Sonoelectroquímico con Agitación a 300 rpm.

Efecto de la agitación en el proceso sonoelectroquímico

En la Figura 6, se presentan los datos de la evolución de la concentración de cromo hexavalente durante el proceso de tratamiento sonoelectroquímico bajo diferentes velocidades de agitación. Ambas condiciones de operación lograron reducir la concentración por debajo de 0.5 $mg \cdot L^{-1}$. Sin embargo, se observa que la agitación beneficia significativamente el proceso sonoelectroquímico. A 300 rpm, el proceso alcanza su finalización 10 minutos antes que cuando se realiza sin agitación. Esto destaca la importancia de la agitación en la mejora de la eficiencia del proceso sonoelectroquímico, corroborando los resultados obtenidos previamente para el proceso electroquímico bajo diferentes velocidades de agitación. El beneficio de la agitación en la velocidad de reacción implica que esta variable de operación debe considerarse

 ISSN: 2007 8102

cuidadosamente al diseñar un reactor sonoelectroquímico. La implementación adecuada de la agitación puede optimizar la eficiencia del tratamiento y, por ende, puede ser crucial para obtener resultados óptimos en la reducción del cromo hexavalente.

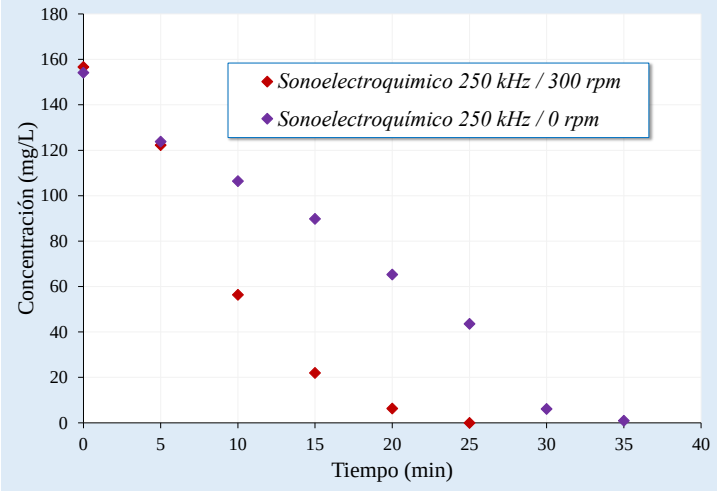


Figura 6. Efecto de la velocidad de agitación en la reducción de cromo hexavalente mediante tratamientos sonoelectroquímicos.

Efecto de la frecuencia sobre la reducción de cromo hexavalente

La Figura 7 muestra los datos de concentración de cromo hexavalente durante el tratamiento sonoelectroquímico a dos frecuencias distintas: 250 kHz y 1000 kHz. Se destaca que la frecuencia más baja (250 kHz) promueve una velocidad de reducción más rápida a altas concentraciones de Cr^{+6}. Sin embargo, a bajas concentraciones, se observa una similitud en la velocidad de reducción entre ambas frecuencias. Es importante recordar que el ultrasonido induce el fenómeno de la cavitación, en el cual se generan radicales altamente oxidantes. Se sabe que a mayores frecuencias se promueve una mayor cavitación, y, por lo tanto, se generan más radicales libres [11]. Este hecho podría explicar por qué, a altas frecuencias, estos radicales podrían estar oxidando parte de los iones de hierro (Fe^{2+} y Fe^{3+}), responsables de impulsar la reducción de Cr^{+6}, lo que disminuye su disponibilidad en el seno del líquido y por lo dato bajar la eficiencia global del proceso.

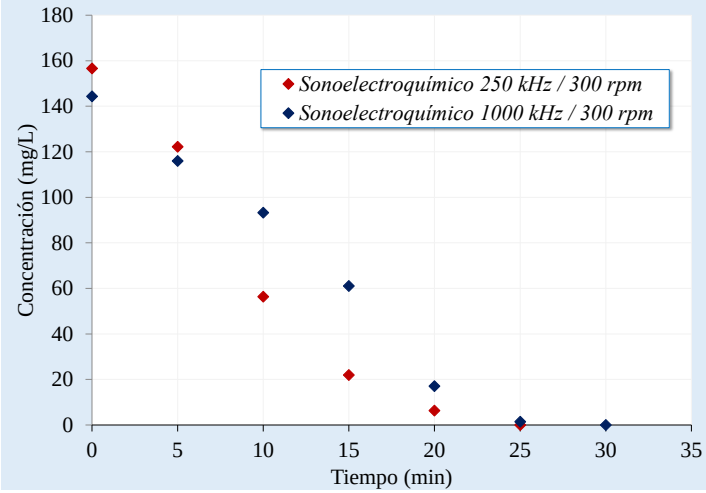


Figura 7. Efecto de la frecuencia en la reducción de cromo hexavalente mediante tratamientos sonoelectroquímicos.

 ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

Los resultados de este estudio resaltan el potencial atractivo del uso del ultrasonido en celdas electroquímicas dedicadas a la reducción de cromo hexavalente. Sin embargo, para obtener un análisis más completo y detallado, se requiere un diseño experimental que permita evaluar sistemáticamente la magnitud del efecto de cada variable de operación. Entre estas variables, es fundamental considerar el pH, la intensidad de corriente, la frecuencia y la relación potencia ultrasónica-volumen. Una vez que se conozca el valor de las condiciones de operación óptimas, se procedería a determinar la ecuación cinética que permita describir la velocidad de reducción del proceso sonoelectroquímico.

Conclusiones

En el presente trabajo se realizaron pruebas experimentales de reducción de cromo hexavalente con tratamientos electroquímicos y sonoelectroquímicos. Los resultados permiten aseverar que la aplicación del campo ultrasónico mezcla el volumen del líquido dentro de la celda y además incrementa la velocidad de reducción. Sin embargo este incremento no es lineal con respecto al incremento de la frecuencia pues la velocidad de reducción es mayor cuando el sistema opera a la menor frecuencia (250 kHz). Por otra parte, incorporar la agitación reduce el tiempo que necesita el proceso para disminuir la concentración de cromo hexavalente a niveles permisibles, tanto en el tratamiento electroquímico como en el sonoelectroquímico.

Estos hallazgos sugieren que la combinación de la técnica sonoelectroquímica con la agitación puede ser una estrategia prometedora para mejorar la eficiencia de la reducción de cromo hexavalente en celdas electroquímicas. Sin embargo, para una mejor comprensión de los efectos y la optimización de las condiciones de operación, es necesario llevar a cabo investigaciones adicionales. Se recomienda realizar un diseño experimental más detallado que permita evaluar en mayor profundidad el impacto de cada variable y determinar las condiciones óptimas para la reducción del cromo hexavalente.

En conclusión, este trabajo proporciona información valiosa sobre las ventajas y limitaciones de los tratamientos electroquímicos y sonoelectroquímicos para la reducción de cromo hexavalente. Los resultados ofrecen perspectivas interesantes para futuras investigaciones y el desarrollo de sistemas más eficientes y sostenibles para el tratamiento de aguas contaminadas con este tipo de contaminante industrial.

Agradecimientos

El autor de correspondencia, Juan Antonio Yáñez Varela, agradece a COMECYT por el apoyo de cátedras con folio ESYCA2023-137218.

Referencias

[1] V. H. C. González, “Contaminación de agua potable por cromo hexavalente, caso de estudio: colonia Lechería, municipio de Tultitlan, estado de México”, Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios Sobre Medio ambiente y Desarrollo, México, 2009.

[2] L. Di Palma, M. T. Gueye, y E. Petrucci, “Hexavalent chromium reduction in contaminated soil: A comparison between ferrous sulphate and nanoscale zero-valent iron”, J. Hazard. Mater., vol. 281, pp. 70–76, 2015.

[3] K. E. Ukhurebor et al., “Effect of hexavalent chromium on the environment and removal techniques: A review”, J. Environ. Manage., vol. 280, núm. 111809, p. 111809, 2021.

[4] J. A. Yáñez-Varela, A. Alonzo-Garcia, I. González-Neria, V. Mendoza-Escamilla, G. Rivadeneyra-Romero, y S. A. Martínez-Delgadillo, “Experimental and numerical evaluation of the performance of the electrochemical reactor operated with static and dynamic electrodes in the reduction of hexavalent chromium”, Chem. Eng. J., vol. 390, núm. 124575, p. 124575, 2020.

[5] M. G. Rodríguez R, V. Mendoza, H. Puebla, y S. A. Martínez D, “Removal of Cr(VI) from wastewaters at semi-industrial electrochemical reactors with rotating ring electrodes”, J. Hazard. Mater., vol. 163, núm. 2–3, pp. 1221–1229, 2009.

 ISSN: 2007 8102

[6] G. S. Garbellini, G. R. Salazar-Banda, y L. A. Avaca, “Effects of ultrasound on the degradation of pentachlorophenol by boron-doped Diamond electrodes”, Port. Electrochim. Acta, vol. 28, núm. 6, pp. 405–415, 2010.

[7] M. A. Radi, N. Nasirizadeh, M. Mirjalili, y M. Rohani Moghadam, “Ultrasound-assisted electrochemical decolorization of anthraquinone dye C.I Reactive Blue 49, its optimization and synergic effect: a comparative study”, Int. J. Environ. Sci. Technol. (Tehran), vol. 16, núm. 5, pp. 2455–2464, 2019.

[8] “NORMA MEXICANA NMX-AA-044-SCFI-2014 ANÁLISIS DE AGUA.-MEDICIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN AGUAS NATURALES, SALINAS, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS-MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-044-SCFI-2001). WATER ANALYSIS - MEASUREMENT OF HEXAVALENT CHROMIUM IN NATURAL WATERS, SALINE WATERS, WASTEWATERS AND TREATED WASTEWATERS -TEST METHOD”, Gob.mx. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166148/nmx-aa-044-scfi-2014.pdf. [Consultado: 21-jul-2023].

[9] G. Rivadeneyra-Romero et al., “Evaluation of the hydrodynamic performance of high-frequency sonoreactors using PIV”, Ind. Eng. Chem. Res., vol. 59, núm. 40, pp. 18211–18221, 2020.

[10] S. Martinez-Delgadillo, H. Mollinedo-Ponce, V. Mendoza-Escamilla, C. Gutiérrez-Torres, J. Jiménez-Bernal, y C. Barrera-Diaz, “Performance evaluation of an electrochemical reactor used to reduce Cr(VI) from aqueous media applying CFD simulations”, J. Clean. Prod., vol. 34, pp. 120–124, 2012.

[11] A. Hassani, M. Malhotra, A. V. Karim, S. Krishnan, y P. V. Nidheesh, “Recent progress on ultrasound-assisted electrochemical processes: A review on mechanism, reactor strategies, and applications for wastewater treatment”, Environ. Res., vol. 205, núm. 112463, p. 112463, 2022.

 ISSN: 2007 8102

Adsorción del colorante naranja de metilo con un polímero metal-orgánico (MOF) de cobalto

Cecilia Rivera García[1], María Elizabeth Márquez López[1], Lidia Elena Chiñas Rojas[1], Rodolfo Peña Rodríguez[1], José María Rivera Villanueva[1].

[1]Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana Prolongación Oriente 6, No. 1009, Colonia Rafael Alvarado, CP 94340 Orizaba, Veracruz, México.

[2]Laboratorio Nacional de Nano y Biomateriales, Universidad Autónoma de Yucatán C. 60 491A, Parque Santa Lucia, Centro, 97000 Mérida, Yucatán.

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El presente trabajo es de carácter experimental, en el que se sintetizó un polímero metal-orgánica (MOF) para evaluar la capacidad de adsorción del colorante naranja de metilo. Este material se logró sintetizar a partir de dos ligantes orgánicos y nitrato de cobalto los cuales estuvieron en una solución de DMF. Esta reacción se llevó a cabo por el método solvotérmico. El polímero obtenido se denominó como MOF Azo-1 y se caracterizó a través de los métodos de difracción de rayos-x de polvos (DRX), análisis termogravimétrico (TGA), microanálisis elemental por EDS. Con los resultados obtenidos de las técnicas efectuadas, fue posible obtener la caracterización del polímero y de esta manera verificar que el colorante se encontraba en el MOF. Además, también se pudo evaluar la capacidad máxima de adsorción del colorante NM, así como determinar el grado de velocidad de la reacción.

Palabras clave*: Polímero Metal Orgánico, adsorción, naranja de metilo, contaminantes.*

Abstract

The present work is experimental in nature, in which a metal-organic polymer (MOF) was synthesized to evaluate the adsorption capacity of methyl orange dye. This material was synthesized from two organic binders and cobalt nitrate which were in a DMF solution. This reaction was carried out by the solvothermal method. The polymer obtained was named as MOF Azo-1 and was characterized by powder X-ray diffraction (XRD), thermogravimetric analysis (TGA), elemental microanalysis by EDS. With the results obtained from the techniques carried out, it was possible to obtain the characterization of the polymer and thus verify that the dye was in the MOF. In addition, it was also possible to evaluate the maximum adsorption capacity of the NM dye, as well as to determine the degree of speed of the reaction.

Key words*: Metal Organic Polymer, adsorption, methyl orange, contaminants.*

Introducción

Los MOF (polímeros metal-orgánicos) son un tipo de materiales sólidos porosos y cristalinos, que están formados por ligandos orgánicos que poseen hetero átomos capaces de donar electrones y centros metálicos capaces de aceptar electrones y coordinarse. Existe la síntesis convencional que trata de reacciones que van desde temperatura ambiente, hasta temperaturas altas. Y la síntesis no convencional involucra otro tipo de energía que no es el calentamiento en medio líquido para efectuar la reacción. Por otro lado, uno de los factores que puede

 ISSN: 2007 8102

llegar a afectar la síntesis de estos materiales es la temperatura, ya que, si el solvente utilizado en la reacción no alcanza la temperatura adecuada para que esta reacción inicie, la reacción no ocurre y no se forma el material [1]. Normalmente se utilizan altas temperaturas de reacción empleando reactores de acero inoxidable para tener condiciones solvotérmicas y de esta manera lograr obtener este tipo de materiales y poder tener el control sobre las condiciones de reacción y se usa regularmente para obtener materiales altamente cristalinos [2]. Una de las características principales de este tipo de materiales radica en su alta porosidad, misma que se logra gracias a los cúmulos metálicos y los espacios vacíos que quedan entre ellos. El tamaño de poro de estos materiales se debe principalmente al tamaño de los ligandos orgánicos y se encuentran en el rango de los microporos, con distancias que van desde los 6 Å hasta los relativamente estables con poros de 38 Å [3]. Los MOF se han estudiado por muchos años y es porque tienen diversos campos de aplicación y uno de los más estudiados es en la industria de textiles, pero no dejando a un lado que también es usado en laboratorios como un indicador ácido-base o incluso en investigaciones como lo es el caso de este trabajo [4]. En este trabajo se logró estudiar la capacidad de adsorción de naranja de metilo NM en medio acuoso, utilizando el MOF de Co sintetizado, ya que se sabe que el NM es uno de los colorantes más usados en industrias, por lo que resulta ser un contaminante muy presente en el agua y debido a que tiene grupo cromóforo N=N es difícil eliminarlo del agua residual [5]. Se llevó a cabo la síntesis del material cristalino poroso a partir del ácido bencen-1,2,4,5-tetracarboxílico, azopiridina y el nitrato de cobalto. La reacción se llevó a cabo en un medio acuoso, usando N, N-dimetilformamida (DMF) como disolvente polar. De igual manera, se llevaron a cabo diferentes pruebas de identificación para poder caracterizar y determinar las propiedades de este nuevo material. El material sintetizado se utilizó para poder conocer las capacidades de adsorción de este. Para las pruebas de adsorción, el material sintético poroso (adsorbente) fue sometido a diferentes concentraciones de soluciones acuosas de naranja de metilo NM, el cual fue utilizado como (adsorbato). La concentración del NM al inicio y a diferentes tiempos de contacto, se logró obtener mediante el uso del espectrofotómetro Uv-Vis. [6]

Metodología

Materiales (Reactivos y equipo)

Los reactivos que se emplearon para la síntesis del MOF Azo 1 son de la marca Sigma-Aldrich, siendo nitrato de cobalto (II) de fórmula $Co\ (NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ y con un peso molecular de 290.79 5 g/mol, el ácido bencen-1,2,4,5-tetracarboxílico con fórmula $C_{10}H_6O_8$ y un peso molecular de 254.15 g/mol, 4-4´azopiridina con fórmula empírica $C_{10}H_8N_4$ y un peso molecular de 184.20 g/mol y como único disolvente se utilizó DMF el cual tiene una fórmula empírica de C_3H_7NO y posee un peso molecular de 73.09 g/mol. En el caso del colorante NM fue de la marca REAGENZIEN MERCK. Los cristales obtenidos fueron examinados mediante un microscopio estereoscopio binocular marca Cole Palmer. La lectura de absorbancias se realizó en un espectrómetro UV-Vis-NIR Varian Cary 5000. Las pruebas de DRX de polvos se realizaron con un difractómetro Bruker D-8 Advance. El análisis termogravimétrico (TGA), se realizó en un sistema modular de la serie Discovery de TA, Instruments. Las curvas de TGA se lograron obtener con una rampa de calentamiento de 10°C/min iniciando en 30°C hasta 500°C.

 ISSN: 2007 8102

Síntesis

Para la síntesis inicialmente se pesó 0.1 g (100 mg) de ácido bencen-1,2,4,5-tetracarboxílico, 0.229 g (299 mg) de Co $(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ y 0.072 g (72 mg) de azopiridina, se disolvió en 6 mL de DMF, colocándolo en un reactor de acero inoxidable con interior de teflón. Los reactores se introdujeron en una mufla programable con una rampa que alcanzó una temperatura constante de 90°C durante 72 h, en la **Figura 1** se muestra un esquema de la reacción del MOF Azo 1.

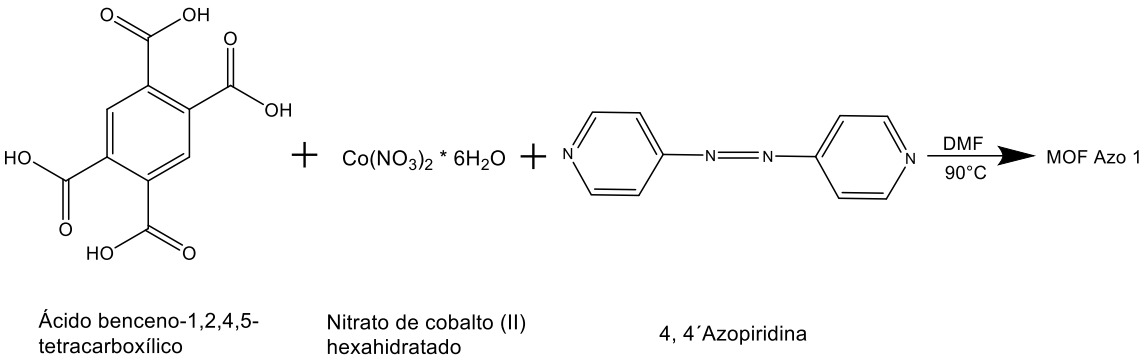


Figura 1. Síntesis solvotérmica de MOF Azo 1

Pruebas de remoción

Esta prueba se realizó usando una solución de 100 mL a una concentración de 1000 ppm de la cual posteriormente se realizaron diferentes alícuotas para tener concentraciones finales de 300 a 800 ppm del colorante NM. Para determinar la capacidad de adsorción del MOF Azo 1 se tomaron 10 mL de la solución NM de las diferentes concentraciones previamente preparadas y se agregaron 10 mg del polímero, para después mantenerlo en agitación a una velocidad de 550 rpm durante 1 h.

Para el caso de las pruebas de contacto se realizó el mismo procedimiento, pero a concentración de 500 ppm y utilizando tiempos de contacto de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min.

Después de haber obtenido las concentraciones de los sobrenadantes, los valores se incluyeron en una gráfica de tal manera que en el eje de las abscisas (X) se encuentren los valores de concentración (mg/L) y en el eje de las ordenadas (Y) la absorbancia obtenida, esto se logró con ayuda de la fórmula que se muestra a continuación:

$$X2= \frac{(Y3-Y1)(X3-X1)}{(X3-X1)} + X1$$

Y para conocer la capacidad que adsorbe el MOF y su eficacia en cuanto a la remoción del colorante se calculó con la fórmula que se muestra a continuación:

$$Eficacia\ \% = \frac{Co-Ct}{Co} * 100 \qquad Qt = \frac{(Co-Ct)V}{m}$$

Donde:

Q_e es la capacidad de adsorción en relación con el tiempo (mg/g); Co es la concentración inicial de soluto en la solución (mg/L); C_t es la concentración de soluto en el de equilibrio (mg/L); V es el volumen de solución (L) y, m la masa de adsorbente (mg).

Esto se pudo confirmar con la prueba que se realizó del colorante naranja de metilo, ya que se hizo una curva de calibración donde se tuvo un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9998

ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

MOF Azo 1

Se lograron obtener dos sólidos cristalinos que al ser observados al microscopio mostraron un color rojo y morado (**Figura 2**), siendo el material de color rojo el que se obtuvo en mayor cantidad, ambos materiales altamente cristalinos. La reacción solvotérmica dio lugar a la obtención de un rendimiento del 48%. Además, fue insoluble en H_2O y en la mayoría de los disolventes orgánicos como MeOH, EtOH, DMF.

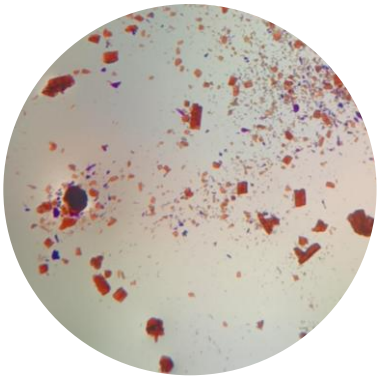
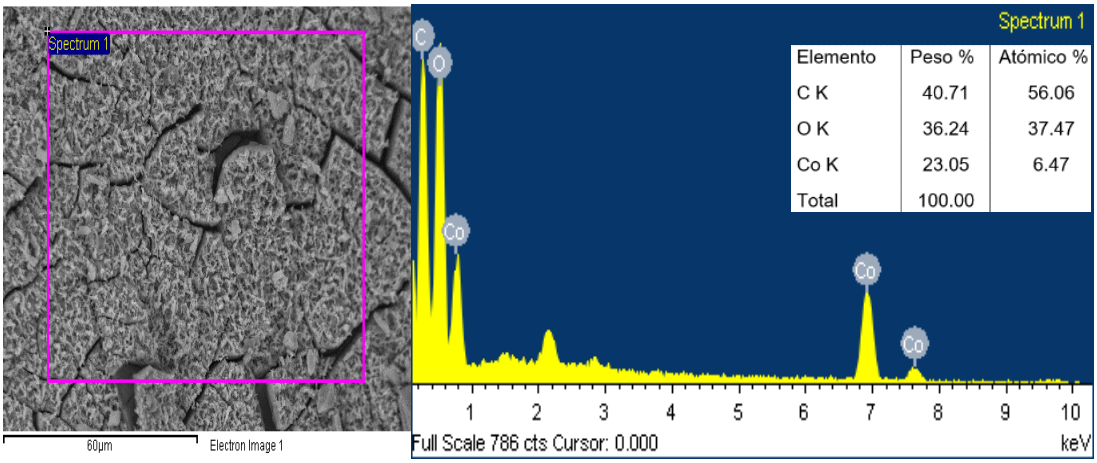


Figura 2. Cristales MOF Azo 1, observados a 30x

Microanálisis elemental por EDS

En la **Gráfica 1** se muestra la micrografía y el análisis elemental EDS de cristales del MOF Azo 1 con el cual se corroboraron los elementos precursores. Dichos que fueron cobalto (Co), oxígeno (O), carbono (C), en una relación de masa de 23.06%, 36.24% y 40.71% respectivamente.

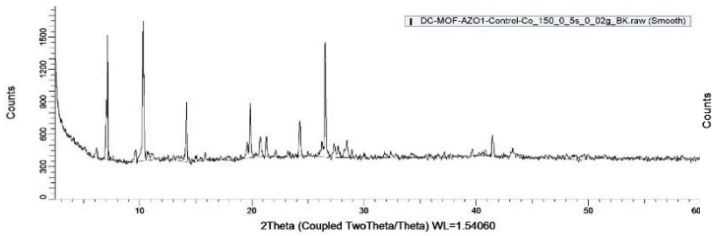


Gráfica 1. Microanálisis elemental EDS del MOF

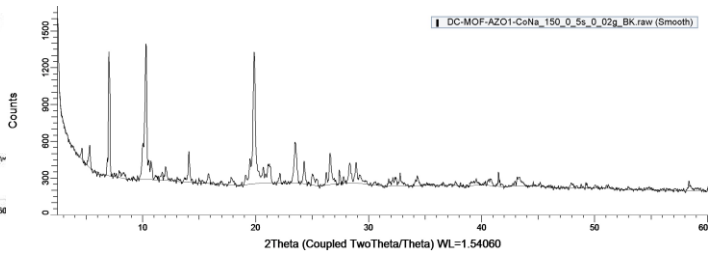
DRX de polvos del MOF Azo 1

En la **Gráfica 2** se muestra el difractograma del MOF Azo 1 el cual se realizó a partir de una muestra del polvo cristalino de este polímero, de manera que nos muestra en el eje de las abscisas (X) el ángulo de difracción y en el eje de las ordenadas (Y) la intensidad correspondiente y los datos de la muestra analizada. El pico más alto que se observó fue de 1650. En la **Gráfica 3** se demuestra como el MOF si pudo realizar y adsorber al colorante NM, ya que se puede observar un cambio en la intensidad de las bandas, teniendo en cuenta que la más alta que se mostró fue alrededor de 1400.

 ISSN: 2007 8102



Gráfica 2. Difractograma de polvos cristalinos



Gráfica 3. Difractograma de polvos cristalinos posterior a la remoción de NM

Al comparar los difractogramas del antes y después de la remoción del colorante con el MOF Azo 1, se observa que este sigue presentando una misma fase cristalina del MOF, sin embargo, se nota una disminución de su intensidad en la banda de 15 y 27 θ, a diferencia de la de 20 θ que su intensidad aumenta, lo cual indica que se ha perdido cristalinidad, pero que no afecta tanto a su estructura, por lo que se puede afirmar que el colorante azoico es adsorbido mediante fisisorción en el MOF. Comparándolo con el estudio del MOF UV-11 [7] se destacan bandas similares debido a la presencia del mismo ligante, además de observar que hay una ausencia de estos mismos, los cuales están observados en el estudio de la primera vez síntesis de nitrato de cobalto hexahidratado mediante condensación controlada por vaporización láser [8].

Micrografía SEM del MOF Azo 1 posterior a la remoción de NM

Esta técnica nos permitió visualizar la morfología y tamaño del MOF Azo 1, en la **Figura 3** se observan las micrografías SEM antes y después de la remoción de NM. Antes de la remoción, la superficie del MOF se ve definida y sin moléculas adheridas **Figura 3a**, pero posterior a la remoción, se observa una superficie rugosa y más opaca, que indica la porosidad del material además de presentar aglomeraciones de moléculas del colorante en la superficie, reafirmando así la adsorción del NM, **Figura 3b**.

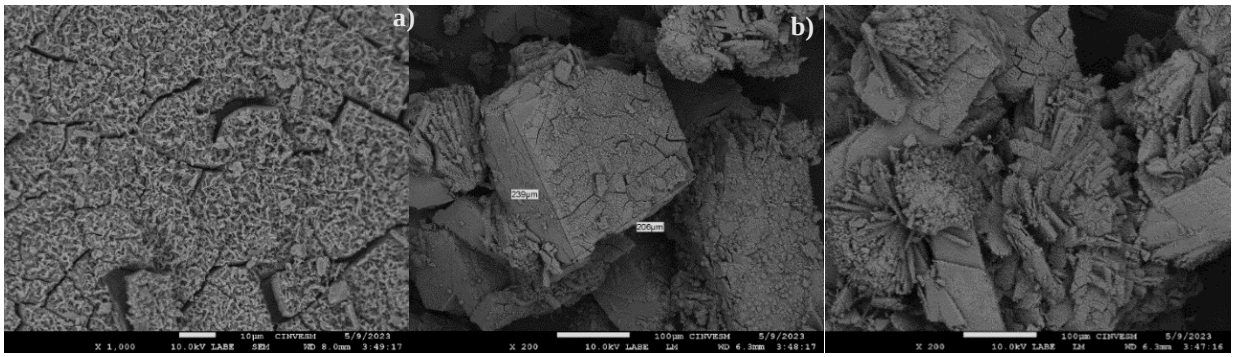


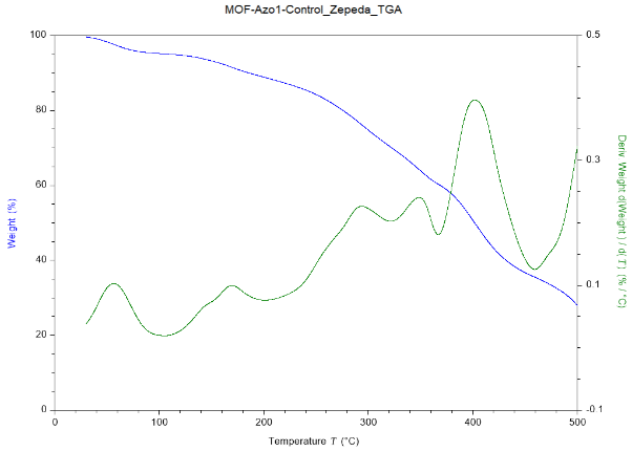
Figura 3. Micrografía SEM antes y después de la remoción

Análisis termogravimétrico

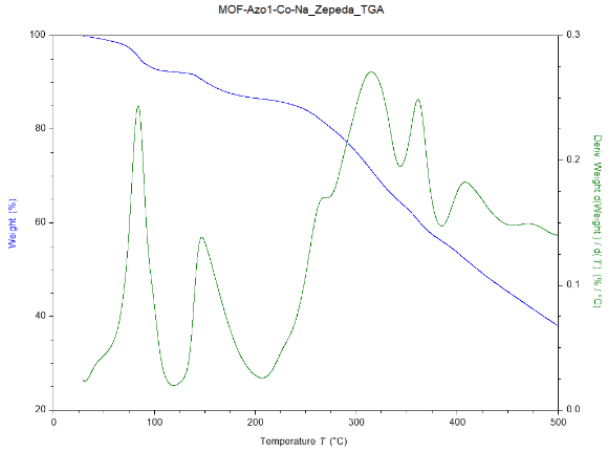
Con esta técnica se pudo determinar la estabilidad térmica que presenta el MOF, ya que se muestra cómo la muestra original comienza a perder peso conforme se incrementa la temperatura. En la **Gráfica 5** se puede observar una disminución inicial de la masa a una temperatura cerca a los 40 y 60ºC, que se debe a la pérdida de componentes volátiles en el material, que probablemente quedaron del proceso de reacción. Por otro lado, es importante destacar que hasta este momento la salida de dichos componentes no involucra la degradación del MOF, por lo que no se podría considerar como una reducción en la estabilidad térmica del mismo. Otra pérdida

 ISSN: 2007 8102

menor fue del 4% que está relacionada a la pérdida del disolvente que fue DMF a una temperatura de 175ºC. Mientras que de las pérdidas mayores que se muestran son a 290ºC que se debe al ácido benceno-1,2,4,5-tetracarboxílico y a una temperatura de aproximadamente 400ºC se tuvo una pérdida del 37% que se debe a la descarboxilación del MOF, lugar donde se da la descomposición de este polímero. Mientras que en la **Gráfica 6** se muestra el MOF con el NM adsorbido en su superficie mostrando que la pérdida de masa comienza a temperaturas de 80ºC, que corresponde a moléculas de agua adsorbidas en la superficie y en el interior de MOF. De la misma manera, a una temperatura de aproximadamente 120ºC se llevó a cabo la pérdida de un 30% perteneciente al DMF.



Gráfica 5. Curva TGA del MOF



Gráfica 6. Curva TGA después de la remoción

Eficacia de remoción de NM mediante el MOF Azo 1

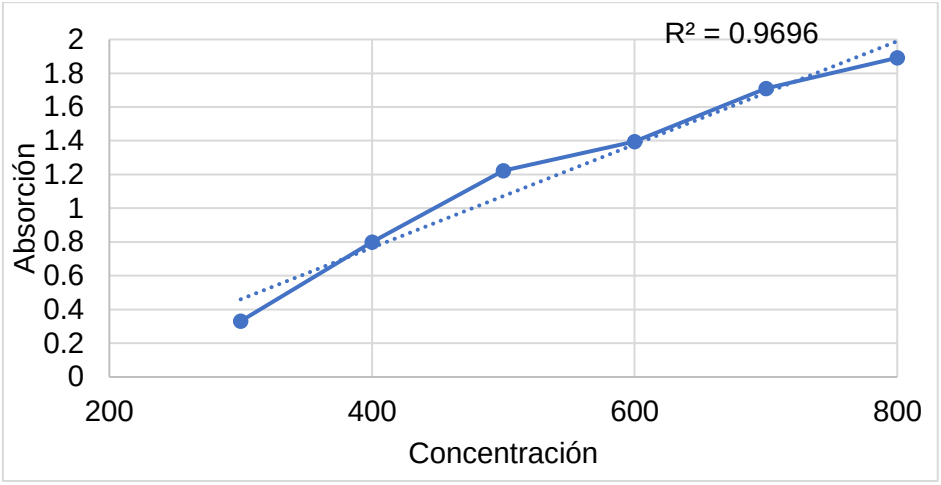
Las soluciones que se emplearon para la remoción del colorante NM fueron de diferentes concentraciones 300, 400, 500, 600, 700 y 800 ppm. Para la eficiencia de remoción del MOF Azo 1 con el colorante NM se evaluaron 6 soluciones con una concentración de 500 ppm a diferentes tiempos de contacto: 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos. En la **Figura 4** se puede apreciar la remoción del NM asociado a una pérdida de color en la solución que logra el MOF 01 para el colorante NM, donde el tubo que se muestra a la izquierda es la concentración máxima del colorante, mientras que el tubo de la derecha es posterior al procedimiento de la adsorción.

El coeficiente de determinación es un valor que nos permite saber y conocer que tan cercano estamos a los valores reales de acuerdo con la regresión lineal que se tiene, por lo que en la **Gráfica 7** se presentan los valores experimentales y se observa que se mantienen dentro del rango deseado ya que el valor de la R^2 es de 0.9696, además de que conforme aumenta la concentración del colorante la absorción también aumenta.

 ISSN: 2007 8102



Figura 4. Remoción de colorante NM mediante el MOF Azo 1

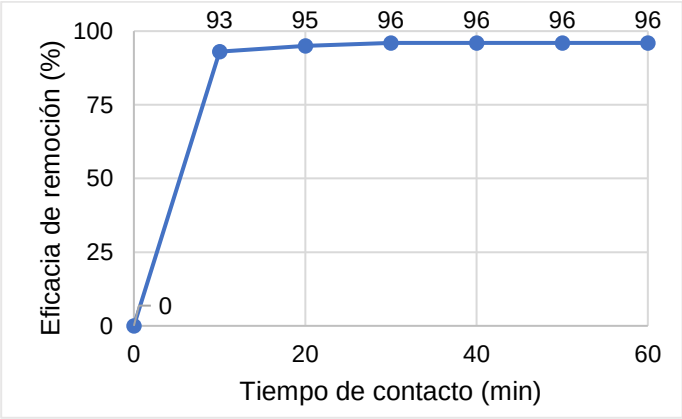


Gráfica 7. Absorción de NM a diferentes concentraciones

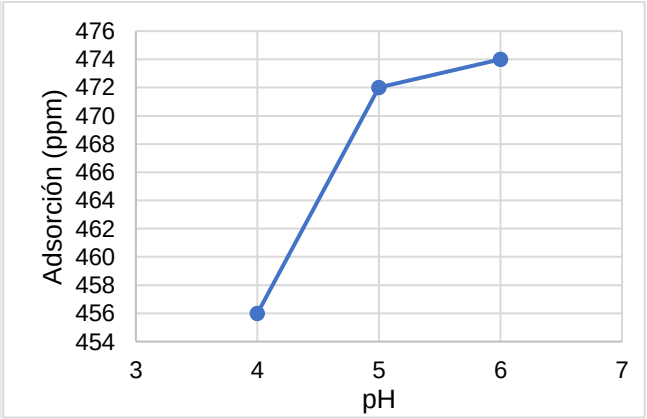
Capacidad de adsorción del MOF Azo 1 para NM

La capacidad máxima de adsorción (Q_{max}) del MOF para el colorante NM fue de 96%, y fue alcanzada a un tiempo de contacto a partir de los 10 min. lo cual nos indica que a este tiempo de contacto la adsorción del colorante ya se ha llevado a cabo con una eficacia del 93%, por lo que se dice que a una concentración alta del NM este puede remover gran cantidad de colorante en cuestión de minutos. El comportamiento Q_t del MOF Azo 1 para el colorante NM se observa en la **Gráfica 8.** El MOF UV-11 siendo un polímero ya reportado y que se sintetizó por el mismo método se puede comparar con este, además de ser también de cobalto y fue usado para la remoción del colorante naranja de metilo, obteniendo una Q_{max} de 1649 mg/g [9].

En la **Gráfica 9** se muestra el comportamiento que tiene el colorante NM en cuanto a la adsorción con el MOF Azo 1 a diferentes pHs, esto se evaluó teniendo una concentración de 500 ppm de la solución, donde se tuvo una adsorción 456 ppm en pH de 4 y mientras este estaba en aumento la absorbancia igual aumentaba, en el caso de pH 6 se tuvo una adsorción de 474 ppm. El pH es un parámetro importante que ayuda a controlar los procesos de adsorción de metales en diferentes adsorbentes. Con esta gráfica se puede decir que el pH óptimo es de 6, y se deduce que la capacidad de adsorción del NM aumenta cuando el pH es más ácido, lo que significa que el MOF se encuentra con carga positiva permite que se adhiera con la carga negativa del ion NM.



Gráfica 8. Tiempo de contacto eficacia de remoción



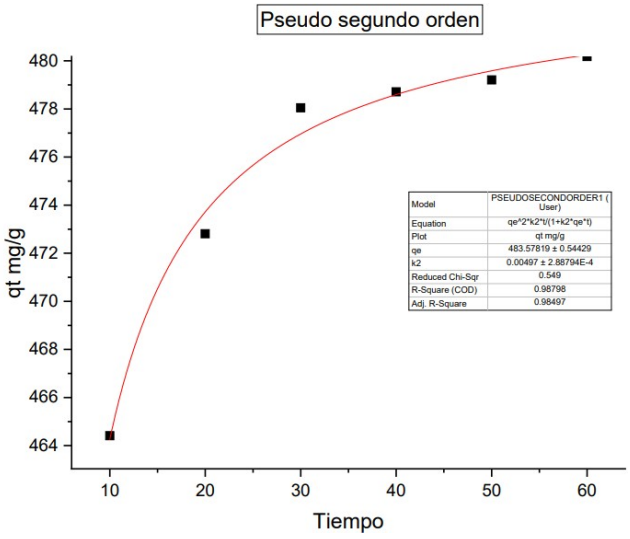
Gráfica 9. Efecto del pH en la adsorción de NM

 ISSN: 2007 8102

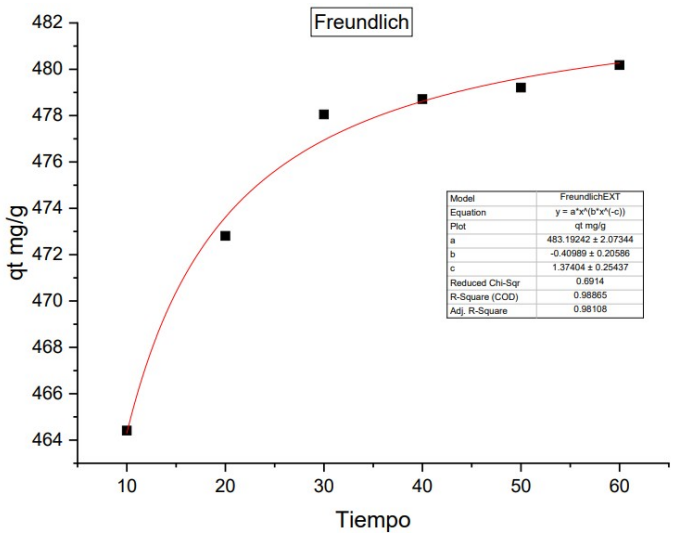
Velocidad de la reacción e isoterma de la reacción

Para poder entender el mecanismo de reacción y saber el proceso de adsorción entre el adsorbato y el adsorbente se llevó a cabo la adsorción del colorante NM utilizando una concentración de 500 mg/g a diferentes tiempos de contacto que fueron desde los 10 min hasta los 60 min., de tal manera que al ajustar los datos para la ecuación de pseudo segundo orden se encontró que la capacidad de adsorción en el equilibrio fue de 483 mg/g, por lo que este modelo junto con la R^2 que fue de 0.987 nos indicó que la velocidad de adsorción depende tanto del adsorbato que es el colorante NM como del adsorbente que es el MOF Azo 1, **Gráfica 10**.

Por otro lado, tambien se realizaron los cálculos para determinar la isoterma de adsorción que se pudo ajustar al modelo de Freundlich. El proceso de adsorción sigue una relación no lineal entre la cantidad adsorbida en el adsorbente y la concentración del adsorbato, ver **Gráfica 11**. El modelo de Freundlich es utilizado para describir la adsorción en sistemas heterogéneos, donde la superficie del adsorbente puede tener diferentes sitios de adsorción con diferentes afinidades. Los datos experimentales de adsorción obtenidos en este trabajo se ajustaron bien al modelo de Freundlich y esto nos indica que la cantidad de adsorbato NM adsorbido aumenta y no linealmente, sino que incrementa con el aumento de la concentración del NM. Por lo que la superficie del MOF es heterogénea y hay diversos tipos de sitios activos sobre la superficie, dando una adsorción en multicapa.



Gráfica 10. Pseudo segundo orden



Gráfica 11. Modelo de Freundlich

Trabajo a futuro

Siguiendo con la investigación y desarrollo de este nuevo MOF que fue denominado como Azo 1, se pretende que la síntesis pueda ser realizada por métodos ultrasónicos donde se puedan obtener nanopartículas de este material, de tal manera que se pueda lograr la obtención de un mejor rendimiento de la reacción así como un aumento en la eficacia de la adsorción por la disminución del tamaño de partícula, no solo de contaminantes del tipo azoicos sino también será probado este material en la adsorción de otras moléculas de gran importancia como son los fármacos, área importante en donde los MOFs están teniendo un gran auge en el acarreamiento y liberación prolongada de fármacos.

 ISSN: 2007 8102

Conclusiones

1. Se logró sintetizar un MOF mediante condiciones solvotérmicas, el cual fue denominado Azo 1.
2. Mediante la DRX de polvos se pudo evaluar y confirmar la fase cristalina del MOF Azo 1, la cual no tuvo cambios significativos que perjudicaran su estructura después de las pruebas de la remoción.
3. Con las micrografías SEM se demostró que el colorante azoico es adsorbido por el MOF mediante un mecanismo de fisisorción ya que se observaba en la superficie de este, de tal manera que se forman multicapas, confirmándose además con el modelo de Freundlich.
4. El MOF Azo 1 resultó ser un material cristalino el cual permite una remoción eficiente desde el minuto 10 del colorante azoico, naranja de metilo, esto es debido a las propiedades porosas que presenta, por lo que cada 10 mg de este nuevo polímero logró adsorber hasta 8 mg/L de NM.

Referencias

[1] E. M. Castillo Silva, M. A. Morales Rodríguez y G. Cervantes Zubirias, “Degradación del colorante naranja de metilo utilizando compositos de tio2/quitosano.”, Revista Multidisciplinas de la Ingeniería, n.º 5, pp. 86–91, 2017.

[2] M. H. Villegas-Fernández, M. Carpio-Granillo, E. Vargas-Hernández, F. J. Zuno-Cruz y G. Sánchez-Cabrera, “Una revisión general de las estructuras metal-orgánicas (MOF) dentro de la química inorgánica”, Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, vol. 8, n.º 16, pp. 18–29, enero de 2021. doi: 10.29057/icbi.v8i16.5775.

[3] P. Zaruma, J. Proal, I. Chaires Hernández y H. I. Salas, “Los colorantes textiles industriales y tratamientos óptimos de sus efluentes de agua residual: Una breve revisión”, Facultad de Ciencias Químicas, 2018, art. n.º 19.

[4] M. Safaei, M. M. Foroughi, N. Ebrahimpoor, S. Jahani, A. Omidi y M. Khatami, “A review on metal-organic frameworks: Synthesis and applications”, TrAC Trends Analytical Chemistry, vol. 118, pp. 401–425, septiembre de 2019. doi: 10.1016/j.trac.2019.06.007.

[5] A. A. Paneque Quevedo, “Mecanoquímica: Una visión general más allá de la química inorgánica.”, Revista Cubana de Química, vol. 31, pp. 71–86, 2019.

[6] J. A. Claudio-Rizo, L. F. Cano Salazar, T. E. Flores-Guia y D. A. Cabrera-Munguia, “Estructuras metal-orgánicas (MOFs) nanoestructuradas para la liberación controlada de fármacos”, Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, vol. 14, n.º 26, pp. 1e—29e, septiembre de 2020. doi: 10.22201/ceiich.24485691e.2021.26.69634.

[7] I. G. Meza-Pardo et al., “Síntesis de MOF UV-11 y su caracterización mediante voltamperometría cíclica”, Frontiers Chemistry, vol. 8, agosto de 2020. doi: 10.3389/fchem.2020.00617.

[8] G. P. Glaspell, P. W. Jagodzinski y A. Manivannan, “Formation of Cobalt Nitrate Hydrate, Cobalt Oxide, and Cobalt Nanoparticles Using Laser Vaporization Controlled Condensation”, J. Physical Chemistry B, vol. 108, n.º 28, pp. 9604–9607, 2004.

[9] J. S. Rodríguez Girón, “Aplicación de polímeros metal-orgánicos para la remoción de colorantes azoicos en soluciones acuosas”, Maestría, Universidad Veracruzana, Orizaba, 2019.

 ISSN: 2007 8102

Biosíntesis de nanopartículas de Au y su aplicación para la fotoconversión de CO_2

Luis Ricardo Morales Juarez[1], Francisco Bersain Moreno Luna[2], Marco Antonio Meraz Melo[3], Yarentzi Gomez Campos[4], and Odilon Vázquez Cuchillo[5*]

1 Tecnológico Nacional de México / I.T. Puebla. Av. Tecnológico 420, Col. Maravillas, Puebla, Puebla. 72220. México, ricardo.morales@puebla.tecnm.mx
2 Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas, IPN. Av. Instituto Politécnico Nacional, 2580. Barrio Laguna Ticomán, C.P. 07340 CDMEX, México, bersainbers@hotmail.com
3 Tecnológico Nacional de México / I.T. Puebla. Av. Tecnológico 420, Col. Maravillas, Puebla, Puebla. 72220. México, meraz.melo@puebla.tecnm.mx
4 Tecnológico Nacional de México / I.T. Puebla. Av. Tecnológico 420, Col. Maravillas, Puebla, Puebla. 72220. México, yarentzi.gomez @puebla.tecnm.mx
5 Tecnológico Nacional de México / I.T. Puebla. Av. Tecnológico 420, Col. Maravillas, Puebla, Puebla. 72220. México, odilon.vazquez@puebla.tecnm.mx

***Área de participación**: ingeniería Química*

Resumen

Se presenta la obtención de nanopartículas de oro (NP´s Au) sintetizadas a 65 °C con diferentes tiempos de síntesis, utilizando un extracto etanolico obtenido a partir del material vegetativo de Agave potatorum. El cual presenta una alta actividad para reducir la sal metálica precursora y actúa a la vez como estabilizantes de las nanopartículas formadas. Los resultados de espectroscopía de Uv-Vis presentan señales características referidas al plasmón superficial de las nanoparticulas de Au a 540 nm. Los resultados de microscopia electrónica de trasmisión (MET) muestran tamaños nanométricos que aumentan a medida que se incrementa el tiempo de síntesis. Los resultados de difracción de rayos X (DRX) muestran la presencia de la fase metálica en las diferentes nanopartículas sintetizadas. Las nanopartículas fueron impregnadas en TiO_2 para ser utilizadas en el sistema de fotorreacción en solución acuosa, mostrando una actividad en la foto conversión de CO_2 en función del tamaño de la partícula obtenida.

***Palabras clave**: Nanoparticulas Au. Fotocatalisis, CO_2, COV´s*

Abstract

The obtaining of gold nanoparticles (Au NPs) synthesized at 65 °C with different synthesis times is presented, using an ethanolic extract obtained from the vegetative material of Agave potatorum. Which has an activity to reduce the precursor metal salt and acts at the same time as stabilizers of the nanoparticles formed. The Uv-Vis spectroscopy results present characteristic signals referring to the surface plasmon of the Au nanoparticles at 540 nm. The transmission electron microscopy (TEM) results show nanometric sizes that increase as the synthesis time increases. The X-ray diffraction (XRD) results show the presence of the metallic phase in the different synthesized nanoparticles. The nanoparticles were impregnated in TiO_2 to be used in the photoreaction system in aqueous solution, showing an activity in the photoconversion of CO_2 depending on the size of the particle obtained.
***Key words**: Au Nanoparticles, Photocatalysis, CO2, COV´s.*

Introducción

En fechas recientes la nanotecnología ha avanzado de manera importante hacia la fabricación de nuevos materiales debido a las propiedades especiales que le confiere la escala nanométrica. Por ello, son diversos los materiales sintetizados en la actualidad gracias al desarrollo actual de las técnicas de manipulación a nanoescala. Una de las ramas más importantes de la nanotecnología se dirige a la síntesis de nanopartículas

metálicas (NP's) para su aplicación en distintas áreas del conocimiento [1,2], en particular la síntesis de NP's a partir de metales nobles como el oro ha adquirido recientemente gran relevancia debido a las aplicaciones que presentan estas partículas metálicas en diferentes áreas como son la medicina, óptica, electrónica, catálisis y remediación ambiental [3,4].
Sin embargo, muchos de los métodos de síntesis de nanopartículas presentan la desventaja de utilizar altas temperaturas o presión que dificulta su escalamiento industrial además de utilizar y/o generar ciertos compuestos tóxicos difícilmente removibles de las NP´s o generan residuos altamente tóxicos para el ambiente [5, 6]. Con el propósito de superar estos inconvenientes, se han venido desarrollando nuevos métodos de síntesis de nanopartículas metálicas utilizando procedimientos biotecnológicos, mediante el uso de microorganismos [7, 8] y plantas para su síntesis [9, 10].
De entre los métodos biotecnológicos, el uso de plantas y sus extractos presentan grandes ventajas como son: Tiempos cortos de síntesis, no existe la necesidad de utilizar medios de cultivo complejos, gran cantidad de metabolitos y compuestos que ayudan a realizar la bio-reducción de los metales y su posterior estabilización.
En este sentido de generar un mundo con mejores condiciones para las futuras generaciones es necesario atacar problemas de contaminación en diferentes ámbitos como es suelo, agua y aire. Cuando hablamos de la contaminación en el aire, el dióxido de carbono es el gas más abundante en la atmosfera de los gases de efecto invernadero, generado principalmente por las actividades humana y representa el 85.1 % del total de los gases de tipo invernadero [11]. Por lo que desarrollar un proceso efectivo que bajo condiciones suaves de producción se logre la conversión de este contaminante en productos de alto valor comercial y/o combustibles limpios resulta sumamente atractivo en la investigación moderna, además de que paralelamente el utilizar al CO_2 como materia prima se estará solucionado una premisa mundial en cuestión ambiental "Reducir las emisiones actuales de CO_2".
Lo que ha aumentado el interés científico dedicadas a la posible conversión de CO_2 a productos de alto valor industrial [12-15] por medio de procesos netamente catalíticos [16-18]. Las reacciones de reducción de CO_2, requieres altos insumos de energía, por lo cual se requiere un catalizador para bajar su energía de activación necesaria para lograr la conversión y selectividad a los productos deseados. Por lo tanto, una de las alternativas más importantes de los últimos años, para superar las limitaciones termodinámicas desfavorables de algunas reacciones a condiciones suaves, es el uso de la fotocatálisis, para obtener productos inertes y estables [19].
Con base en esta perspectiva ecoamigable y biocompatible, este trabajo explora la síntesis de nanopartículas de oro (AuNP's) desde una metodología de la química verde, utilizando extractos selectivos etanolicos obtenidos a partir de biomasa de Agave potatorum, para su impregnación en un semiconductor y buscar la foto-conversión de CO_2 hacia otros productos.

Metodología

A. Reactivos

Ácido tetracloroaurico ($HAuCl_4$, Sigma-Aldrich, 99.9%), etanol (CH_3CH_2OH, Sigma-Aldrich, ≥99.5%, butóxido de titanio (IV), ((Ti[O(CH2)3CH3]4; Sigma-Aldrich, 97%), agua desionizada tridestilada, ácido acético (CH_3COOH DEQ, 99.7%), dióxido de carbono (CO_2, Infra, 99.9%); los reactivos fueron obtenidos de Sigma-Aldrich y usados sin ningún tratamiento adicional.

B. Preparación de extractos

El extracto de agave potaturon etanolico fue obtenido según el procedimiento reportado anteriormente [20]. Donde se cortaron hojas basales de *Agave potatorum* de siete años de edad. Las hojas obtenidas se lavan cuidadosamente y enjuagan con agua tridestilada, para posteriormente cortarla en trozos pequeños y utilizar 100 g continuando con una maceración de los fragmentos de las hojas y su posterior filtración usando papel filtro Whatman No. 1. Para finalmente utilizar un rotovapor para hacer la extracción efectuando 6 ciclos y obtener el extracto etanolico deseado.

C. Síntesis biogénica de AuNP's

La síntesis de las nanopartículas se realizó según el procedimiento reportado anteriormente [21]. La síntesis biogénica de nanopartículas de oro se realizó mediante una solución acuosa (1.0 mM) de $HAuCl_4$. Posteriormente el extracto etanólico de *A. potatorum* (1 ml) se le agregó a la solución acuosa de $HAuCl_4$ (19 ml), manteniéndola en agitación constante a 65°C, variando el tiempo de síntesis de estas.

D. Síntesis del TiO2 por sol-gel.

 ISSN: 2007 8102

La metodología de síntesis del TiO_2 por sol-gel fue reportado anteriormente [22]. En una típica síntesis de TiO_2 fue preparada por el método sol–gel usando una relación molar de 1:100 de tetrabutoxido de titanio (Aldrich, 97%) y agua, respectivamente para colocarlo en agitación y adicionar una solución acida de (1.0:0.14) como catalizador de hidrolisis CH_3COOH (DEQ, 99.7%) para dejarlo deja reaccionar por 2 horas. El gel obtenido fue secado en la estufa a 100º C y tratado térmicamente a 400º C durante 4 horas con una rampa de calentamiento de 1º C/min.

E. impregnación de las Nanoparticulas.

La impregnación de las nanoparticulas se realizó colocando 0.1% en peso del total de la masa de TiO_2, para 1 gramo del semiconductor se adiciono 100 mL de etanol y colocando la muestra resultante en un roto vapor se realizó vacío y a una temperatura de 45 °C se logró la total sequedad.

F. Caracterización.

El seguimiento de la formación y estabilidad de las NP´s de Au sintetizadas se llevó a acabo inicialmente mediante espectroscopia UV-Vis (Perkin-Elmer lambda 35). La morfología de las AuNP's sintetizadas fueron obtenidos utilizando las imágenes generadas mediante Microscopia Electrónica de Transmisión utilizando un MET JEM 2010 JEOL, operando a un voltaje de aceleración de 200 kV. Oara lo cual se depositaron 2 µl de las muestras en rejillas de cobre con recubrimiento Formvar, dejando evaporar el solvente a temperatura ambiente. Los análisis DXR fueron realizados en un difractómetro D8 Bruker Discover Series 2 operando con radiación Cu Kα.

G. Pruebas fotocataliticas.

La foto conversión de CO_2 se realizó a baja presión en un reactor Bach de 7 cm de diámetro usando una celda de irradiación interna de dos lámparas Pen-Ray de radiación UV con una longitud de onda de 254 nm con una intensidad de $\mu W/cm^2$,inmersa en dos tubos de cuarzo localizado en el eje Z, Primeramente 100 mL de agua destilada fue adicionada en el foto-reactor, para posteriormente adicionar 200 mg del fotocatalizador el cual fue dispersado vigorosamente por 30 minutos, para posteriormente hacer el vacío e inmediatamente purgar el sistema con CO_2 por 60 minutos a un flujo de 5 mL por minuto para posteriormente sellar el foto-reactor y colocarlo en recirculación con el sistema de cromatografía y encender las lámparas. La desaparición de CO_2 fue monitoreada junto con la producción de metanol en línea con cromatógrafo de gases Perkin Elmer Clarus 680 con un detector TCD la inyección fue realizada con una válvula de seis vías y una columna Hayesep D100 / 120. La evolución de la reacción fue analizado a intervalos de tiempo de 30 min durante 12 h.

Resultados y discusión

Espectroscopia de Ultravioleta-Visible (Uv-Vis)

La síntesis de nanopartículas de oro (AuNP's) se realizó mediante extractos etanolicos de *Agave potatorum* como agentes bioreductor y estabilizante [23], los compuestos presentes en el Agave (azucares, aminoácidos, fenoles, saponinas y terpenoides) [24, 25] favorecen la reducción de los iones Au^+ presentes en la solución metálica. La formación de AuNP's se evidenció inicialmente mediante el cambio de coloración de la solución de Ácido tetracloroáurico ($HAuCl_4$) virando de color amarillo claro a violeta, iniciando este cambio en tiempos de aproximadamente dos minutos, lo cual nos indica la reducción rápida de los iones Au^+ a su forma metálica elemental, con su posterior agregación para formar las nanopartículas de oro (AuNP's) (Fig. 1).
Posteriormente al presentarse el cambio de coloración, se procedió a realizar el seguimiento de la formación de AuNP's mediante análisis espectrofotométrico UV-Vis extrayendo alícuotas cada minuto hasta 30 min de reacción (Figura. 2).
Mediante la espectroscopia de UV-Vis observamos la formación de la curva correspondiente a la resonancia del plasmón superficial (RPS) atribuida a la síntesis de nanopartículas de oro a una longitud de onda de 540 nm [20, 26]. Como se observa en la fig. 2, esta señal se va intensificando conforme avanza el tiempo; a los 10 min de reacción la señal se presenta como una curva amplia que se incrementa conforme va avanzando el tiempo de reacción, hasta los 30 minutos de reacción.
A manera de comparación se realizó la lectura del extracto acuoso del *A. potatorum*, para descartar cualquier traslapamiento de las señales correspondientes a los metabolitos presentes en el extracto con la banda característica de las AuNP's. Así mismo en la coloración de las alícuotas extraídas de la reacción a diferentes tiempos se observa que la tonalidad se va intensificando hasta los 30 min de reacción (Fig.1).

ISSN: 2007 8102

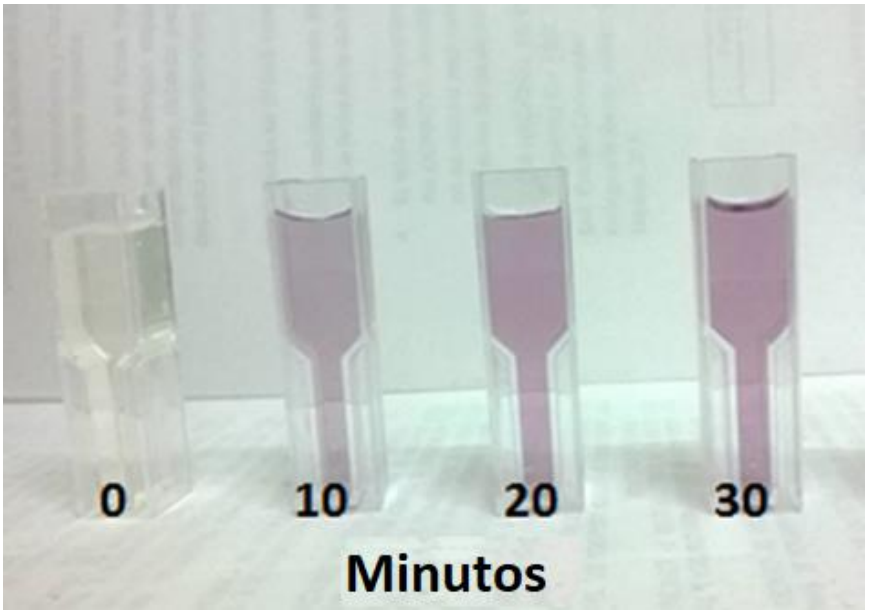


Figura 1. Cambio de coloración de la solución áurica a diferentes tiempos de reacción utilizando el reductor acuosos obtenidos a partir del agave potatorum, este cambio de tonalidad se debe a la formación de las nanopartículas de Au.

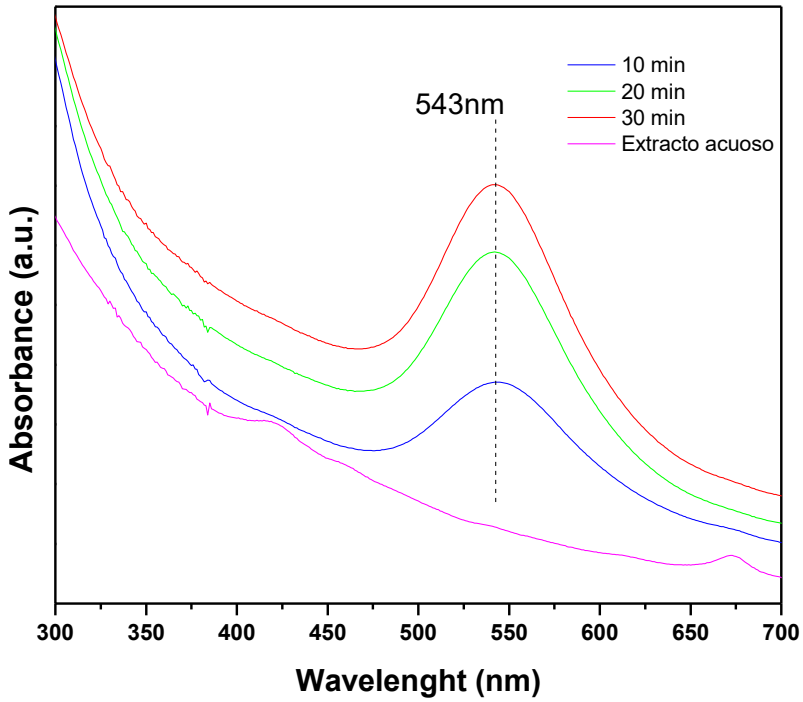


Figura 2. Formación del plasmón de resonancia superficial (SPR) correspondiente a las nanoparticulas de oro utilizando reductores acuosos obtenidos a partir del agave potatorum a diferentes tiempos de síntesis.

 ISSN: 2007 8102

Difracción de Rayos X (XRD)

La caracterización estructural se realizó mediante análisis XRD y el patrón obtenido de las AuNP's sintetizadas muestra 5 señales muy marcadas denotando ángulos 2Θ de 38.201°, 44.401°, 64.601°, 77.598° y 81.756°, los cuales pueden ser indexados a los planos de reflexión de Bragg (111), (200), (220), (311) y (222) correspondientes a la estructura cúbica centrada en las caras (FCC) (JCPDS 001-2616). En el análisis realizado se observa que la señal predominante corresponde a 2Θ = 38.201°, en general todos los materiales mostraron una similitud en la cristalinidad el difractograma de la muestra sintetizada a los 30 minutos es mostrada en la figura 3.

Microscopía Electrónica de Transmisión. (TEM)

Los análisis de microscopía electrónica de trasmisión realizados a las muestras sintetizadas a 10 minutos y 30 minutos son mostrados en la figura 4. Mediante un análisis de tamaño a partir de las micrografías de TEM (no mostrado) se determinó tamaños promedio cercanos a las 8 nm para la muestra sintetizadas a los 10 minutos y de 14 nanometros para la muestra sintetizadas a los 30 minutos, la muestra sintetizada a 20 minutos mostro un tamaño promedio de 11 nm. Este efecto puede ser atribuido al mayor tiempo de síntesis provocando un crecimiento en el tamaño promedio de las nanopartículas debido a la nucleación y coalescencia de los iones reducidos por el extracto.

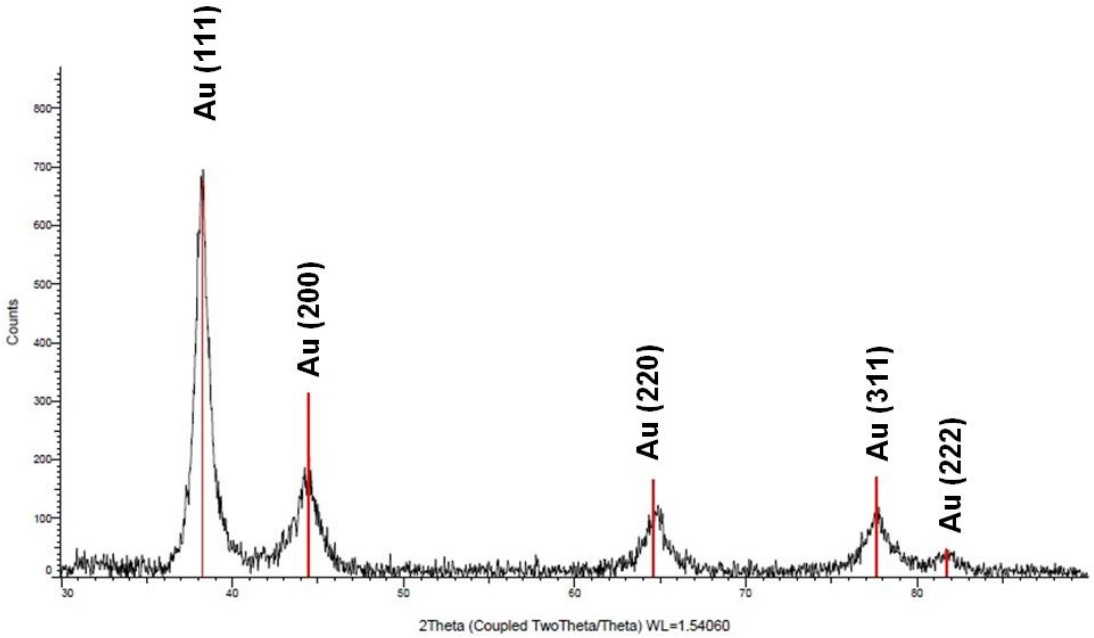


Figura 3. Difractograma de rayos X de las nanoparticulas de Au de la muestra sintetizada a 30 minutos, utilizando extractos acuosos de agave potatorum.

Microscopia Electrónica de Barrido.

Las muestras sintetizadas de nanoparticulas de Au fueron impregnadas sobre TiO_2, utilizado como el sustrato semiconductor como fue reportado anteriormente [28], tiene un área superficial de cercana a los 100 m^2/gr un ancho de banda de 3.1 eV y la fase anatasa después de haber sido calcinado a 400 °C. Las imágenes correspondientes son mostradas en la figura 5

Para mostrar la impregnación de las nanopartículas de Au se realizaron análisis utilizando EDS (análisis por dispersión de energía de rayos X), los resultados son mostrados en la figura 6. Donde podemos ver una imagen

 ISSN: 2007 8102

característica de este tipo de análisis y en la tabla uno el resumen hecho a diferentes puntos de esta muestra, con lo cual podemos concluir que la impregnación fue realizada en la superficie del semiconductor de manera homogénea.

Reacción foto catalítica.

La Figura. 7 muestra la evolución de la desaparición de CO_2 hacia otros productos como CH_4 y CO en función del tiempo en la reacción fototocatalitica propuesta y efectuada con las nanopartículas de Au sintetizadas a diferentes tiempos (10, 20 y 30 minutos) e impregnadas sobre el semiconductor TiO_2. La cantidad de metal de Au impregnado fue de 0.1%. La cantidad obtenida después de 12 horas de reacción de fotoredución de CO_2 fue de 180 μmol para el catalizador impregnado con las nanopartículas sintetizadas durante 10 minutos. La conversión hacia CH_4 disminuyo a 123 μmol de CH_4 para el catalizador con nanopartículas sintetizadas a 20 minutos para finalmente con las nanopartículas sintetizadas a 30 minutos se tiene una conversión de 42 μmol de CH_4 para los catalizadores con nanopartículas sintetizadas a 20 minutos. Entonces si el tamaño de las nanopartículas va aumentado en función del tiempo de síntesis y la actividad disminuye en función del tiempo de síntesis podemos decir que a mayor tamaño menor actividad.
Otro hecho que se observa a partir de la gráfica 7 es que durante las tres primeras horas de reacción la cantidad de productos obtenidos a partir de la fotoredución de CO_2 es casi nula lo cual puede ser debido a que primero se debe formar una cantidad de Hidrogeno ya que la reacción se realiza en fase acuosa el cual podría ser un precursor que permita la recombinación rápida al romperse la molécula de CO_2 y formar nuevos productos. El hecho de que el tamaño influya en la producción de nuevos productos puede ser debido a que el tamaño de partícula retarda la recombinación electro hueco generado más lentamente los nuevos productos, entonces un cambio en tamaño de nanopartículas de Au, implica un cambio en la velocidad de recombinación del par electrón hueco y por lo tanto cambiar su función de trampa de electrones [27].

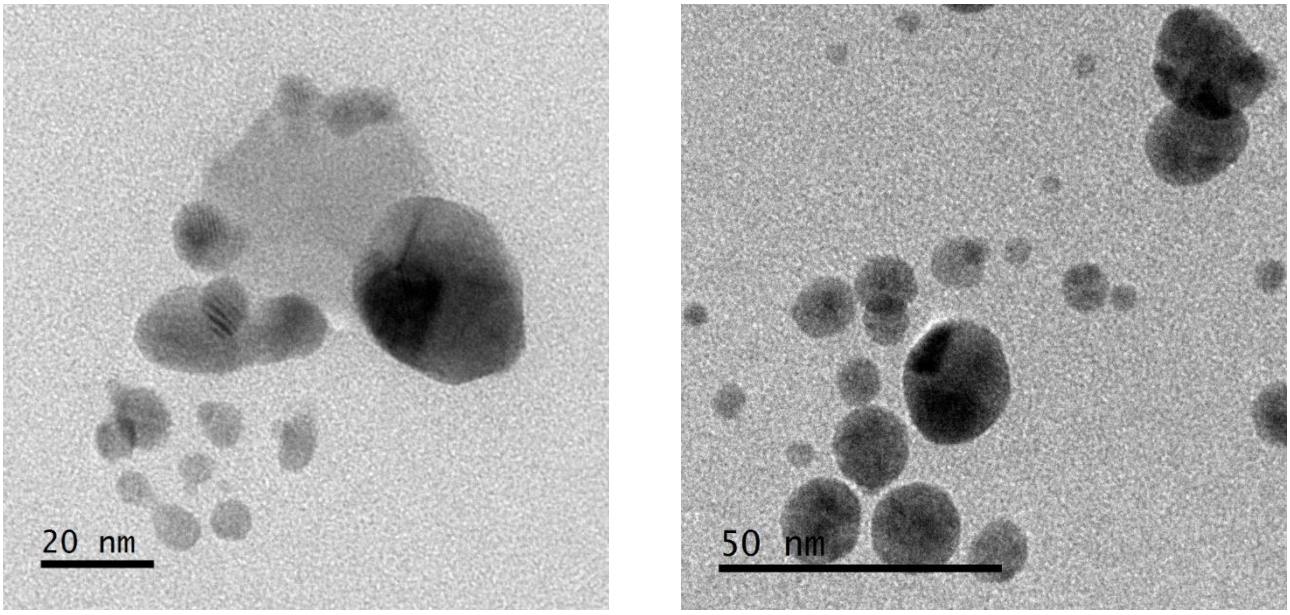


Figura 4. Micrografía de microscopia electrónica de Transmisión de las muestras de nanoparticulas de Oro sintetizadas a partir de extractos acuosos de agave potatorum a diferentes tiempo de síntesis de a) 10 minutos y b) 30 minutos.

 ISSN: 2007 8102

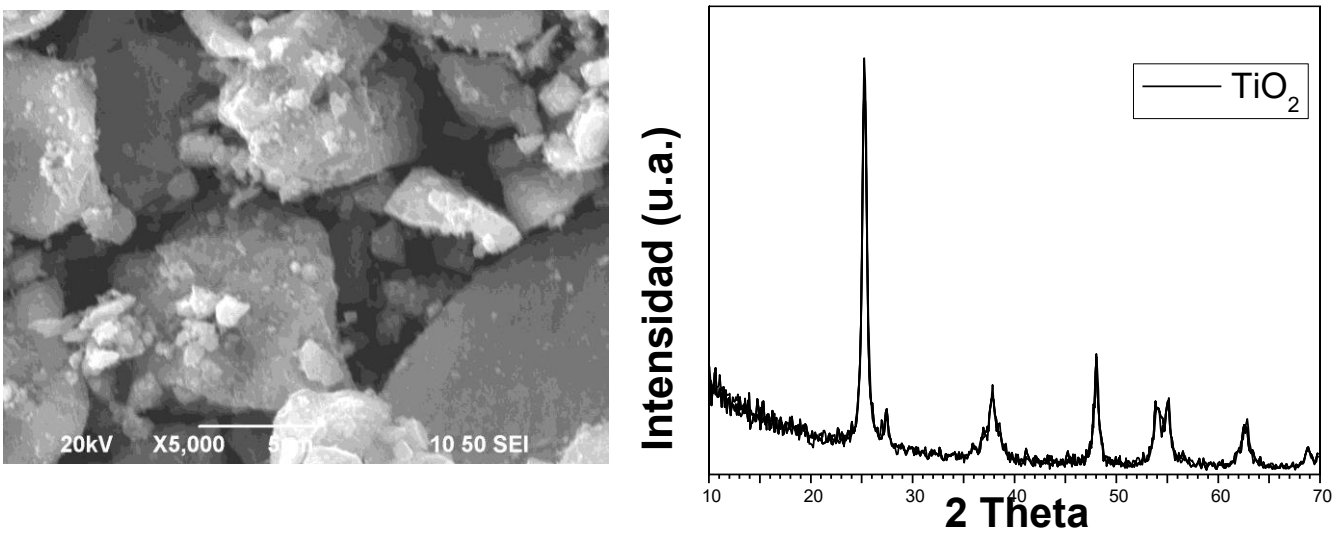


Figura 5. Micrografía de Microscopia electrónica de barrido y difracción de rayos x de la muestra de TiO2 sintetizados por la técnica de sol-gel.

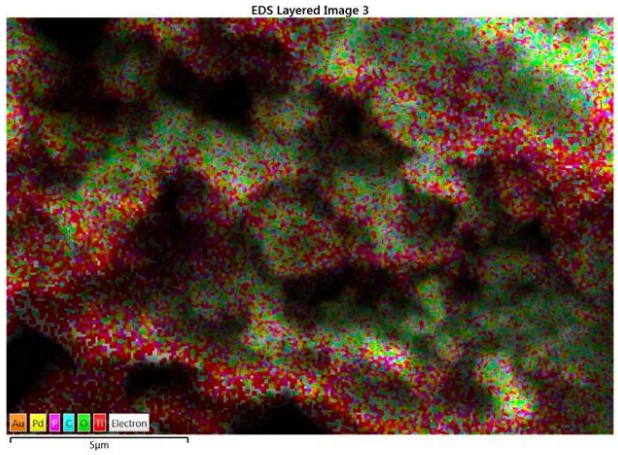


Tabla 1			
EDS analisis elemental de TiO_2 Impregando con Au			
Elemento	% Peso	% Peso	% Peso
Ti	58.878	60.153	59.119
O	41.009	39.758	40.732
Au	0.113	0.089	0.149
Total	100	100	100
Composicion Nominal peso: Ti=59.884 %, O=40.116%			

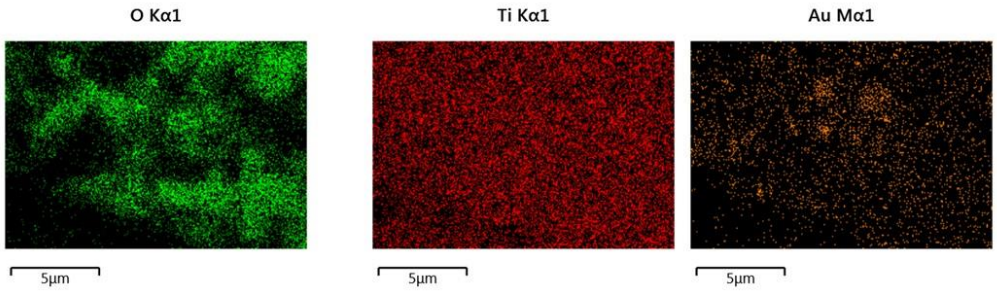


Figura 6. Análisis elemental (EDS) de la muestra de TiO2 impregnada con nanoparticulas de Au

Trabajo a futuro

El trabajo por realizar abordara una caracterización más completa y un análisis de los reductores obtenidos para determinar que metabolitos están presentes, además de identificar otros productos secundarios como consecuencia de las reacciones de fotocatálisis.

 ISSN: 2007 8102

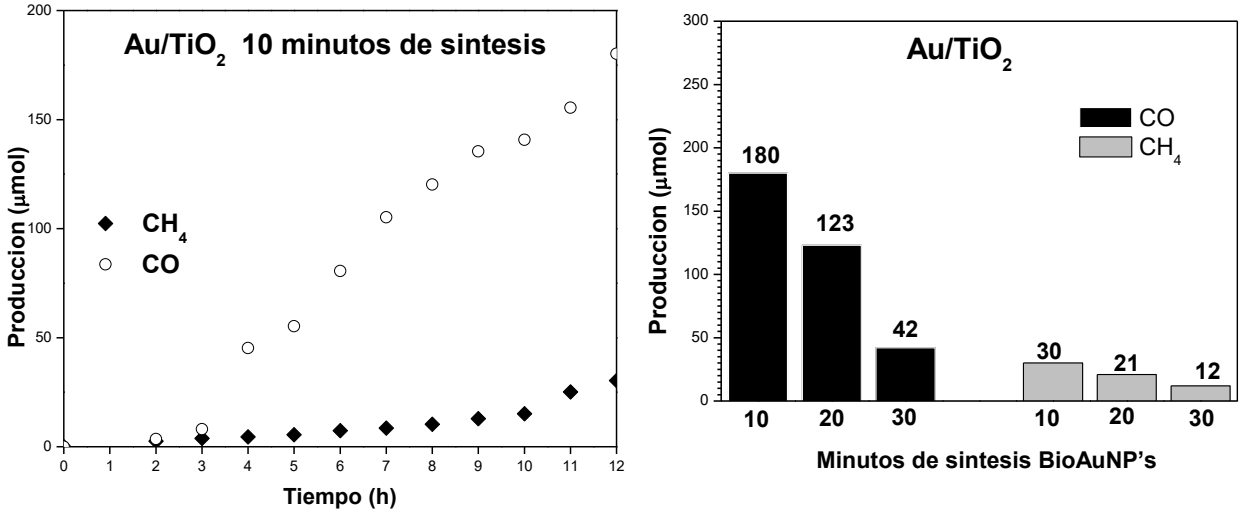


Figura 7. Producción de CO y CH_4 a partir de la reacción de fotoxidación de CO_2 en función del tiempo de síntesis de las nanopartículas de Au sintetizadas.

Conclusiones

Utilizando reductores acuosos obtenidos a partir del agave *potatorum, se obtuvieron metabolitos con capacidad reductora a bajas temperaturas de síntesis, para* obtener nanopartículas de Au (AuNp). Los resultados del análisis del tamaño de partícula por TEM mostraron diferentes tamaños en concordancia con el tiempo de síntesis obteniéndose mayor tamaño a mayor tiempo de síntesis debiéndose probablemente a la diferente tasa de nucleación durante el tiempo de síntesis. Todas las muestras de AuNP estaban en la FCC de Au (0). Las nanoparticulas obtenidas al impregnarse en un semiconductor mostraron una actividad para la foto reducción de CO_2 hacia otros productos como son el CO y CH_4. Se supone que las nanoparticulas de Au actúan como trampa de electrones, de los electrones excitados inducidos por la radiación UV variando la velocidad de recombinación electrón-hueco lo que genera diferentes tasas de foto conversión de CO_2 hacia otros productos.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Tecnológico Nacional de México por el financiamiento.

Referencias

[1] S. kazemi, A. Hosseingholian, S.D. Gohari, F. Feirahi, F. Moammeri, G. Mesbahian, Z.S. Moghaddam, Q. Ren, "Recent advances in green synthesized nanoparticles: from production to application" Materials Today Sustainability, vol 24, pp. 100500-100522, 2023.

[2] N. Hossain, M. H. Mobarak, M. A. Mimona M. A. Islam, A. Hossain, F. T. Zohura, M. A. Chowdhur. "Advances and significances of nanoparticles in semiconductor applications – A review" Results in Engineering, vol 19, no. September, pp. 101347- 101364. 2023

[3] S. Du, Z. Bi, J. Xi, "N-doped graphene fiber anchored Pd nanoparticles as a fixed-bed catalyst for continuous-flow reduction of N-containing unsaturated compounds", Green Synthesis and Catalysis (2023), doi: https://doi.org/10.1016/j.gresc.2023.08.003

[4] Y. Wanga, M. Zhang, X. Kong, T. Mad, W.Cao, Z. Han, P. Wanga, S. Liu, "Degradation of 1,2,3-trichloropropane using peroxydisulfate activation by green tea iron nanoparticles", Environmental Technology & Innovation vol. 32, pp. 103351-103363, 2023

[5] N. A. Begum, S. Mondal, S. Basu, R. A. Laskar, D. Mandal, "Biogenic synthesis of Au and Ag nanoparticles using aqueous solutions of Black Tea leaf extracts" Colloids Surf. B: Biointerf. Vol. 71, no. 1, pp. 113-118, 2009.

[6] N. Roy, S. Mondal, R. A. Laskar, S. Basu, D. Mandal, N.A. Begum N.A, "Biogenic synthesis of Au and Ag nanoparticles by Indian propolis and its constituents", Colloids Surf. B: Biointerf., vol. 76, no. 1, pp. 317-325, 2010.

[7] H. Zhao, M. Maruthupandy, F. A. Al-mekhlafi, G. Chackaravarthi, G. Ramachandran, C. K. Chelliah, "Biological synthesis of copper oxide nanoparticles using marine endophytic actinomycetes and evaluation of biofilm producing bacteria and A549 lung cancer cells" Journal of King Saud University – Science. Vol. 34, no.3, pp. 101866-101872, 2022.

[8] M. Rai, and N. Duran, "Metal Nanoparticles in Microbiology" Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 2011.

[9] L. Abdulazeem, A. F. Alasmari, M. Alharbi, A. Alshammari, Z. T. Muhseen, "Utilization of aqueous broccoli florets extract for green synthesis and characterization of silver nanoparticles, with potential biological applications" Heliyon vol. 9, pp. e19723-19735, 2023.

[10] A. R. Bagheri, N. Aramesh, Md S. Hasnain, A. K. Nayak, R. S. Varma, "Greener fabrication of metal nanoparticles using plant materials: A review", Chemical Physics Impact vol.7, pp. 100255-100267, 2023.

[11] G. Márquez, J. Martínez-Lozano, J. Sánchez-Soriano, E. Algaba, "A novel methodology for public management of annual greenhouse gas emissions in the European Union", Socio-Economic Planning Sciences, vol. 89, pp. 101697-1017718, 2023.

[12] J. Wei, C. Xin, W. Shang, J. Hu, J. Guo, X. Cheng, W. Liu, Y. Shi, "Enhanced CO_2 -to-methane photoconversion over carbon nitride via interfacial charge kinetics steering", Materials & Design, Vol. 219, no. July, pp. 110756- 110766, 2022.

[13] T. D. Nguyen-Phan, J. E. Ellis, A. Venkataraman Nagarajan, B. H. Howard, G. Mpourmpakis, D. R. Kauffman, "Precisely doping the surface of tin-based electrocatalysts for improved CO_2 conversion to liquid chemicals", Applied Catalysis B: Environmental vol. 340, pp. 123250-12359, 2023.

[14] Gaeun Park, Hyunki Kim, Gyeong Ho Han, Juho Ha, Jung Yong Seo, Minji Kang, Myung-gi Seo, Youngheon Choi, Soo Young Kim, Sang Hyun Ahn, "The effect of Cu oxidation states on C2H4 production from electrochemical CO2 conversion", Journal of CO_2 Utilization, vol. 75, pp. 102569-102578, 2023.

[15] E. Corrao, F. Salomone, E. Giglio, M. Castellino, S. M. Ronchetti, M. Armandi, R. Pirone, S. Bensai, "CO_2 conversion into hydrocarbons via modified Fischer-Tropsch synthesis by using bulk iron catalysts combined with zeolites" Chemical Engineering Research and Design, vol. 197, no. pp. 449-465, 2023.

[16] L. Wang, Y. Wang, L. Fan, H.i Xu, B. Liu, J. Zhang, Y. Zhu, X. Tu, "Direct conversion of CH4 and CO2 to alcohols using plasma catalysis over Cu/Al(OH)3 catalysts", Chemical Engineering Journal vol. 466, pp.143347-143360, 2023.

[17] J. Gandara Loe, A. Pinzon Peña, J. L. Martin Espejo, L. F. Bobadilla, T. Ramírez Reina, L. Pastor-Perez, "MIL-100(Fe)-derived catalysts for CO_2 conversion via low- and high-temperature reverse water-gas shift reaction", Heliyon vol. 9 pp. e16070-16080, 2023.

[18] Y. Li, D. Chen, Z. Fang, H. Zhou, J. Zhu, Y. Li, S. Huang, W. Lin, Y. Zhang, "Unveiling the role of adsorbed hydrogen in tuning the catalytic activity of CO2 conversion to methanol at Cu/TiC surfaces", Journal of CO_2 Utilization, vol. 72, pp. 102515-102525, 2023.

[19] M. Perfecto-Irigaray, I. Merino-Garcia, J. Albo, G. Beobide, O. Castillo, A. Luque, S. Perez-Yañez," Copper(II)-porphyrin functionalized titanium(IV) metal-organic aerogels for the visible-light driven conversion of CO 2 to alcohols" Materials Today Energy Vol. 36, no. Agosto, 101346-101360, 2023.

[20] F.B. Moreno-Luna, J.L. Herrera-Perez, A. Bautista-Hernandez, M.A. Meraz-Melo, J. Santoyo-Salazar, O. Vazquez-Cuchillo, "Biosynthesis of gold nanoparticles from Agave potatorum extracts: effect of the solvent in the extraction" Materials Today Sustainability, vol. 20 pp. 100231-10239, 2022.

[21] F.B. Moreno-Luna, A. Tovar-Corona, J.L. Herrera-Perez, J. Santoyo-Salazar, E. Rubio-Rosas, O. Vázquez-Cuchillo, "Quick synthesis of gold nanoparticles at low temperature, by using *Agave potatorum* extracts" Materials Letters vol. 235, pp. 254–25, 2019

[22] O. Vázquez-Cuchillo, A. Cruz-López, L. M. Bautista-Carrillo, A. Bautista-Hernández, L. M. Torres-Martínez, S. Wohn Lee, "Synthesis of TiO2 using different hydrolysis catalysts and doped with Zn for

 ISSN: 2007 8102

efficient degradation of aqueous phase pollutants under UV light “, Res Chem Intermed, vol. 36, pp.103–113, 2010.

[23] M. Behera, G. Giri, “Green synthesis and characterization of cuprous oxide nanoparticles in presence of a bio-surfactant”, Materials Science-Poland, vol. 32, no. 4, pp. 702-708, 2014.

[24] A. N. Almaraz, A. E. Delgado, R. J. Ávila, J. N. Uribe, L. S. González, “The Phenols of the Genus *Agave* (Agavaceae)”, Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology, vol.4, no.1, pp. 9-16, 2013.

[25] J. Sidana, B. Singh, O. P. Sharma, “Saponins of *Agave:* Chemistry and bioactivity”, Phytochemistry, vol. 130, no. october, pp. 22-46, 2016

[26] P. K. Jain, K. S. Lee, I. H. El-Sayed & M. A. El-Sayed, “Calculated absorption and scattering properties of Gold nanoparticles of different size, shape, and composition: Applications in biological imaging and biomedicine”, Journal of Physical Chemistry B, vol. 110, no.14, pp. 7238-7248, 2014.

[27] A. Kudo, R. Niishiro, A. Iwase, H. Kato, “Effects of doping of metal cations on morphology, activity, and visible light response of photocatalysts” Chem. Phys. Vol. 339, no. 1-3, pp. 104–110, 2007.

 ISSN: 2007 8102

Características higroscópicas en función de la temperatura de almidón de malanga

M. Rangel-Marrón[1,1], O. Escalante-Reyes[1,2], M.A. Ríos-Corripio[2], J.G. Cerón-Bretón[1,3], R.M.Cerón-Bretón[1,4]*
[1]Facultad de Química, Universidad Autónoma del Carmen, Calle 56 No. 4 Esq. Av. Concordia, Col. Benito Juárez, C.P. 24180, Ciudad del Carmen, Campeche, México [1,1] mrangel@pampano.unacar.mx,*
[1,2] orlandoer55@gmail.com , [1,3] jceron@pampano.unacar.mx , [1,4] rceron@pampano.unacar.mx
[2]Profesora Investigadora Cátedra CONAHCYT adscrita al Colegio de Postgraduados campus Córdoba, Ver, México rios.antonieta@colpos.mx

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

Se determinaron isotermas de sorción para almidón de malanga a 15, 25 y 35°C utilizando el método gravimétrico con soluciones saturadas y se calculó el calor isostérico de sorción. Las muestras respondieron a isotermas tipo II. El almidón de malanga conservó sus propiedades higroscópicas a una temperatura de 25°C sin degradación en su calidad microbiológica. Se utilizaron ocho modelos matemáticos para predecir la estabilidad teórica, de los cuales los que mejor respondieron fueron los modelos de Smith, Bradley, Oswin, Henderson, Halsey, Kühn y G.A.B con un R^2 >90 y un RMS <10%. El calor de sorción tiene valores mayores cuando el contenido de humedad en equilibrio (CHE) se encuentran en un intervalo de 0.07-0.09 g agua/g sólido seco, logrando alcanzar un máximo de 942 cal/mol°K cuando hay una mayor interacción del agua dentro del alimento.

***Palabras clave**: Calor isostérico, Isotermas de sorción, Almidón de Malanga, Propiedades higroscópicas*

Abstract

Sorption isotherms were determined for taro starch at 15, 25, and 35°C using the gravimetric method with saturated solutions, and the isosteric heat of sorption was calculated. The samples responded to type II isotherms. The taro starch retained its hygroscopic properties at 25°C without degradation in its microbiological quality. Eight mathematical models were used to predict theoretical stability, of which the best-responding models were those of Smith, Bradley, Oswin, Henderson, Halsey, Kühn, and G.A.B, with R^2 >90 and RMS <10%. The heat of sorption has higher values when the equilibrium moisture content (EMC) is in the range of 0.07-0.09 g water/g dry solid, reaching a maximum of 942 cal/mol°K when there is a more significant interaction of water within the feed.

***Key words**: Isosteric heat, Sorption isotherms, Taro starch, Hygroscopic properties*

Introducción

La malanga (*Colocasia esculenta*) es un tubérculo comestible que pertenece a la familia de las Araceaes y esta es originaria de Asia, África y Oceanía. Su forma es ovoide-redonda con pulpa almidonosa y cascara color marrón oscura. La planta se comenzó a introducir en el país de México y se comenzó a cultivar por sus cormos o raíz las cuales tienen una función muy importante hoy en día en la dieta humana, animal y sobre todo para uso industrial. En la actualidad en México, la malanga se cultiva en los estados de Oaxaca, Veracruz y Puebla [1]. La extracción del almidón implica de venir acompañado de diferentes componentes como lo son: grasas, fibra, proteína y ceniza, la cantidad de estos va a depender de diferentes factores como el procedimiento de extracción, época de cosecha, condiciones ambientales, etc. En diferentes estudios de almidón de malanga se pueden llegar a presentar contenidos de humedades en rangos de 8.4 a 14.5% para un intervalo aceptable <15% para poder utilizarse en la elaboración de diferentes formulaciones de alimentos. Para diferentes tipos de almidones se pueden llegar a encontrar humedades en intervalos de entre 10 y 20% [2]. Por lo cual, se puede considerar que el almidón de malanga es un excelente ingrediente para implementarse en diversas formulaciones de alimentos como en pastas, embutidos etc. por su gran capacidad como estabilizante.

 ISSN: 2007 8102

Los fenómenos de adsorción y desorción, así como el calor isostérico de los productos alimenticios y la influencia de la temperatura sobre el contenido de humedad en equilibrio, dan información fundamental para poder describir los comportamientos de almacenamiento de los alimentos, así como mejorar los parámetros en el proceso de deshidratación [3]. Las isotermas de sorción tienen una utilidad con fines básicos y prácticos. Los aspectos básicos involucran información relacionada con la cantidad de agua ligada, a través de la determinación del contenido de humedad de la monocapa, con la fuerza con la que está ligada el agua, a través de la evaluación de las entalpias de adsorción-desorción [4]. El calor isostérico es de gran utilidad en los procesos de sorción y absorción de agua en alimentos. El calor isostérico de sorción, en procesos de secado, indica la energía necesaria para romper las fuerzas moleculares entre la superficie del absorbente y las moléculas de vapor de agua. Se define que, a diferentes contenidos de agua en un mismo producto, el calor isostérico varía y aumenta con la deshidratación, elevándose de manera considerable por debajo de la zona de la monocapa [5]. El objetivo del presente trabajo fue 1) determinar las isotermas de adsorción de almidón de malanga a 15, 25 y 35°C, 2) predecir la estabilidad teórica por medio de los modelos matemáticos de B.E.T, G.A.B, Halsey, Henderson, Bradley, Oswin, Smith, y Kühn; 3) determinar el comportamiento del calor isostérico de sorción en función del contenido de humedad.

Metodología

Determinación de las isotermas de sorción

Se utilizó almidón de malanga proporcionado por el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Veracruz. Al cuál se le determinó al inicio del experimento el contenido de humedad por un periodo de 24 h a 110°C y se registró el valor de a_w del almidón con un equipo medidor de actividad de agua marca PawKit (EE.UU). Para obtener las isotermas de sorción se adaptó el procedimiento del proyecto COST 90 [6]. Se utilizaron soluciones salinas de grado reactivo: LiCl, CH_3COOK, $MgCl_2$, K_2CO_3, $Mg(NO_3)_2$, NaCl, KCl, $BaCl_2$, en la Tabla 1 se especifican los valores de a_w para cada temperatura de estudio. El procedimiento consiste en colocar 1g de muestra en cada pesafiltro por triplicado. Los pesafiltros se mantuvieron en el interior de las celdas de sorción para que las muestras tengan contacto con cada una de las ocho humedades relativas utilizadas (11, 23, 33, 43, 52, 74, 85 y 91% HR). Posteriormente, las celdas de sorción se almacenaron a 15°C en un refrigerador (IEM, México); a 25°C se utilizó un horno (LabLine, EE. UU) y para la temperatura de 35°C se empleó una estufa Lindgerg/Blue (Asheville NC, EE. UU). El registro de la ganancia o pérdida de humedad se realizó cada tercer día hasta alcanzar el equilibrio másico por un periodo aproximado de un mes.

Tabla 1. Soluciones salinas sobresaturadas y su valor de a_w para cada temperatura

Reactivo	15°C	25°C	35°C
LiCl	0.11	0.11	0.11
CH_3COOK	0.23	0.23	0.22
MgCl2	0.32	0.32	0.32
K_2CO_3	0.43	0.43	0.43
$Mg(NO_3)_2$	0.52	0.52	0.49
NaCl	0.74	0.74	0.74
KCl	0.85	0.85	0.83
$BaCl_2$	0.91	0.91	0.89

Cálculo de la estabilidad teórica

Se utilizaron los modelos teóricos y semi - teóricos de: G.A.B, B.E.T, Oswin, Smith, Henderson, Bradley, Halsey y Kühn, para realizar el cálculo de la estabilidad teórica. En la Tabla 2 se puede observar los modelos linealizados o bien, la ecuación linealizada para poder realizar las regresiones lineales. Para resolver el modelo de G.A.B se utilizó regresión no lineal por medio de la función SOLVER de Excel. Se seleccionó aquel modelo

 ISSN: 2007 8102

que prediga el contenido de humedad tomando como parámetros el coeficiente de correlación (R^2>90) y la raíz media cuadrática del error inferior del 10% (RMS <10%).

Calor isostérico de sorción

El calor isostérico (Qs) describe la cantidad de energía requerida para que se lleve a cabo la desorción, y se calculó aplicando la ecuación de Clausius-Clapeyron (ecuación 1). Para realizar el cálculo se relacionó el ln (a_w) vs (1/T). El valor se determinó a partir de la pendiente que se genera de la relación antes mencionada.

$$\frac{\partial ln a_w}{\partial\left(\frac{1}{T}\right)} = -\frac{Qs}{R} \qquad (1)$$

En donde: a_w=Actividad de agua; T=Temperatura en °K; R= 1.98717 cal/mol °K que es la constante universal de los gases; Qs=Calor isostérico.

Tabla 2. Modelos matemáticos aplicados a las isotermas de sorción

MODELO	ECUACIÓN	ECUACIÓN LINEALIZADA	
B.E.T [7]	$X_{(aw)}=\frac{X_{mb}C_b a_w}{[(1-a_w)(1+(C_b-1)a_w)]}$	$\frac{a_w}{[(1-a_w)*Xa_w]}=a+b*a_w$ $a=1/X_{mb}C_b \quad b=(C_b-1)/X_{mb}C_b \quad X_{mb}=1/a+b$	(2)
BRADLEY [8]	$X_{(aw)}=a+b\ln(-\ln a_w)$	---	(3)
G.A.B [9]	$X_{(aw)}=\frac{X_{mg}C_g K a_w}{[(1-Ka_w)(1-Ka_w+CKa_w)]}$	---	(4)
HELSEY [8]	$X_{(aw)}=\exp[a+b\ln(-\ln a_w)]$	$\ln(Xa_w)=a+b\ln(-\ln a_w)$	(5)
HENDERSON [8]	$X_{(aw)}=\exp[a+b\ln(-\ln(1-a_w))]$	$\ln(Xa_w)=a+b\ln(-\ln(1-a_w))$	(6)
OSWIN [8]	$X_{(aw)}=\exp(a+b\ln[a_w/(1-a_w)])$	$\ln Xa_w=a+b\ln\left(\frac{a_w}{1-a_w}\right)$	(7)
SMITH [8]	$X_{(aw)}=a+b\ln(1-a_w)$	---	(8)
KÜHN [8]	$X_{(aw)}=a+ba_w$	---	(9)

En donde: $X(a_w)$=Humedad en equilibrio en base seca (g agua/g de solido seco); a_w=Actividad de agua; $X_{(mb)}$=Humedad de la monocapa en base seca (B.E.T, g agua/g sólido seco); C_b=Constante relacionada con el calor de porción (B.E.T); $X_{(mg)}$=Humedad de la monocapa en base seca (G.A.B, g agua/g sólido seco); Cg=Constante de Guggenheim; K=Constante de correlación de las propiedades de la multicapa con respecto al líquido (G.A.B); a=Constante de los modelos de sorción de Bradley, Henderson, Oswin, Smith, Kühn; b=Constante de los modelos de sorción de Bradley,Halsey, Henderson, Oswin, Smith, Kühn; C=Constante característica del producto de los modelos de B.E.T y G.A.B.

 ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Isotermas de sorción

El contenido de humedad inicial del almidón de malanga fue de 0.116 g agua/g sólido seco. Se obtuvieron isotermas de tipo II para las muestras de almidón de malanga, estas son típicas para alimentos deshidratados. Se puede observar que, para las muestras de almidón de malanga el contenido de humedad aumenta conforme el valor de a_w incrementa. Este comportamiento se debe a que existe un mayor efecto de sorción en la monocapa del almidón, tal y como se puede observar a 35°C en donde existió una mayor ganancia de humedad, siendo la temperatura de 15°C la que menor ganancia de humedad obtuvo, estos diferentes comportamientos de ganancia de humedad para las dos temperaturas se puede atribuir al fenómeno de adsorción, ya que las moléculas de vapor de agua se adhieren a la monocapa del almidón de malanga por poseer una mayor cantidad de poros disponibles dando oportunidad a que la adsorción se lleve a cabo a un valor de aw superior a 0.05 como se observa en la Figura 1.

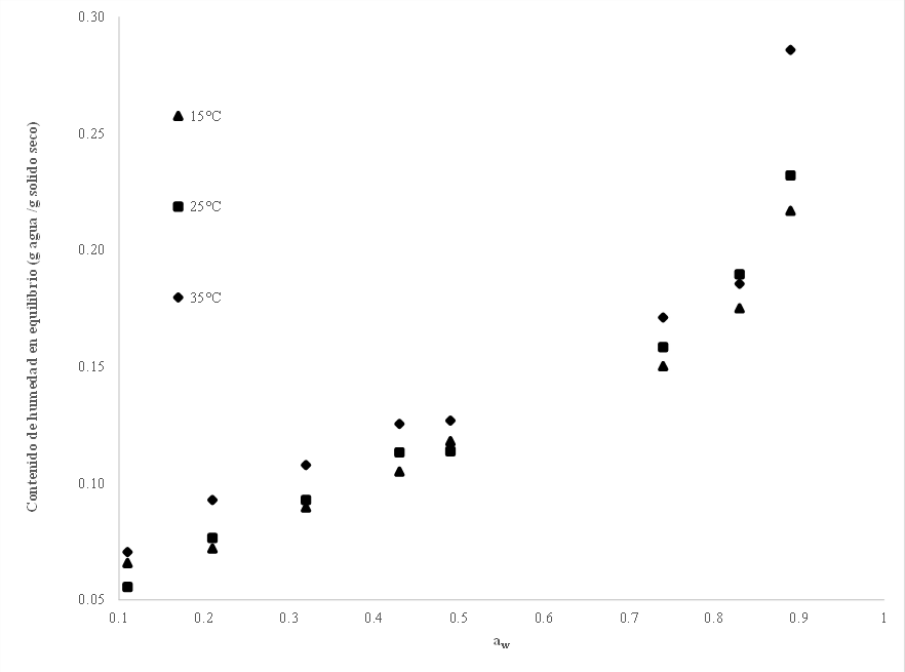


Figura 1. Isotermas de sorción de almidón de malanga a 15, 25, y 35ºC

Modelos matemáticos para predecir las isotermas de sorción

De los ocho modelos para realizar la predicción del contenido de humedad siete respondieron de manera adecuada, los cuales se pueden observar en las Tablas 3, 4 y 5, para las temperaturas de 15, 25 y 35ºC respectivamente. Además, se describen los valores del intercepto (A) y la pendiente (B) para cada modelo. A excepción del modelo de B.E.T, que presentó un %RMS > 10%. El resto de las ecuaciones utilizadas describieron el comportamiento de las isotermas de sorción de almidón de malanga con un valor de R^2 superior del 90%, que en conjunto con el RMS no excede el 10% con respecto al valor experimental. Los resultados sugieren una mejor predicción de las isotermas en el intervalo de a_w y temperaturas estudiadas. Los valores de humedad de monocapa obtenidos por el modelo de G.A.B fueron de: 6.289, 3.814, 6.526 g agua/ g sólido seco para 15, 25 y 35ºC, respectivamente. Observándose que a 25ºC, la adsorción de humedad en la monocapa es menor, y el contenido de humedad en equilibrio no excede 0.25 g agua/ g sólido seco.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 3. Valores de criterios de predicción de humedad de almidón de malanga a 15°C

	Oswin	Smith	Henderson	Bradley	KÛHN	HELSEY	G.A.B
A	-2.043	0.069	-1.834	0.111	0.056	-2.239	--
B	0.285	-0.079	0.409	-0.044	0.152	-0.386	--
R^2	95	91	92	93	93	94	90
RMS	1.924	2.29	2.328	2.224	2.643	2.074	5.922
K	--	--	--	--	--	--	0.079
C1	--	--	--	--	--	--	0.534

Tabla 4. Valores de criterios de predicción de humedad de almidón de malanga a 25°C

	Oswin	Smith	Henderson	Bradley	KÛHN	HELSEY	G.A.B
A	-2.178	0.060	-1.944	0.975	0.097	-2.391	--
B	0.315	-0.071	0.457	-0.053	-0.053	-0.421	--
R^2	98	98	98	98	98	95	95
RMS	1.139	2.145	1.221	1.037	1.037	2	4.81
K	--	--	--	--	--	--	0.09
C1	--	--	--	--	--	--	0.699

Tabla 5. Valores de criterios de predicción de humedad de almidón de malanga a 35°C

	Oswin	Smith	Henderson	Bradley	KÛHN	HELSEY	G.A.B
A	-2.181	0.061	-1.972	0.097	0.034	-2.383	--
B	0.294	-0.068	0.415	-0.045	0.177	-0.405	--
R^2	92	0.95	91	92	91	92	91
RMS	2.078	2.476	2.293	2.183	2.461	2.341	5.291
K	--	--	--	--	--	--	0.077
C1	--	--	--	--	--	--	0.47

Cálculo del calor isostérico de sorción (Qs)

El Cálculo del calor isostérico o también llamado entalpia de sorción se calculó por medio de la ecuación 1, se relacionaron los valores del $\ln(a_w)$ contra 1/T °K obteniéndose una línea recta para cada contenido de humedad constante (Figura 2). Se observa que, la pendiente de las líneas rectas obtenidas, van tendiendo hasta cero conforme se incrementa el CHE, lo que significa que hay una reducción en las interacciones del agua dentro del alimento. En la Figura 3 se observa que, el valor de Qs es mayor cuando los valores de CHE rondan entre 0.07 - 0.09 g agua/g sólido seco, luego disminuye debido a la rápida absorción de agua, por lo que el almidón de malanga sufre cambios durante su almacenamiento, ocurriendo que, al inicio del proceso de sorción exista una mayor disponibilidad de los sitios activos que generan el hinchamiento del almidón y una mayor interacción de energía alcanzando un máximo de 942 cal/mol°K. Posteriormente, los sitios activos al ser ocupados previamente el fenómeno de sorción continua, pero va a ocurrir en aquellos sitios que se encuentren menos disponibles a la humedad observándose una disminución de Qs inferior a 300 cal/mol°K cuando el almidón a alcanzando un CHE alrededor de 0.25 g agua/g sólido seco. Por lo anterior, los resultados obtenidos sugieren que, el calor isostérico decrece con el aumento del contenido de humedad en equilibrio.

 ISSN: 2007 8102

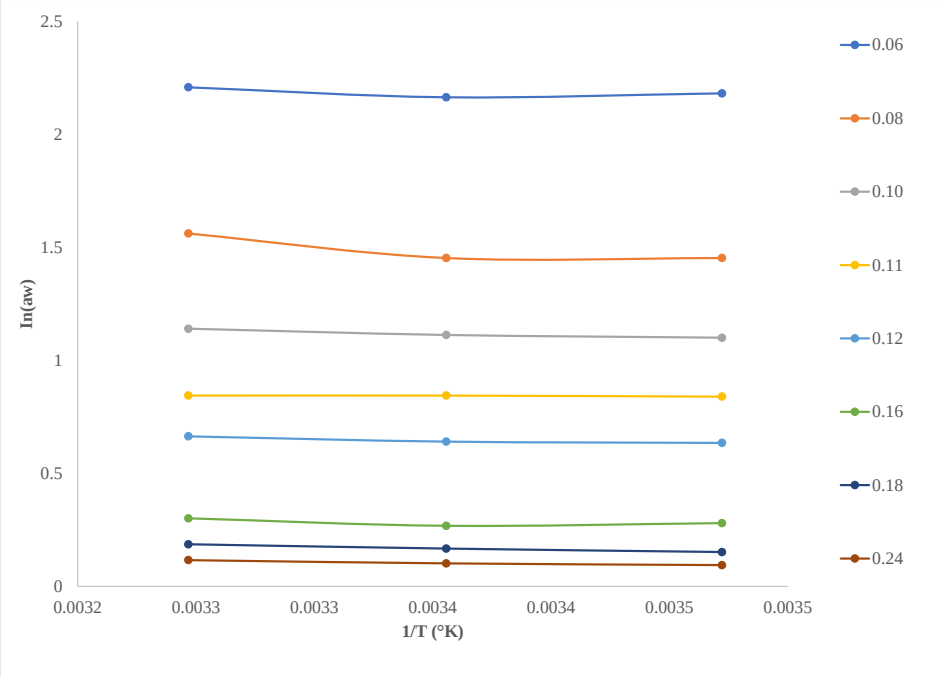


Figura 2. Isósteras para el cálculo del calor isostérico de sorción de almidón de malanga a diferentes contenidos de humedad (g agua/ g sólido seco) y temperaturas de estudio

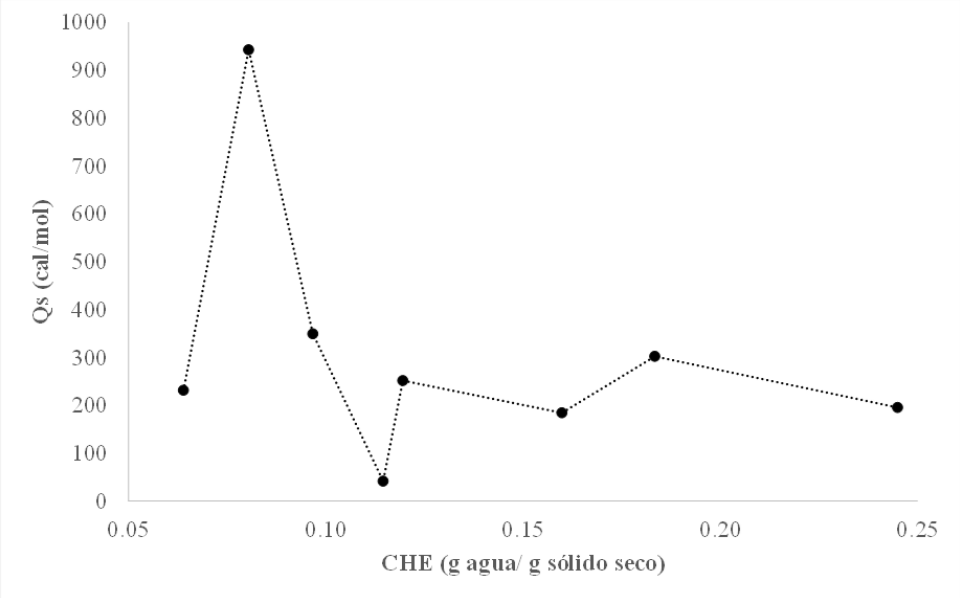


Figura 3. Comportamiento del calor isostérico de sorción de almidón de malanga en función del contenido de humedad en equilibrio (g agua/ g sólido seco)

 ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

Se propone investigar la optimización del proceso de secado para tubérculos ya que por sus características son buenos candidatos para ser introducidos al mercado en forma deshidratada.

Conclusiones

Conforme a los resultados obtenidos, la temperatura optima de almacenamiento para el almidón de malanga fue de 25°C, a esta temperatura se logró conservar las propiedades organolépticas del almidón evitando la aglomeración del polvo y el crecimiento microbiano. Los modelos que mejor describen las isotermas de sorción experimentales fueron: Smith, Bradley, Oswin, Henderson, Halsey, Kühn y G.A.B ya que obtuvieron un coeficiente de correlación (R^2) superior a 90 y un RMS menor a 10%. El calor isostérico de sorción indicó que, cuando exista una mayor adsorción de agua va a disminuir su valor hasta 300 cal/molºK y este comportamiento puede afectar las propiedades higroscópicas durante el almacenamiento de almidón de malanga

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dra. Aleida Selene Hernández Cázares responsable del Laboratorio de Ciencias de los Alimentos del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba Veracruz, por proporcionar el almidón de malanga para llevar a cabo este proyecto.

Referencias

[1] L.V. Madrigal, J.V. Hernández, M.E. Carranco, M.C. Calvo, R.G. Casas, “Caracterización física y nutricional de harina del tubérculo de “Malanga” (*Colocasia esculenta L. Schott*) de Actopan, Veracruz, México.”, *Archivos latinoamericanos de nutrición*, no. 2, pp. 1-9, 2018.

[2] O. Venegas, U. Hernández, “Utilización de harina y almidón nativo de malanga en productos cárnicos”, *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, no. 2, pp. 58-67, 2020.

[3] L.M. Soto, “Efecto de la temperatura y el pH en las propiedades de adsorción en la proteína concentrada de tarwi (Lupinus mutabillis sweet)”, Tesis profesional, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2017.

[4] V. Pía, G. Camila, V. Camila, T. Jairo,”Resistant starch: Technologocal caracteristics and physiological interests”, *Revista Chilena de Nutrición*, pp.271-278, 2018.

[5] E. Calleja, A.A. Esperón, V. Pulido, C. Palmeros, S. Quinteros, L.A. Gonzáles. “Desarrollo de un puré instantáneo a base de malanga”, UV SERVA, no. 11, pp. 146-156, 2021.

[6] Spiess, W.L y Wolf, W., “Critical Evaluation of Methods to Determine Moisture Sorption Isotherms”, En: Water Activity; Theory and Applications to Food. Ed. Por: L.B. Rockland y L.R. Beuchat. Marcel Dekker, New York, 1987.

[7] Brunauer, S.; Emmet, P.H; Teller, E. “Adsorption of gases in multimulecular layers”, J. Am. Chem. Soc. Vol.60, p.309, 1938.

[8] Castillo, M.D., Martínez E. J., González H.H.L., Pacin A. M y Resnik S. L, “Study of mathematical models applied to sorption isotherms of Argentinean black bean varieties”, Journal of Food Engineering, Vol. 60, p. 343-348, 2003.

[9] Van Der Berg, C, “Description of water activity of foods for engineering purpose by means of the G.A.B. model of sorption”, Engineering and Foods. Vol. 1, B. M. McKenna (Ed), p. 311. Elsevier Applied Science. New York, 1984.

 ISSN: 2007 8102

Nanofibras de celulosa obtenidas mediante hidrólisis ácida y ultrasonicación a partir de residuos de piña

*R. Carmona-García[1], A. Aguirre-Cruz[1], M. Valera-Zaragoza[2], L. Pérez-Picaso[2], M. A. García-Muñoz[1]**
[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Av. Dr. Víctor Bravo Ahuja S/N., Col. 5 de mayo, C.P. 68350, Tuxtepec, Oaxaca, México.
[2]Universidad del Papaloapan Campus Tuxtepec, Instituto de Ciencias Químicas, Av. Circuito Central No. 200, Col. Parque Industrial, C.P. 68301, Tuxtepec, Oaxaca, México.
**garcia_m9@hotmail.com*
***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

El aprovechamiento de recursos agroindustriales para generar nanomateriales ha cobrado gran interés, particularmente la nanocelulosa. El objetivo de este trabajo fue obtener nanofibras de celulosa (NFC) a partir de cáscara de piña mediante hidrólisis ácida asistida por ultrasonicación, previamente sometidos a pretratamientos alcalinos y blanqueado. Se evaluó la morfología y estructura mediante microscopía óptica, electrónica de barrido (FE-SEM) y espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR). Los resultados FTIR mostraron que los pretratamientos eliminaron la mayoría de los materiales no celulósicos, generando fibras menores a 20 µm de diámetro. Por otro lado, la hidrólisis ácida y ultrasonicación ayudó a realizar la despolimerización de las macromoléculas de celulosa, hasta obtener residuos mixtos de tamaños menores a 1 µm como se observa en FE-SEM, sugiriendo la obtención de nanofibras o nanocristales. Por lo tanto, la implementación de estos tratamientos son una alternativa para la obtención de nanocelulosa a partir de residuos agroindustriales.
Palabras clave: *nanocelulosa, residuos de piña, hidrólisis ácida.*

Abstract

The use of agroindustrial resources to generate nanomaterials has gained great interest, particularly nanocellulose. The objective of this work was to obtain cellulose nanofibers (CNF) from pineapple peel through acid hydrolysis assisted by ultrasonication, previously subjected to alkaline pretreatments and bleaching. The morphology and structure were evaluated by optical and scanning electron microscopy (FE-SEM) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The FTIR results showed that the pretreatments eliminated most of the non-cellulosic materials, generating fibers smaller than 20 µm in diameter. On the other hand, acid hydrolysis and ultrasonication helped to carry out the depolymerization of the cellulose macromolecules, until obtaining mixed residues of sizes less than 1 µm as observed in FE-SEM, suggesting the obtaining of nanofibers or nanocrystals. Therefore, the implementation of these treatments is an alternative to obtaining nanocellulose from agroindustrial waste.
Keywords: *nanocellulose, pineapple waste, acid hydrolysis.*

1. Introducción

Actualmente, la búsqueda de alternativas sostenibles a partir de recursos renovables y desechos agroindustriales ha ido en aumento. Además, la utilización de biomasa como materia prima para la obtención de energía y la generación de nuevos materiales se convierte en objeto de una intensa investigación académica e industrial [1]. En este contexto, la utilización de celulosa, obtenida a partir de residuos agroindustriales ha cobrado gran interés, pudiendo sustituir materiales derivados del petróleo, ya que presenta numerosas aplicaciones en la industria agrícola, farmacéutica, papel, cosméticos, pinturas, revestimientos, alimentaria, textil, así como, refuerzo en matrices compuestas [2]. La celulosa, es considerada como uno de los biopolímeros más abundantes en la naturaleza, es renovable, biodegradables y no tóxico, es el principal componente estructural que confiere resistencia y estabilidad a las paredes celulares de las plantas [3], se encuentra como una red de

microfibrillas incrustadas en una matriz no celulósica [4]. Estructuralmente está constituida de cadenas lineales de unidades monoméricas de anhidroglucosa unidas a través de enlaces glucosídicos β-(1,4) [5]. La microfibra de celulosa está constituida de una parte amorfa y cristalina distribuidas de forma aleatoria, la región amorfa se encuentra en desorden dentro de la estructura, por esta razón es de fácil rompimiento ante un ataque con ácido o enzimas y la región cristalina se encuentra muy cohesionada por enlaces de puentes de hidrógeno, por lo que su separación se torna más compleja [6]. Por otro lado, la piña (*Ananas Comosus L.)* es una de las frutas tropicales más producidas a nivel mundial, según la base de datos estadísticos corporativos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAOSTAT), para el 2020 se produjeron alrededor de 28 millones de toneladas, cuyo máximo productor fue Costa Rica. La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) reportó que México produjo ese mismo año, un millón 209 mil toneladas de este fruto ubicándose en noveno lugar a nivel mundial. La piña tiene una composición porcentual de: pulpa 33%, corazón 6%, cascara 41% y corona 20%. Durante la industrialización (productos enlatados) generan en promedio 59.4% de residuos (44.4% de cáscara y 15% de corazón) resultando un aproximado 560 mil toneladas anuales a nivel nacional [7], convirtiéndose en un problema grave de contaminación ambiental, por lo que una alternativa que puede contribuir a la disminución de esta problemática es la utilización de estos desechos lignocelulósicos como materia prima para la obtención de microfibras o nanofibras de celulosa. La cáscara de piña se compone principalmente de celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina [8], por lo que es necesario realizar varios procesos químicos para extraer microfibrillas altamente purificadas de la pared celular de este fruto, por lo general, dichos procesos se basan en sucesivas reacciones químicas, enzimáticas y/o tratamientos mecánicos [5]. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del método combinado de hidrólisis ácida-ultrasonicación sobre la morfología y estructura de las fibras de piña, para la extracción y purificación de NFC. Esto representa una alternativa más para contribuir a la disminución de los problemas ambientales generados por la acumulación de este residuo, así como, la valorización de residuos mediante la obtención de materias primas que impulsen el desarrollo tecnológico de nuevos materiales.

2. Desarrollo experimental

2.1 Materiales

Se usaron residuos (cáscara) de piña de la empresa Conservas “La Bonita” ubicada en la localidad de Benemérito Juárez Loma Bonita Oax., Mex. Se utilizaron los siguientes reactivos grado analítico: hidróxido de sodio (NaOH), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), ácido sulfúrico (H_2SO_4) y glicerol grado biológico como agente plastificante, adquiridos de la empresa Sigma-Aldrich Co.

2.2 Pretratamiento de las fibras

La fibra se aisló de la cáscara de piña según el método descrito por Faria et al., [2], el cual consiste en lavar los residuos de piña fresca para eliminar impurezas, triturar y secar a 80 °C por 12 h. Posteriormente, una vez obtenidas las fibras secas, se sometieron a un pretratamiento alcalino. Por cada 5 g de fibra se adicionaron 100 mL de una solución de NaOH al 5% a 70 °C en agitación durante 60 min, posteriormente la muestra se lava y filtra con agua destilada hasta alcanzar pH neutro. La muestra obtenida se sometió a un proceso térmico a 100 °C durante 60 min y se repite el proceso de lavado y filtrado. Posteriormente, las fibras obtenidas se blanquearon durante 120 min a 60°C, utilizando por cada 5 g de fibra 100 mL de una solución de peróxido de hidrógeno al 24% e hidróxido de sodio al 4%, en la relación 1:1 (v/v). Las fibras blanqueadas se sometieron a un proceso de hidrólisis ácida, por cada 5 g de fibra obtenida se utilizó 100 mL de una solución de H_2SO_4 al 40% a 60 °C en agitación constante durante 120 min. La reacción se terminó usando agua destilada en la relación 1:5 (v/v). El exceso de ácido sulfúrico se retirará de la suspensión resultante a través de centrifugados continuos a 5000 r.p.m. durante 10 min seguido de una neutralización con NaOH 1M, hasta alcanzar un pH neutro.

2.3 Obtención de las nanofibras de celulosa (NFC) mediante ultrasonido

La suspensión neutra de celulosa/agua destilada, fue colocada en un vaso de precipitado en una relación 1:5 (v/v) y sometida a un proceso de ultrasonicación en un equipo ultrasónico marca Hielscher modelo UP400St (400W y 24 kHz), con una sonda ultrasónica de titanio tipo bocina (modelo S24d22). Las condiciones de sonicación fueron 240 W de potencia y 33% de amplitud

durante 15 min, con intervalos de 5 min. Al finalizar el tiempo de sonicación, se obtuvo una suspensión traslucida, el cual se almacenó en refrigeración a 4°C para su posterior utilización.

2.4 Caracterización morfológica y estructural de las NFC

La morfología de la superficie de la NFC fue observada mediante un microscopio de luz polarizada marca LEICA modelo DM750P, además de un microscopio electrónico de barrido con emisión de campo marca TESCAN modelo MIRA 3LMU, para este último, las muestras fueron secadas y recubrieron de oro con un bombardeo iónico de capa fina y observadas con una aceleración de voltaje de 10 kV.

El análisis estructural se llevó a cabo en un Espectrómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) marca DYNASCAN modelo Spectrum 100, Perkin Elmer, utilizando un interferómetro de reflectancia total atenuada (ATR). Los espectros fueron obtenidos con una resolución de 4 cm^{-1} y 8 scans en un rango de 600 a 4000 cm^{-1}.

3. Resultados y discusión

3.1. Obtención de fibras

La Figura 1 muestra la cáscara de piña fresca y la fibra obtenida después de haber sido sometidas a reducción de tamaño mediante molienda, lavados continuos para eliminar impurezas y secado. Como se observa, la fibra presenta un color marrón claro, atribuidos a los diversos componentes como hemicelulosa, lignina y sustancias extractivas como lo reporta Mahardika et al., [9]. Cabe hacer mención que hasta este paso las fibras no han sido sometidos a ningún proceso químico.



Figura 1. Fotografías de la cáscara de piña antes y después de su procesamiento.

Después de la obtención de la fibra de piña, se realizaron una serie de pretratamientos químicos para llevar a cabo la obtención y purificación de la celulosa, con la finalidad de eliminar algunos componentes como: lignina, hemicelulosas, ceras, pectinas, proteínas, sales minerales solubles y cenizas que tiene la cáscara de piña [3], que permitirá llevar a cabo una hidrólisis ácida más controlada y eficiente. Es importante mencionar que para realizar el seguimiento de purificación de nanofibras de celulosa por microscopia óptica se utilizó azul de metileno para teñir las muestras, con la finalidad de generar un mejor contraste y visualización de las fibras.

En la Figura 2, se muestran los resultados después de realizar el primer pretratamiento químico con álcali diluido de NaOH, las reacciones químicas entre la solución alcalina y el material lignocelulósico involucran principalmente celulosa, hemicelulosa y lignina. Las reacciones con la lignina conducen a la disolución y degradación de estas, el pretratamiento alcalino puede romper eficientemente los enlaces éster por entrecruzamiento de xilano y lignina a través de la solvatación y saponificación como lo reportan Harmsen, [9] y Ng et al., [5], mientras, los componentes como pectinas y hemicelulosas se hidrolizaron por la acción de dichas soluciones alcalinas [4]. Mediante microscopia óptica se puede observar que cada fibra con un diámetro aproximado de 300 µm está constituida por unidades más pequeñas de microfibras, lográndose observar espacios entre ellas sugiriendo la remoción de componentes no celulósicos tales como: hemicelulosa, lignina, ceras, cenizas, etc., observándose una superficie mas expuesta dado por el tratamiento alcalino como lo reporta Pereira et al., [10]. Morfologías similares después del tratamiento alcalino fueron reportadas por Vilay et al., [11].

 ISSN: 2007 8102

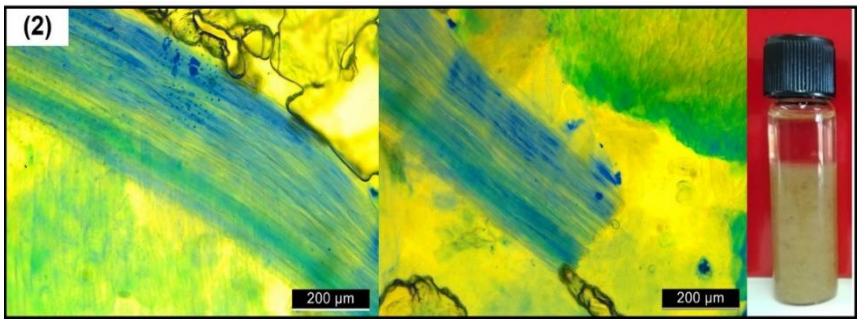


Figura 2. Fibras de celulosas obtenidas después del tratamiento alcalino.

La Figura 3 muestra los resultados después de realizar el blanqueo de las fibras con H_2O_2, durante este paso se obtiene la despigmentación y el grado de blancura deseado, además, se eliminan los extractivos restantes. Se obtiene una disminución significativamente del tamaño y diámetro de las fibras, de aproximadamente 200 y 50 µm, respectivamente. Por otro lado, se observan a detalle el efecto de los tratamientos iniciales ya que se logran obtener una ligera desfibrilación de fibras celulosa.

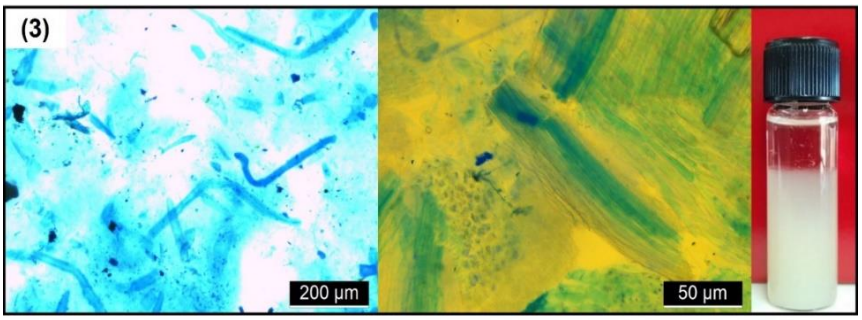


Figura 3. Fibras de celulosas obtenidas después del blanqueamiento

Los pretratamientos antes realizados permitieron realizar una hidrólisis ácida más controlada y eficiente derivada de la remoción de componentes no celulósicos, de lo contrario, la hidrólisis ácida daba como resultado una solución oscura atribuida no sólo de la degradación de celulosa, sino también, a la presencia de lignina residual como lo reporta Faria et al., [2]. Durante la hidrólisis ácida, el H_2SO_4 se usa para hidrolizar la región amorfa de la celulosa, en estas regiones, la celulosa puede desintegrarse por escisión hidrolítica del enlace glucosídico, de lo contrario, las fracciones de celulosa altamente ordenadas permanecerán sin romperse ya que son menos susceptibles a los ataques ácidos. Dicho efecto se observa en la Figura 4, mostrando fracciones mixtas de microfibras, además, una cantidad considerable de remanentes sugiriendo la formación de nanofibras y/o nanocristales durante este proceso. La concentración de ácido sulfúrico es uno de los factores más importantes que afectan la extracción de nanofibras de celulosa durante la hidrólisis ácida. Una concentración demasiado alta de ácido sulfúrico puede conducir a la degradación de la celulosa a azúcares, por el contrario, una concentración demasiado baja de ácido sulfúrico provocaría la dispersión de las fibras y la formación de agregado [12,13].
Por último, en la Figura 5 se observa la suspensión de nanopartículas de celulosa estable y homogénea dado por el proceso de ultrasonicación. Dichos resultados se analizan tanto por microscopia óptica y electrónica, se puede observar una cantidad considerable de fracciones más pequeñas de celulosa, dados por el proceso de ultrasonicación. Los efectos químicos de la ultrasonicación se derivan principalmente de los puntos calientes que se forman durante la cavitación acústica, es decir, la formación, el crecimiento y el colapso de burbujas en un líquido [14]. Después del proceso de ultrasonicación se obtienen una dispersión de tamaño uniforme de las nanofibras y/o nanocristales de celulosa, observándose detalladamente los restos de

 ISSN: 2007 8102

fragmentos obtenidas por la hidrólisis ácida asistida por la ultrasonicación. Los efectos de la ultrasonicación sobre la degradación de enlaces de los polisacáridos han sido reportados por Tischer et al., [15]

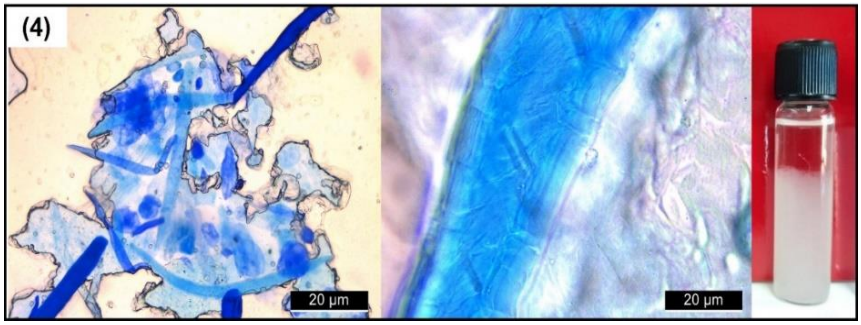


Figura 4. Fibras de celulosas obtenidas después de la hidrólisis ácida

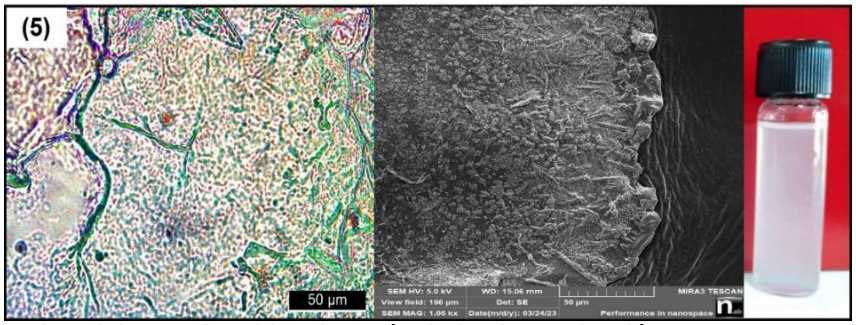


Figura 5. Fibras de celulosas obtenidas después de la ultrasonicación.

Finalmente, cabe hacer mención que el proceso de obtención de la celulosa mediante tratamientos químicos, si bien, es uno de los más utilizados a nivel industrial por los rendimientos generados (mayores al 30%) [6], el uso de ácido concentrado fuerte como el ácido sulfúrico tiene grandes inconvenientes ya que es extremadamente corrosivo, oxidante y peligroso, tanto para el personal que lo manipula como para el medio ambiente, debido al gran volumen de residuos ácidos que genera [16]. Para este trabajo se obtuvo un rendimiento del 22% de celulosa blanqueada, el cual es la etapa final de purificación de celulosa ya que después de esta etapa la mayoría de los residuos no celulósicos se han eliminado. Dicho rendimiento está en función de la naturaleza de la materia prima, para el caso de los residuos de piña tienen alto contenido de azucares solubles, pectinas, ceras, etc., como se mencionó anteriormente, sin embargo, puede considerarse como una alternativa viable para la obtención de nanocelulosa.

3.2.2 Análisis estructural

Los resultados del análisis FTIR-ATR de las muestras obtenidas después de cada tratamiento se muestran en la Figura 6. Como se observa, todos los espectros muestran una banda amplia y definida entre 3250 y 3350 cm^{-1} y otra banda pequeña a 2920 cm^{-1}, atribuidas a vibraciones de estiramiento de los grupos O-H y C-H respectivamente [17]. Para la fibra no tratada (ST) se observa una banda a 1740 cm^{-1} atribuidas a los grupos acetil y éster urónico de la hemicelulosa o enlaces éster del grupo carboxílico de los ácidos feluricos o p-cumáricos de lignina y/o hemicelulosas [18]. Esta banda disminuye y desaparece a través de la hidrólisis alcalina (TA), blanqueamiento (BL) hasta la hidrólisis ácida (HA), indicativo de la remoción total de hemicelulosa y lignina de las muestras obtenidas. De igual forma, se observa una banda pequeña en la muestra no tratada a 1514 y 1248 cm^{-1}, atribuida a las vibraciones de estiramiento -C=C- de los anillos aromáticos de lignina [19] y desaparece con los tratamientos posteriores dado que el proceso de hidrólisis ácida destruye gravemente los enlaces celulosa-lignina. En las muestras tratadas con TA y BL, se observan dos bandas a 1161 y 1105 cm^{-1}, siendo esta última más intensa en la HA, dichas

 ISSN: 2007 8102

señales corresponden a las vibraciones moleculares del C3 de la celulosa y a las vibraciones C-O-C de los enlaces glucosídicos respectivamente [20]. Por otro lado, la formación de bandas a 896, 1052, 1105, 1160, 1315 y 1430 cm^{-1} después de la hidrólisis ácida (HA) y la ultrasonicación (US) indica el incremento de la cristalinidad de las muestras tratadas [21], sugiriendo la formación de nanofibras y/o nanocristales después de estos procesos. Finalmente, el espectro de ultrasonicación muestra una banda amplia a 1640 cm^{-1} indicativo del pico de absorción de agua del grupo OH.

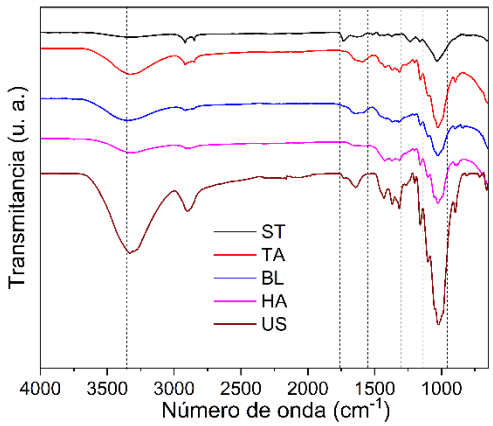


Figura 7. Espectro FTIR-ATR de los materiales obtenidos después de cada tratamiento. Sin tratamiento (ST), hidrólisis alcalina (TA), blanqueamiento (BL), hidrólisis ácida (HA) y ultrasonicación (US).

Conclusiones

En el siguiente trabajo de investigación se obtuvo la generación de nanofibras y/o nanocristales de celulosas a partir de desechos agroindustriales a través de la implementación de pretratamiento químicos asistidos con ultrasonicación. Dichos pretratamientos permitieron la purificación de las materias primas hasta la obtención celulosa, así como, una dispersión y homogenización de los materiales (nanofibras y/o nanocristales) obtenidos, como se observó mediante FE-SEM. El proceso de purificación se pudo comprobar a través del seguimiento mediante microscopia óptica y FTIR después de cada etapa.

Trabajo futuro

Se evaluarán diferentes condiciones de hidrólisis ácida para mejorar los resultados obtenidos.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para realizar la estancia sabática y lograr estos resultados parciales.

Bibliografía

[1] R. M. dos Santos, W. P. Flauzino Neto, H. A. Silvério, D. F. Martins, N. O. Dantas, and D. Pasquini, “Cellulose nanocrystals from pineapple leaf, a new approach for the reuse of this agro-waste,” *Ind Crops Prod*, vol. 50, pp. 707–714, Oct. 2013, doi: 10.1016/j.indcrop.2013.08.049.

[2] L. U. S. Faria, B. J. S. Pacheco, G. C. Oliveira, and J. L. Silva, “Production of cellulose nanocrystals from pineapple crown fibers through alkaline pretreatment and acid hydrolysis under different conditions,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, no. 6, pp. 12346–12353, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.08.093.

[3] A. Dufresne, J.-Y. Cavaillé, and M. R. Vignon, “Mechanical Behavior of Sheets Prepared from Sugar Beet Cellulose Microfibrils,” John Wiley & Sons, Inc, 1997.

[4] R. Zuluaga, J. L. Putaux, J. Cruz, J. Vélez, I. Mondragon, and P. Gañán, "Cellulose microfibrils from banana rachis: Effect of alkaline treatments on structural and morphological features," *Carbohydr Polym*, vol. 76, no. 1, pp. 51–59, Mar. 2009, doi: 10.1016/j.carbpol.2008.09.024.

[5] L. Y. Ng, T. J. Wong, C. Y. Ng, and C. K. M. Amelia, "A review on cellulose nanocrystals production and characterization methods from Elaeis guineensis empty fruit bunches," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 14, no. 9. Elsevier B.V., Sep. 01, 2021. doi: 10.1016/j.arabjc.2021.103339.

[6] R. H. Pérez, A. Álvarez Castillo, A. Olarte Paredes, and A. M. Salgado Delgado, "Obtención de nanocelulosa a partir de residuos postcosecha," *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, vol. 16, no. 30, pp. 1e–47e, Aug. 2021, doi: 10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69662.

[7] Morales-Guzmán Y., "Valorización del residuo agroindustrial de la piña (Ananas comosus) para la obtención de productos biotecnológicos," *Tesis. Universidad Autónoma del Estado de Morelos*, 2021.

[8] X. Hu, K. Hu, L. Zeng, M. Zhao, and H. Huang, "Hydrogels prepared from pineapple peel cellulose using ionic liquid and their characterization and primary sodium salicylate release study," *Carbohydr Polym*, vol. 82, no. 1, pp. 62–68, Aug. 2010, doi: 10.1016/j.carbpol.2010.04.023.

[9] P. F. H. (Paulien) Harmsen, *Literature review of physical and chemical pretreatment processes for lignocellulosic biomass*. Wageningen UR, Food & Biobased Research, 2010.

[10] P. H. F. Pereira, H. L. Ornaghi, V. Arantes, and M. O. H. Cioffi, "Effect of chemical treatment of pineapple crown fiber in the production, chemical composition, crystalline structure, thermal stability and thermal degradation kinetic properties of cellulosic materials," *Carbohydr Res*, vol. 499, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.carres.2020.108227.

[11] V. Vilay, M. Mariatti, R. Mat Taib, and M. Todo, "Effect of fiber surface treatment and fiber loading on the properties of bagasse fiber-reinforced unsaturated polyester composites," *Compos Sci Technol*, vol. 68, no. 3–4, pp. 631–638, Mar. 2008, doi: 10.1016/j.compscitech.2007.10.005.

[12] Y. Tang, S. Yang, N. Zhang, and J. Zhang, "Preparation and characterization of nanocrystalline cellulose via low-intensity ultrasonic-assisted sulfuric acid hydrolysis," *Cellulose*, vol. 21, no. 1, pp. 335–346, Feb. 2014, doi: 10.1007/s10570-013-0158-2.

[13] J. S. Fan and Y. H. Li, "Maximizing the yield of nanocrystalline cellulose from cotton pulp fiber," *Carbohydr Polym*, vol. 88, no. 4, pp. 1184–1188, May 2012, doi: 10.1016/j.carbpol.2012.01.081.

[14] W. Li, J. Yue, and S. Liu, "Preparation of nanocrystalline cellulose via ultrasound and its reinforcement capability for poly(vinyl alcohol) composites," *Ultrason Sonochem*, vol. 19, no. 3, pp. 479–485, 2012, doi: 10.1016/j.ultsonch.2011.11.007.

[15] P. C. S. F. Tischer, M. R. Sierakowski, H. Westfahl, and C. A. Tischer, "Nanostructural reorganization of bacterial cellulose by ultrasonic treatment," *Biomacromolecules*, vol. 11, no. 5, pp. 1217–1224, May 2010, doi: 10.1021/bm901383a.

[16] L. Brinchi, F. Cotana, E. Fortunati, and J. M. Kenny, "Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: Technology and applications," *Carbohydrate Polymers*, vol. 94, no. 1. pp. 154–169, Apr. 15, 2013. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.01.033.

ISSN: 2007 8102

[17] A. Mandal and D. Chakrabarty, “Isolation of nanocellulose from waste sugarcane bagasse (SCB) and its characterization,” *Carbohydr Polym*, vol. 86, no. 3, pp. 1291–1299, Aug. 2011, doi: 10.1016/j.carbpol.2011.06.030.

[18] R. M. dos Santos, W. P. Flauzino Neto, H. A. Silvério, D. F. Martins, N. O. Dantas, and D. Pasquini, “Cellulose nanocrystals from pineapple leaf, a new approach for the reuse of this agro-waste,” *Ind Crops Prod*, vol. 50, pp. 707–714, Oct. 2013, doi: 10.1016/j.indcrop.2013.08.049.

[19] W. Chen, H. Yu, Y. Liu, Y. Hai, M. Zhang, and P. Chen, “Isolation and characterization of cellulose nanofibers from four plant cellulose fibers using a chemical-ultrasonic process,” *Cellulose*, vol. 18, no. 2, pp. 433–442, Apr. 2011, doi: 10.1007/s10570-011-9497-z.

[20] J. P. de Oliveira *et al.*, “Cellulose fibers extracted from rice and oat husks and their application in hydrogel,” *Food Chem*, vol. 221, pp. 153–160, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.10.048.

[21] S. Rashid and H. Dutta, “Characterization of nanocellulose extracted from short, medium and long grain rice husks,” *Ind Crops Prod*, vol. 154, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112627.

 ISSN: 2007 8102

Adsorción de colorante naranja de metilo con un MOF de zinc derivado del ligando orgánico ácido bencentetracarboxílico.

Danna Paola Vázquez Poxtan[1], Raúl Colorado Peralta[1], Rodolfo Peña Rodríguez[1], José María Rivera Villanueva[1], *Lidia Elena Chiñas Rojas[1]*.*

[1]Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana Prolongación Oriente 6, No. 1009, Colonia Rafael Alvarado, CP 94340 Orizaba, Veracruz, México.

***Área de participación**: Ingeniería química*

Resumen

En la presente investigación se evaluó la remoción del azo colorante naranja de metilo (NM) mediante la técnica de adsorción y con la utilización de un MOF a base de zinc (MOF-DP2) como adsorbente, el cual se sintetizó a partir de ácido bencentetracarboxílico (BTCA) y nitrato de zinc hexahidratado. El MOF-DP2 se caracterizó mediante diferentes técnicas como son microscopía electrónica SEM, DRX de polvos cristalinos, espectroscopía de infra rojo, análisis elemental EDS y análisis termo gravimétrico TGA para conocer la estabilidad de los materiales. Las pruebas de remoción de NM se llevaron a cabo en soluciones de distintas concentraciones (50 a 800 ppm) y a diferentes tiempos de contacto (10 a 60 min). El proceso de adsorción del colorante con el MOF-DP2 se describe mejor mediante el modelo de Freundlich, que sugiere una adsorción de moléculas de NM en la superficie del MOF-DP2 en forma de multicapa; la capacidad de adsorción máxima teórica ($Q_{máx}$) se calculó con el isoterma de Freundlich, dando como resultado 453 ppm por cada gramo de material.

***Palabras clave**: Adsorción, colorante azoico, naranja de metilo, MOF.*

Abstract

In the present research, the removal of the methyl orange azo dye was evaluated by adsorption technique and with the use of a zinc-based MOF (MOF-DP2) as adsorbent, which was synthesized from benzenetetracarboxylic acid (BTCA) and zinc nitrate hexahydrate. The MOF-DP2 was characterized by different techniques such as SEM electron microscopy, crystalline powder XRD, infrared spectroscopy IR, elemental analysis EDS and thermogravimetric analysis TGA to determine the stability of the materials. Methyl orange removal test were carried out in solutions of different concentrations (from 50 to 800 ppm) and at different contact times (from 10 to 60 min). The adsorption process of the dye with the MOF-DP2 is well described by means of the Freundlich model that suggests an adsorption of NM molecules on the surface of the MOF-DP2 in the form of multilayer; the theorical maximum adsorption capacity (Q_{max}) was calculated with Freundlich isotherm, resulting in 500 ppm.

***Key words**: Adsorption, azoic dye, methyl orange, MOF.*

Introducción

En la actualidad, se fabrican más de 8 mil tipos de colorantes químicamente distintos, aproximadamente 450 mil toneladas y los consumidores más grandes son las industrias textiles (en un porcentaje aproximado del 50%), del papel, de colorantes e intermediarios de colorantes y las farmacéuticas. Todas estas industrias se caracterizan por el uso intensivo de agua y liberación de enormes cantidades de colorantes al medio ambiente; las industrias textiles requieren aproximadamente 120 m^3 de agua por tonelada de fibra y de 1,100-3,300 unidades hacen de colorante [1] [5] [9]. Es tan grande la problemática ambiental y de salud pública, que el control de la contaminación del agua es una de las principales áreas de interés científico. La eliminación de color en aguas residuales ha sido de gran impulso en la investigación científica, pues la mayoría de estos compuestos son altamente tóxicos, potencialmente carcinógenos y mutagénicos, y a pesar de ser sólo una pequeña fracción de la carga orgánica en estas aguas, pero su color los vuelve inaceptables estéticamente [5] [9]. Llevar a cabo la eliminación de estos compuestos ha sido un gran desafío en las últimas décadas pues, por ejemplo, los colorantes textiles de uso industrial son diseñados para ser altamente resistentes al lavado, a los agentes químicos y a factores ambientales

 ISSN: 2007 8102

como el agua, la acción de la luz del sol y ataque microbiano. Actualmente, no existe un tratamiento único y rentable económicamente que lleve a cabo la decoloración de estos compuestos de manera efectiva, pero se han encontrado distintas alternativas, como el tratamiento biológico con el uso de microorganismos, tratamientos físicos con residuos agroindustriales, técnicas de oxidación química o tratamientos combinados [1] [2]. El naranja de metilo NM es un azocolorante riesgoso en medio acuoso, pues debido a su estructura química, es muy soluble en agua, además de ser muy estable y altamente resistente en reacciones llevadas a cabo con agentes químicos [5]. Es un compuesto químico orgánico cancerígeno que al ser ingerido es metabolizado a aminas aromáticas por microorganismos intestinales y al llegar al hígado, las enzimas presentes pueden catalizar la ruptura del enlace azo para la producción de estas aminas aromáticas que desarrollan cáncer intestinal. Hasta la actualidad, no se ha cuantificado la toxicidad del NM en los sistemas vivos, pero se sabe que una alta cantidad de este compuesto puede ser perjudicial, por lo que se ha vuelto una necesidad llevar a cabo su degradación en aguas residuales, por el bien de la vida acuática y del mismo ser humano [6]. En los últimos años, dentro de los distintos compuestos químicos empleados en esta problemática ambiental se encuentran las estructuras metal-orgánicas (MOF), las cuales han atraído una considerable atención en la remoción de los colorantes azoicos con la implementación de ligandos y iones metálicos, pues poseen algunas propiedades como porosidad permanente, topología ajustable y área superficial muy alta que les proporcionan la capacidad de ser aplicados en procesos como la catálisis y la adsorción, por lo que suelen ser efectivos en la eliminación de los colorantes en aguas residuales [7]. En esta investigación se llevó a cabo la síntesis de un MOF a base de zinc, la caracterización completa del material cristalino sintetizado y, además, se realizó una evaluación de su capacidad de adsorción con respecto al tiempo de contacto, y mediante la isoterma de Freundlich se describió el proceso de adsorción. Así mismo, se realizó DRX de polvos cristalinos, análisis IR y TGA antes y después de las pruebas de adsorción de NM para comprobar la presencia del colorante y determinar la estabilidad del material adsorbente.

Metodología

Materiales

En el proceso de síntesis del MOF, se utilizó nitrato de zinc hexahidratado como sal metálica, cuya fórmula molecular es $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ y su peso molecular es de 297.49 g/mol. Este reactivo fue adquirido de Golden Bell Reactivos. Por otro lado, los demás reactivos utilizados se obtuvieron de Sigma-Aldrich. Como ligante orgánico se empleó el ácido 1,2,4,5-bencenotetracarboxílico al 96%, que tiene una fórmula molecular de $C_{10}H_6O_8$ y un peso molecular de 254.15 g/mol. Además, se utilizó el disolvente DMF al 99.8%, cuya fórmula empírica es C_3H_7NO y su peso molecular es de 73.09 g/mol. En el proceso de síntesis del MOF, también se empleó agua desionizada, que se obtuvo en el laboratorio mediante el equipo Direct-Q 3UV. Para la elaboración de la curva de calibración, se prepararon manualmente soluciones estándar de NM con concentraciones de 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 ppm. Estas soluciones arrojaron absorbancias en el rango de 0.191 a 1.315, y se obtuvo un coeficiente de correlación lineal de 0.998.

Equipos

Las pruebas de adsorción del colorante NM se realizaron en parrillas de agitación magnética marca Ceramag Midi Ika Works USA con velocidad máxima de 1200 rpm. Para la sedimentación del material después de su adsorción, se utilizó una centrifuga Ample Scientific Champion S-50D con velocidades de 300-5000 rpm. La lectura de absorbancia de las soluciones de NM y para la curva de calibración se realizó en un espectrofotómetro UV-Vis Cary 4000 (Varian) con rango de 175-900 nm. Para la difracción de rayos X de polvos, se utilizó un difractómetro Bruker D8 Advance con un tiempo de paso 0.5 segundos, tamaño de paso 0.02 grados, 40kv 30 ma., tubo Cu Kalfa1, ventana del detector de 0.11-0.25 ev y 0.18-0.25 ev. El análisis termogravimétrico (TGA), se realizó en un sistema modular de la serie Discovery de TA, Instruments (Discovery, EE. UU.). Las curvas de TGA se obtuvieron con una rampa de calentamiento de 10°C/min iniciando en 30°C hasta 500°C, bajo un flujo de nitrógeno de 25 mL/min. Los espectros de infrarrojo se registraron en un espectrómetro FT-IR Thermo Scientific™ Nicolet™ iS™5 utilizando la técnica ATR (Attenuated Total Reflection) que va de 4000 a 600 cm^{-1}, con 16 números de barridos (scan) y con 4 resolución.

Síntesis de MOF

La síntesis se llevó a cabo mediante el uso de la técnica de evaporación lenta. Se utilizó como ligante orgánico el ácido 1,2,4,5-bencenotetracarboxílico y como sal metálica se empleó el nitrato de zinc hexahidratado. Se utilizó

 ISSN: 2007 8102

como disolventes una mezcla de DMF y H_2O desionizada. Se pesó 0.1g de ácido 1,2,4,5-bencenotetracarboxílico y 0.232 g de nitrato de zinc [$Zn(NO_3)_2$], por separado, para tener una relación de la reacción 1:2. Posteriormente, se midió 7.5 ml de H2O desionizada y 7.5 ml de DMF en un matraz Erlenmeyer de 25 ml. Se adicionó el ácido y el nitrato previamente pesado al matraz Erlenmeyer con la solución de DMF/H_2O. Se mezcló el matraz manualmente por 5 segundos y se tapó con papel aluminio horadado. Seguido a esto, se colocó el matraz en una parrilla de calentamiento a una temperatura de 50°C durante 24 h y a 64°C por otras 24 h a evaporación lenta. En la figura 1 se muestra un esquema de la reacción.

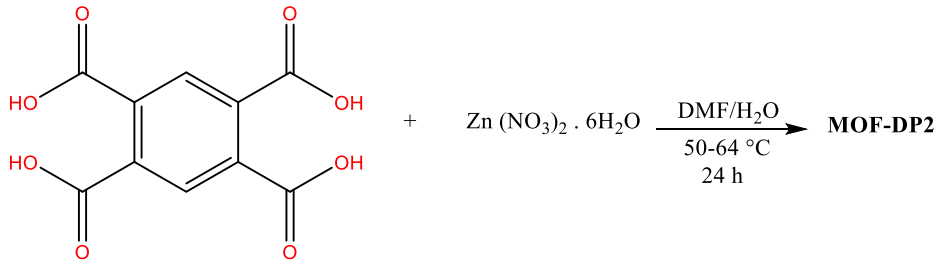


Figura 1. Esquema de la reacción de síntesis del MOF-DP2

Pruebas de remoción de colorante

Se prepararon soluciones con concentraciones que variaron desde 50 hasta 600 ppm para llevar a cabo la determinación de la cinética de la reacción. Estas pruebas se realizaron en tandas utilizando matraces Erlenmeyer de 25 ml, en los cuales se añadieron 0.01 L de la solución y 0.01g del material cristalino activado. La solución junto con el material se agitó a una velocidad constante de 120 rpm durante intervalos de 10 minutos, que oscilaron entre 10 y 60 minutos para posteriormente determinar la isoterma de la reacción.

Después de cada período de agitación, se trasvasaron las soluciones a tubos cónicos de 15 ml y se sometieron a centrifugación a 3500 rpm durante 5 minutos. Una vez finalizada la centrifugación, se procedió a medir la absorbancia del sobrenadante a una longitud de onda de 466 correspondiente al NM.

Para calcular la concentración del sobrenadante, se emplearon los valores de absorbancia obtenidos de la curva de calibración. Esto se llevó a cabo mediante una interpolación lineal utilizando la ecuación 1, en la cual la concentración, expresada en mg/L, corresponde a las coordenadas del eje X, mientras que los valores de absorbancia corresponden a las coordenadas del eje Y.

$$X2 = \frac{(Y3-Y1)(X3-X1)}{(X3-X1)} + X1 \qquad (1)$$

Se calcularon la cantidad de NM adsorbido en un período dado y la eficiencia de remoción utilizando las siguientes ecuaciones:

Cantidad de adsorbato adsorbido en función del tiempo:

$$Qt = \frac{(Co - Ct)V}{m} \qquad (2)$$

En estas ecuaciones, C_o y C_t representan la concentración inicial y la concentración en función del tiempo, respectivamente, expresadas en mg/L. *Qt* es la capacidad de adsorción en función del tiempo, definida en mg/g. 'm' representa la masa del adsorbente utilizado, expresada en mg, y 'V' corresponde al volumen de la solución utilizada, expresado en litros.

Eficiencia de remoción en porcentaje:

$$Eficiencia\ \% = \frac{(Co - Ct)}{Co} X\ 100 \qquad (3)$$

 ISSN: 2007 8102

En cuanto a la isoterma de adsorción utilizada, se aplicó la isoterma de Freundlich, cuyas ecuaciones modelo (4) y linealizada (5) se expresan de la siguiente manera:

Modelo de la isoterma de Freundlich:

$$Q_e = K_f * C_e^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

Linealización de la isoterma de Freundlich:

$$\log(Q_e) = logK_f + \frac{1}{n} logC_e \quad (5)$$

En estas ecuaciones, *Qe* representa el equilibrio alcanzado del adsorbato en el adsorbente en ppm, *Ce* es la adsorción en el equilibrio del adsorbato en la solución en ppm, K_f es la capacidad de adsorción en unidades de (*mg*/*g*)·(*L*/*mg*), y *n* representa la intensidad de adsorción.

Resultados y discusión

Obtención del MOF-DP2

Después de la reacción de síntesis por evaporación lenta del ligante ácido bencenotetracarboxílico con $Zn(NO_3)_2$ se obtuvo un sólido incoloro altamente cristalino de forma irregular (figura 2), adecuados para DRX de monocristal, con un rendimiento de la reacción de 48.5%.

El MOF-DP2 presentó insolubilidad en H_2O, DMF, EtOH, MeOH, y una estabilidad térmica mayor a 300°C.

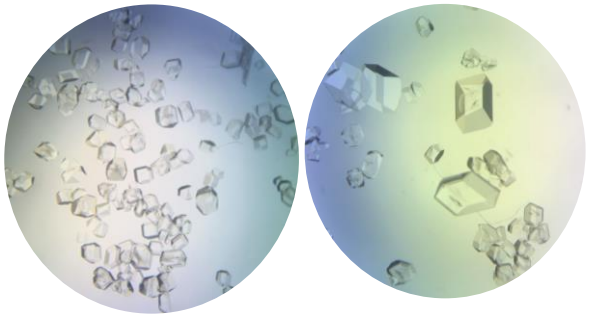
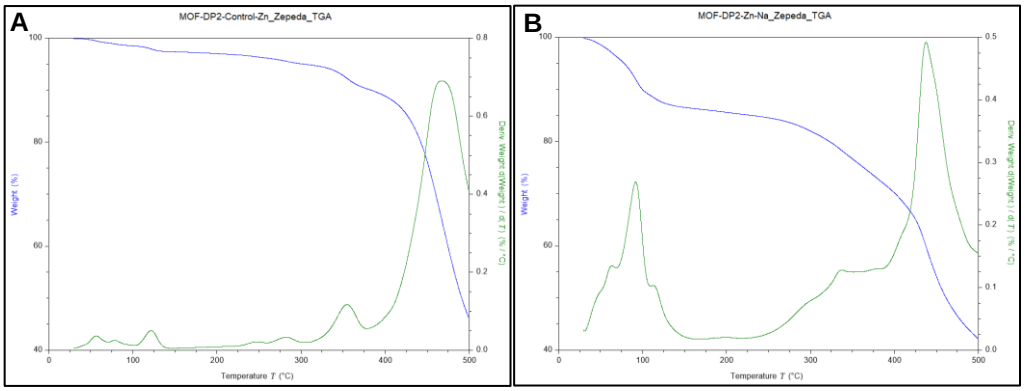


Figura 2. MOF-DP2 visto desde un estereoscopio con aumento de 30x

Análisis termogravimétrico (TGA)

Se realizó el análisis termogravimétrico (TGA) para medir el porcentaje de pérdida de peso por descomposición, la deshidratación o pérdida del disolvente del MOF cuando es sometido a temperatura. En la gráfica 1 (a) se observa la gráfica del TGA del MOF previo a la remoción del colorante en el que se observa una pérdida considerable de masa por arriba de los 355 y 400°C, resultados son muy similares a los reportados por Zhang *et al*. en 2019 [10], por otro lado, el espectro de TGA (b) muestra que después de la adsorción de NM la primera pérdida considerable de masa es en 91°C debido al cambio de la estructura del adsorbente posterior a la adsorción.

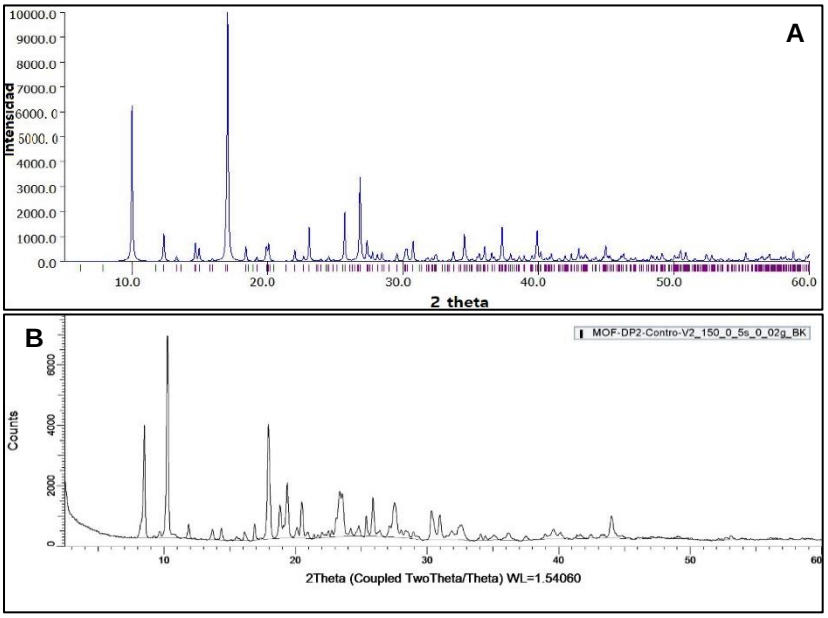
 ISSN: 2007 8102



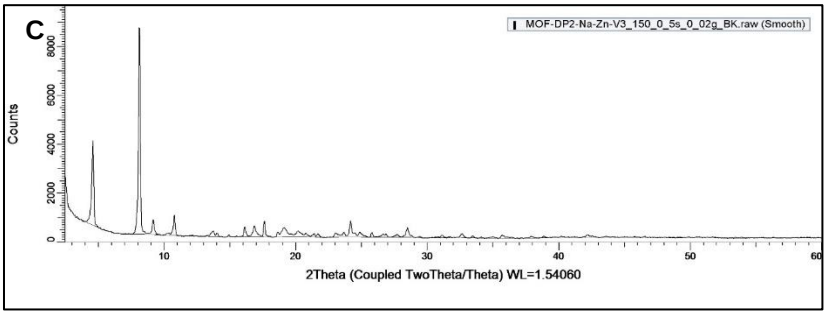
Gráfica 1. (a) Análisis TGA del MOF previo a la remoción de NM, (b) Análisis TGA posterior a la remoción de NM.

DRX de polvos cristalinos

Se realizó difracción de rayos X de los polvos cristalinos del MOF. En la gráfica 2 (a) se observa el difractograma del polvo, el cual fue simulado en el software Mercury con el archivo CIF del material reportado por Hayes *et al*. en 2020 [4] para comparar los resultados obtenidos. Por otro lado, la gráfica 2 (b) se presenta el difractograma obtenido antes de la adsorción del colorante, en donde las señales más intensas observadas en función del ángulo de difracción se encuentran cerca de 11 y 18° en 7000 y 4000 respectivamente; dichas señales también se presentan en el difractograma simulado, por lo cual, se infiere que se llevó a cabo correctamente la síntesis del MOF reportado anteriormente por Hayes *et al*. en 2020 [4]. En la gráfica 2 (c) se muestra el difractograma correspondiente al MOF-DP2 después de la adsorción de NM. En dicho difractograma se observa la pérdida de algunas señales y su intensidad, y la permanencia únicamente de la señal en 8° que también se presenta en el difractograma antes de la adsorción, pero con una intensidad mayor. Estos resultados nos indican que la estructura superficial del material ha sido modificada debido a las interacciones de quimisorción entre el azo-compuesto y el MOF, es decir, que el MOF ha perdido cristalinidad.



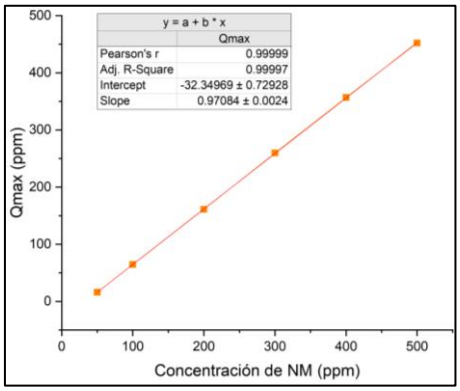
 ISSN: 2007 8102



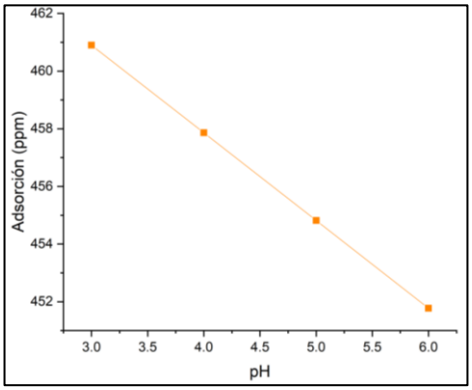
Gráfica 2. (a) DRX de polvos cristalinos del MOF-DP2 previo a la adsorción de NM, (b) DRX de polvos del material posterior a la adsorción del colorante.

Pruebas de remoción de NM

Se evaluó la capacidad máxima de adsorción de NM con el MOF-DP2 con 9 diferentes concentraciones a 60 minutos; los resultados obtenidos arrojaron que Q_{max} para el MOF-DP2 es a 453.33 ppm (gráfica 3), un valor muy similar al del MOF-235 reportado por Haque *et al*. en 2011 [3]. Se logra apreciar que el resultado de R^2 fue de 0.99, lo que indica que el modelo se ajustó a los datos de la variable dependiente. Por otro lado, se realizaron pruebas de remoción a pH de 3 a 6 obteniéndose una mejor adsorción a un pH de 3 (gráfica 4), es decir, un pH más ácido, por lo que se infiere que la superficie del MOF-DP2 se cargó positivamente, lo que permite que la molécula de NM con carga negativa se adhiera con mayor facilidad a los sitios activos del MOF.



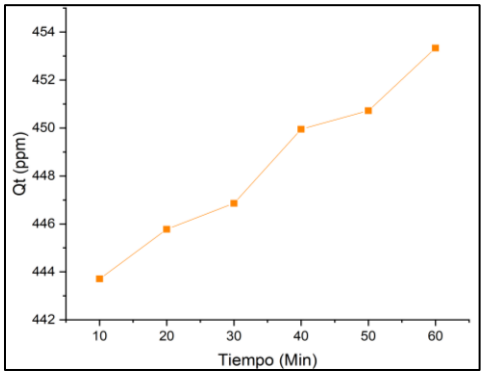
Gráfica 3. Capacidad máxima de adsorción del MOF-DP2



Gráfica 4. Adsorción a distinto pH

Las pruebas para determinar el efecto del tiempo de contacto en la remoción del colorante se hicieron a 500 ppm en tiempos de 10 a 60 minutos. En la gráfica 5, se observa que dentro de los primeros 10 minutos se adsorben 443 ppm de un total de 500 ppm; a los 60 minutos se adsorben 453 ppm, es decir, hay una diferencia de 10 ppm. En los primeros 10 minutos, el MOF adsorbe casi su Q_{max}, más rápido que el MOF basado en cadmio reportado por Tella *et al*. en 2017 [8].

 ISSN: 2007 8102

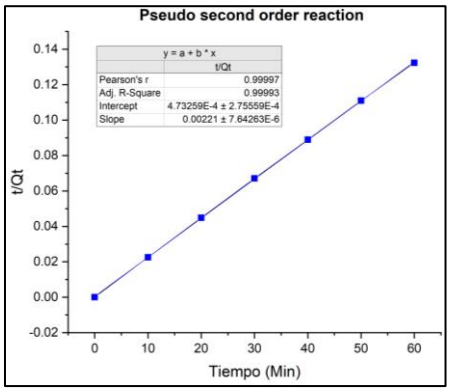


Gráfica 5. Adsorción a distintos tiempos de contacto

Determinación de la velocidad e isoterma de reacción

Se determinó la velocidad de la reacción por medio del modelo cinético de pseudo segundo orden (gráfica 6). De acuerdo con el resultado obtenido, se observa que la proporción de adsorción aumenta con respecto al tiempo. Se obtuvo un coeficiente correlación lineal R^2 de 0.99, como el MOF basado en cadmio de Tella *et al*., en 2017 [8] y un valor de K_2 de 0.0103, por lo que se determina una buena correlación entre las variables y se adapta correctamente al modelo cinético.

Al ser una reacción de pseudo segundo orden, la velocidad de la reacción depende de las concentraciones del MOF-DP2 y de NM, así como de los sitios activos presentes en cada uno, es decir, la etapa determinante es la reacción de adsorción y no la transferencia de masa.

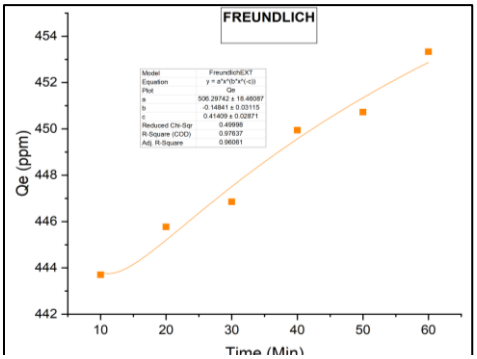


Gráfica 6. Reacción de pseudo segundo orden

La adsorción se ajustó al isoterma de Freundlich que permite describir el comportamiento de adsorción de solutos en superficies sólidas y es representado en un diagrama, como la gráfica 7, que se realizó con los datos obtenidos en las pruebas de remoción por tiempo de contacto. En el modelo se puede observar que la cantidad de adsorbato (NM) adsorbido aumenta ligeramente y de manera no lineal con el aumento de la concentración del adsorbato.

El valor de R^2 fue de 0.97, mayor al del MOF basado en cadmio [8], y un K_F obtenido por medio de la ecuación es de 5.54613×10^{-08}, indicando que la adsorción se da con una intensidad característica de un proceso de quimisorción, y que dicho modelo es en multicapa debido a que en la superficie del MOF es heterogénea y existen distintos sitios activos del MOF-DP2.

 ISSN: 2007 8102



Gráfica 7. Isoterma de Freundlich

Trabajo a futuro

Para mejorar el rendimiento y la eficacia de la adsorción, se propone llevar a cabo la síntesis de este material utilizando métodos ultrasónicos para obtener nanopartículas. Esto permitirá reducir el tamaño de partícula, lo que a su vez mejorará la capacidad de adsorción tanto de contaminantes azoicos como de otras moléculas relevantes, incluyendo fármacos. Los MOFs están ganando importancia en el campo del acarreo y liberación prolongada de fármacos, por lo que este material también será probado en dicha área, con el objetivo de explorar sus posibles aplicaciones terapéuticas.

Conclusiones

Se logró sintetizar exitosamente un compuesto metal-orgánico (MOF-DP2) mediante el método de evaporación lenta utilizando ácido 1,2,4,5-bencenotetracarboxílico y nitrato de zinc como precursores. Se realizó una caracterización parcial del MOF-DP2 mediante difracción de rayos X de polvos (XDR) para obtener su patrón de difracción y espectroscopía de infrarrojo (IR) para identificar algunos grupos funcionales presentes en el material. Se comprobó la capacidad de adsorción del MOF-DP2 para el colorante NM en soluciones de diferentes concentraciones en ppm. Se determinó la máxima capacidad de adsorción del MOF-DP2, obteniendo una Q_{max} de 453.33 ppm, lo que indica su eficiencia en la remoción del colorante. La velocidad de reacción entre el MOF-DP2 y el colorante NM fue evaluada y se encontró que sigue una cinética de pseudo segundo orden, donde la velocidad de reacción depende de las concentraciones tanto del MOF como del NM. El MOF-DP2 demostró ser un material cristalino poroso, lo que permitió una exitosa adsorción del colorante NM. Con tan solo 10 mg del polímero, se logró remover 4.5 mg del colorante, es decir casi la mitad del peso del MOF. Estas conclusiones destacan las propiedades prometedoras del MOF-DP2 como un material eficiente para la remoción de contaminantes azoderivados y su potencial aplicación en la purificación de aguas y tratamientos de adsorción en diversas áreas industriales.

Referencias

[1] A. Dias, A. Sampaio, y R. M. Bezerra, “Environmental applications of fungal and plant systems: Decolourisation of textile wastewater and related dyestuffs”, en *Environmental Bioremediation Technologies*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007, pp. 445–463.

[2] A. B. dos Santos, F. J. Cervantes y J. B. van Lier, “Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology”, *Bioresource Technol.*, vol. 98, n.º 12, pp. 2369–2385, septiembre de 2007. doi: 10.1016/j.biortech.2006.11.013.

[3] E. Haque, J. W. Jun y S. H. Jhung, “Adsorptive removal of methyl orange and methylene blue from aqueous solution with a metal-organic framework material, iron terephthalate (MOF-235)”, *J. Hazardous Mater.*, vol. 185, n.º 1, pp. 507–511, enero de 2011. doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.09.035.

[4] O. G. Hayes, S. J. Warrender, D. B. Cordes, M. J. Duncan, A. M. Z. Slawin y R. E. Morris, “Preventing Undesirable Structure Flexibility in Pyromellitate Metal Organic Frameworks”, *Eur. J. Inorganic Chemistry*, vol. 2020, n.º 26, pp. 2537–2544, mayo de 2020. doi: 10.1002/ejic.202000322.

 ISSN: 2007 8102

[5] E. M. Palacios, J. V. Sánchez, y C. T. Segundo, “Degradation of dyes in wastewater by oxidation”, en *Índice de revistas mexicanas de divulgación científica y tecnológica,* 2017.
[6] L. Yu, J. Bi, Y. Song y M. Wang, “Isotherm, Thermodynamics, and Kinetics of Methyl Orange Adsorption onto Magnetic Resin of Chitosan Microspheres”, *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 23, n.º 22, p. 13839, noviembre de 2022. doi: 10.3390/ijms232213839.
[7] R. Pei *et al.*, “3D-Printed metal-organic frameworks within biocompatible polymers as excellent adsorbents for organic dyes removal”, *J. Hazardous Mater.*, vol. 384, p. 121418, febrero de 2020. doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121418.
[8] A. C. Tella, M. D. Olawale, M. Neuburger y J. A. Obaleye, “Synthesis and crystal structure of Cd-based metal-organic framework for removal of methyl-orange from aqueous solution”, *J. Solid State Chemistry*, vol. 255, pp. 157–166, noviembre de 2017. doi: 10.1016/j.jssc.2017.07.019.
[9] Y. Anjaneyulu, N. Sreedhara Chary y D. Samuel Suman Raj, “Decolourization of Industrial Effluents – Available Methods and Emerging Technologies – A Review”, *Rev. Environmental Sci. Bio/Technol.*, vol. 4, n.º 4, pp. 245–273, noviembre de 2005. doi: 10.1007/s11157-005-1246-z.
[10] X. Zhang *et al.*, “A MOF material based on zinc (II) and mixed ligands: Synthesis, structure and luminescence behavior”, *Inorganica Chimica Acta*, vol. 496, p. 119035, octubre de 2019. doi: 10.1016/j.ica.2019.119035.

 ISSN: 2007 8102

Efecto de la película Mylar en secado por ventana refractiva sobre las propiedades fisicoquímicas de huitlacoche

*J.A. Jiménez Estrada[1], J. Rodríguez Miranda, C.E.[1] Martínez Sánchez, R.[1] Carmona García[1] y E. Herman y Lara[1]**

*[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Av. Dr. Víctor Bravo Ahuja No. 561, Col. Predio el Paraíso, C.P. 68350, Tuxtepec, Oaxaca, México, janethjimeneze99@outlook.com, jesus.rm@tuxtepec.tecn.mx, cecilia.ms@tuxtepec.tecnm.mx, roselis.cg@tuxtepec.tecnm.mx, erasmo_hl@hotmail.com**

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

Se evaluó el efecto del espesor de la película de Mylar empleando secado por ventana refractiva (RW) sobre las propiedades fisicoquímicas de pasta de huitlacoche (*Ustilago maydis*). Se determinaron los tiempos de secado por charolas y RW con tres espesores diferentes de película de Mylar: 0.025, 0.036 y 0.114 mm, así como la eficiencia energética, color y actividad de agua (a_w). Se determinó el análisis químico proximal (AQP) del huitlacoche fresco. Los tiempos de secado fueron: 275 min para el espesor de película de 0.025 y 0.036 mm, y de 300 min para el espesor mayor y secado por charolas. El secado RW de menor espesor de película obtuvo el más bajo contenido de humedad (0.55 g agua/g s.s.). La eficiencia energética obtenida de menor a mayor espesor de película fue de 20.81, 20.77 y 20.76% respectivamente, siendo cuatro veces mayor que la obtenida con secador de charolas (5.57%).

***Palabras clave**: RW, película de Mylar, espesor, huitlacoche.*

Abstract

The effect of Mylar film thickness employing refractive window (RW) drying on the physicochemical properties of huitlacoche (*Ustilago maydis*) paste was evaluated. The drying times for trays and RW dryers were determined with three different thicknesses of Mylar film: 0.025, 0.036 and 0.114 mm, as well as energy efficiency, color and water activity (a_w). Proximal chemical analysis (PQA) was obtained in fresh huitlacoche. The drying times were: 275 min for the thickness of 0.025 and 0.036 mm, 300 min for the greater thickness and drying by trays. The RW drying with the lowest film thickness obtained the lowest moisture content (0.55 g water/g s.s.). The energy efficiency obtained from the smallest to the largest film thickness was of 20.81, 20.77 and 20.76% respectively, being four times higher than that obtained with tray dryer (5.57%).

***Key words**: RW, Mylar film, thickness, huitlacoche.*

Introducción

El secado de los alimentos ayuda a prolongar su vida útil de anaquel, sin embargo, no todas las tecnologías de secado son necesariamente óptimas en términos de consumo de energía, calidad del producto deshidratado, seguridad de operación, capacidad de controlar el secador durante posibles fallas en el proceso o impacto medio ambiental [1] el uso de éstos puede alterar la calidad del producto, mayores periodos de tiempo y costos elevados para obtenerlos. Actualmente en la industria de alimentos existen diversos métodos de secado que mantienen la calidad del alimento, como es el secado por ventana refractiva (RW), el cual utiliza un baño de agua caliente con temperaturas que van desde 60 a 97°C aproximadamente como fuente de calor. El alimento es colocado sobre una película plástica llamada Mylar compuesta por tereftalato de etileno (TFE) y se emplea como medio de transferencia de calor entre el agua caliente y el alimento, esta puede ser de diversos espesores [2], que favorecen el paso de radiaciones infrarrojas a través del alimento por contacto con la película [3]. Dentro de las propiedades físicas de este tipo de material se destacan: su alta flexibilidad, su resistencia a la humedad y a la mayoría de productos químicos, además de soportar temperaturas extremas que van de -70 a 150 ºC, y principalmente permite el paso de energía infrarroja [4]. En esta tecnología de secado por ventana refractiva se presentan los tres modos de transferencia de calor, por conducción, a través de la película plástica con el producto, por

 ISSN: 2007 8102

convección, entre el agua, la película plástica, el producto y el aire, y mayoritariamente por radiación, a través de la película al producto [5]. El calor latente del vapor que se condensa en el agua se transfiere por convección a la superficie inferior de la lámina de plástico. Cuando el alimento húmedo es colocado en la película, se crea una ventana que deja pasar la radiación infrarroja térmica del agua caliente en toda la superficie donde el material húmedo está colocado, dicha ventana se cierra gradualmente a medida que el material se seca, cortando la radiación térmica y evitando que la muestra alcance la temperatura del baño. Esta transferencia de calor reducida en la etapa final del secado ayuda a prevenir la degradación de la calidad del producto [6]. Por lo tanto, para poder evaluar la efectividad de dicho secado con distintos espesores diferentes de película de Mylar, se requirió un alimento modelo, en el que se utilizó pasta de huitlacoche ya que tiene un alto contenido de humedad, lo cual lo hace un alimento altamente perecedero. Por lo que se evaluó el tiempo de secado por ventana refractiva con tres espesores de película de Mylar (0.025, 0.0236 y 0.114mm), los cuales se compararon con un secado por charolas, para tal efecto se utilizó una temperatura de 70° C sobre el alimento [7].

Metodología

Materia prima

El huitlacoche se obtuvo de la central de abasto de la ciudad de Puebla, donde se seleccionaron las agallas con un grado de madurez comercial.

Preparación de la muestra

Para la obtención de la muestra en estado semisólido (pasta), se utilizó un molino pulverizador (Biolomix Multifuncional, Grinder, USA), donde se colocaron las agallas de huitlacoche y se molieron durante 2 minutos, a manera de que no quedara ningún grumo.

Obtención de las cinéticas de secado por RW y secado charolas de pasta de huitlacoche

Las cinéticas de secado por RW se obtuvieron colocando uniformemente la pasta de huitlacoche de 1.0mm de espesor en la superficie superior en cada una de las películas de Mylar según el espesor de 0.025 ,0.036 y 0.114 mm (según fue el caso). Las temperaturas del baño térmico fueron establecidas a 90 °C para todos los tratamientos. Tomándose como temperatura de 70 °C la obtenida directamente en el alimento, Se monitoreó la pérdida de peso a intervalos de tiempo determinados durante el secado hasta alcanzar un contenido de humedad de equilibrio. Las cinéticas de secado fueron obtenidas al graficar el tiempo promedio de secado (min) contra la pérdida de agua promedio (g de agua/g s.s.). A manera de comparación se empleó un secador de charolas (POLI REP, Modelo 434, México). Se utilizaron los mismos espesores de la pasta de huitlacoche y temperatura en el alimento. Todos los experimentos fueron realizados por triplicado.

Eficiencia energética de secado por RW y Charolas

Fue calculada utilizando las ecuaciones 1, 2 y 3:

Energía de evaporación (E_{Ev})

$$E_{Ev}\,(kW) = Q * hf_g \quad \textbf{(Ec.1)}$$

Donde h_{fg} (kJ/kg) es calor latente de evaporación.

Tasa de evaporación (Q)

$$Q\left(\frac{kg}{s}\right) = \frac{Humedad\ removida\ durante\ el\ secado}{tiempo\ de\ secado\ (s)} \quad (\textbf{Ec. 2})$$

 ISSN: 2007 8102

Eficiencia energética general (%EEg)

$$\mathrm{EEg}(\%) = \frac{\mathrm{E}_{Ev}\,(\mathrm{kW})}{Energía\ de\ entrada\ (kw)} * 100 \qquad (\mathbf{Ec.\ 3})$$

Donde E_{EV} es energía de evaporación.

La energía de entrada para el secador RW operado por lecho fijo fue obtenida solamente con el cálculo de la suma de las potencias de las dos resistencias eléctricas empleadas en dicho equipo con un valor total de 0.88 kW. Mientras que la energía de entrada del secador de charolas se tomó en cuenta la suma de las potencias del ventilador y las tres resistencias eléctricas dando un valor total de 2.42 kW.

Determinación de color.

Se analizaron los parámetros de color a las muestras frescas y secas de pasta de huitlacoche por RW con distintos espesores de película de Mylar y por secado por charolas. Las determinaciones se realizaron por triplicado en cada prueba, donde se utilizó un colorímetro (Ultra Scan Vis, Hunterlab, USA). El equipo fue calibrado con una trampa filtro blanco y negro como estándares de color, en la cual se usó una escala CIELch, la cual fue empleada para obtener las variables *L*, C** y *h** a través del software Easymatch. Los parámetros de cromaticidad (C*), ángulo hue (h*) y diferencia de color (ΔE) se calcularon aplicando las ecuaciones 4, 5 y 6.

$$C^* = (a^2 + b^2)^{0.5} \qquad \text{(Ec. 4)}$$

$$h° = arctang\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \qquad \text{(Ec. 5)}$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \qquad \text{(Ec. 6)}$$

Determinación de a_w.

La actividad de agua (a_w) se midió utilizando un equipo higrométrico (Aqualab 3TE, Decagon, USA), en el cual se fue midiendo la a_w desde la muestra más seca hasta la más húmeda, se realizaron mediciones por triplicado.

Análisis químico proximal de huitlacoche fresco.

La composición química proximal de las agallas de huitlacoche en fresco se determinó por triplicado de acuerdo a los métodos de la AOAC [8]: humedad (925.09), cenizas (923.03), grasas (920.39), proteínas (920.87), fibra (962.09) y el contenido de carbohidratos se calculó por diferencia.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados con un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía y una prueba de comparación de medias por Fisher con un nivel de confianza del 95%, empleando el software Minitab versión 7.0

Resultados y discusión

Cinética de secado por RW y secado por charolas.

Se observó en la figura 1 que al secar a 90° C con el equipo RW se utilizaron tiempos de 275 min para el espesor de 0.025 y 0.036 mm, mientras que para el espesor de 0.114 mm y secado por charolas se utilizó un mayor tiempo

 ISSN: 2007 8102

(300 min) para alcanzar el contenido de humedad (CH) en equilibrio (tabla 1). Con estos datos, se tiene que el menor espesor de película de Mylar es una mejor alternativa, ya que dio menores tiempos de secado. A pesar de que el secado RW con espesor de película de 0.036 mm también alcanzó este mismo periodo de tiempo, no obstante, en la tabla 2 se observó que la mejor eficiencia energética la obtuvo el espesor de película de 0.025 mm, comparado a secado por charolas y los otros espesores (0.036 y 0.114 mm).

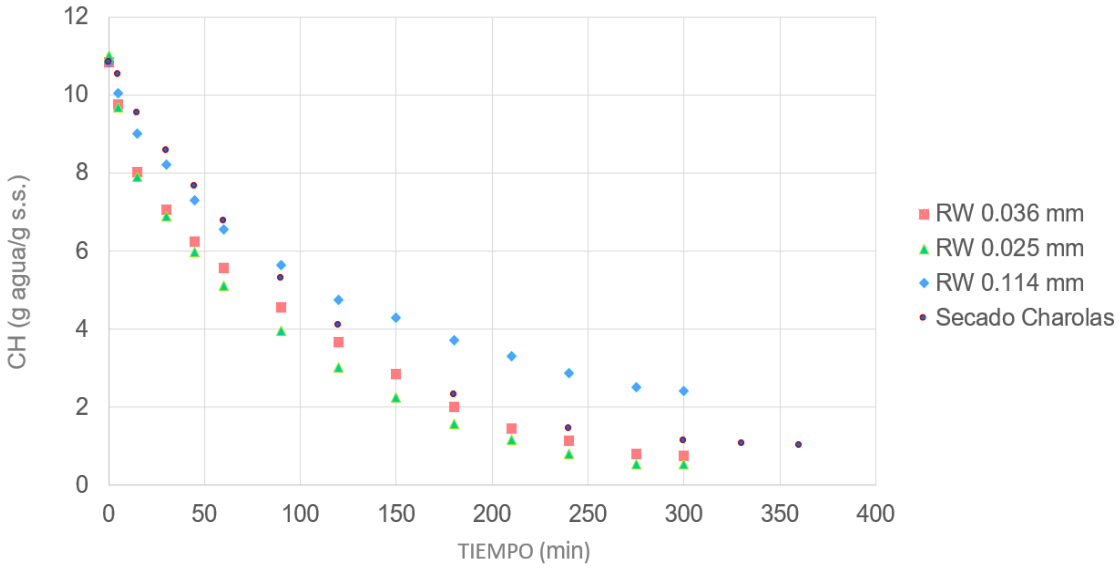


Figura 1. Cinética de secado de huitlacoche con tres espesores diferentes de Película Mylar en RW y Secado Charolas (g agua/g s.s.)

Tabla 1. Efecto del tiempo sobre los tipos de secado.

Tipo de secado	Contenido de Humedad (g agua/ g s.s.)	Tiempo de secado (min)
Charolas	1.13±0.05[a]	300±0.09[a]
RW 0.114 mm	2.40±0.07[b]	300±08[a]
RW 0.036 mm	0.80±0.08[c]	275±0.06[b]
RW 0.025 mm	0.55±0.05[d]	275±0.08[b]

Valores promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística mínima significativa ($p<0.05$) Fisher

Eficiencia energética de secado por RW y secado por charolas.

De acuerdo con lo mostrado en la tabla 2, se establece que la menor tasa de evaporación la tuvo el secado por charolas, ya que es el secador que presentó mayor tiempo de secado y mayor contenido de humedad de equilibrio final. También se observó que el secado RW con espesor de película de 0.025 mm tuvo la mayor tasa de evaporación y el mayor porcentaje de eficiencia energética. Esto fue debido a que la película Mylar de 0.025 mm es de un espesor más delgado, lo que permitió con mayor facilidad el paso de la radiación infrarroja y gracias a ello, una velocidad más rápida de secado. Sin embargo, se observó que no hubo diferencia significativa en los 3 espesores de secado RW con respecto a la eficiencia energética general y esta eficiencia energética fue 4 veces mayor que el secado por charolas.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Eficiencia energética general de secado por charolas y RW con tres espesores diferentes de Película Mylar.

Parámetro	Charolas	RW 0.025 mm	RW 0.036 mm	RW 0.114 mm
Tasa de evaporación (Kg/s)	6.32^{-5}±0.08[a]	7.82^{-5}±0.12 [b]	7.78^{-5}±0.14[c]	7.72^{-5}±0.12[d]
Energía de evaporación E_{ev} (Kw)	0.14±0.07[a]	0.18±0.08[b]	0.18±0.06[b]	0.18±0.06[b]
Eficiencia energética general EEg (%)	5.51±0.10[a]	20.81±0.14[b]	20.77±0.16[c]	20.77±0.15[c]

Valores promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadística mínima significativa ($p<0.05$) Fisher.

Determinación de color y a_w.

En la tabla 3 se muestran los parámetros de color. La luminosidad se va incrementando en todos los tipos de secado en función de la luminosidad de huitlacoche fresco, siendo el valor más cercano a la muestra en fresco el del espesor de película de 0.025 mm. El secado por charolas fue el que mayor luminosidad presentó entre los 4 tipos de secado. En la cromaticidad, la muestra fresca tuvo un valor de 2.54 y se observó que de igual manera esta va aumentando los valores en las muestras secas, teniendo el valor más cercano a la muestra fresca el secado RW con espesor de película de 0.025 mm. Se puede analizar también que los espesores más gruesos (0.036 y 0.114 mm) no presentaron diferencia significativa entre sí, mientras que el secado por charolas fue el que obtuvo mayor cromaticidad y con diferencias significativas con respecto al secado por RW en sus diferentes espesores de película de Mylar. Los valores obtenidos de ángulo Hue que dan el color característico al huitlacoche en fresco y seco tuvieron una tendencia contraria con respecto a los otros parámetros de color. Es decir, a medida que se iban secando las muestras la tonicidad del color iba disminuyendo. Se obtuvieron los valores más bajos en RW con espesores de película 0.025 y 0.036 mm, sin embargo, todas las muestras secas fueron diferentes significativamente con respecto a las muestras en fresco. El menor valor de actividad de agua de 0.27 se obtuvo con un espesor de película de 0.025 mm en secado por RW, lo cual se correlaciona con el menor contenido de humedad de equilibrio obtenido con este tipo de secado.

Tabla 3. Efecto de tipo de secado sobre los parámetros de color y a_w.

Parámetro	Fresco	Charolas	RW 0.025 mm	RW 0.036 mm	RW 0.114 mm
L*	30.45±0.51[a]	42.30±0.21[b]	40.23±0.05[c]	41.13±0.13[d]	41.80±0.10[d]
C*	2.54±0.25[a]	6.23±0.22[b]	5.70±0.03[c]	5.85±0.25[d]	5.89±0.20[d]
h*	81.1±0.35[a]	69.27±0.33[c]	68.92±0.34[b]	68.93±1.04[b]	69.17±0.45[c]
ΔE	----------	12.43±0.29[a]	10.30±0.37[b]	11.21±0.30[c]	11.86±0.39[c]
a_w	0.99±0.10[a]	0.33±0.15[b]	0.27±0.12[d]	0.29±0.10[c]	0.29±0.12[c]

Valores promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadística mínima significativa ($p<0.05$) Fisher.

 ISSN: 2007 8102

Análisis químico proximal de huitlacoche en fresco.

En la tabla 4, se muestra la composición química del huitlacoche en fresco, el cual se utilizó como alimento modelo, y se observó que tiene una gran cantidad de agua, por arriba del 90%, es decir 91.55%, en donde los valores con mayor contenido son las proteínas y la fibra. En base seca, el contenido de proteínas y fibra se concentran por arriba del 11%, respectivamente 12.41 para proteínas y 11.46 para fibra. De acuerdo a Mehmet y Muharrem [9], ellos realizaron un análisis químico proximal a huitlacoche fresco en base seca y coinciden sus resultados (humedad: 90.0%, proteínas:12.0%, grasa:1.80%, fibra:11.0, carbohidratos:45.0%). Sin embargo, su contenido de carbohidratos difiere mucho al trabajo que se está realizando, en lo cual se observó que sus valores no dan al 100%, esto puede deberse a las distintas condiciones de cosecha que el huitlacoche haya tenido y también por su grado de maduración y el tiempo de almacenamiento.

Tabla 4. Composición química de huitlacoche fresco.

Parámetro (%)	BH	BS
Agua	91.55±0.06	----------
Proteínas	1.14±0.11	12.41±0.08
Grasa	0.16±0.13	1.81±0.04
Fibra	1.05±0.01	11.46±0.03
Cenizas	0.06±0.15	0.72±0.13
Carbohidratos	6.04±0.07	73.63±0.05

Valores promedio de tres repeticiones ± desviación estándar.

BH: base húmeda, BS: base seca

Trabajo a futuro

Se determinarán las propiedades tecno-funcionales (índice de absorción de agua, índice de solubilidad de agua, poder de hinchamiento y capacidad de rehidratación), propiedades químicas (contenido de polifenoles y flavonoides totales), así como la actividad antioxidante ($DPPH^+$ y $ABTS^{\bullet+}$).

Conclusiones

El espesor de 0.025 mm de película de Mylar fue el que obtuvo el más bajo contenido de humedad de 0.55 g agua/g s.s. utilizando un tiempo de 275 min en tiempo de secado. De la misma forma los resultados que se obtuvieron de a_w demostraron que el secado RW empleando menor espesor de película es el que tuvo más baja a_w dando 0.27 comparándolo con secado por charolas el cual dio 0.33. La eficiencia energética obtenida del menor al mayor espesor de película fue de 20.81, 20.77 y 20.76% respectivamente, siendo cuatro veces mayor que el obtenido con charolas (5.57%). Con estos resultados se propone que el secado RW con espesor de 0.025

 ISSN: 2007 8102

mm de película de Mylar puede ser una mejor alternativa de secado ya que fue el que tuvo mejor tiempo de secado, así como la eficiencia energética.

Referencias

[1] M.M. Rodrígues, A. Rodriguez, and R. H. Mascheroni, “Color, texture, rehydration ability and phenolic compounds of plums partially osmodehydrated and finish-dried by hot air”, *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 39, pp 2647-2662, 2015.

[2] B.I. Abonyi, and H. Feng, “Quality retention in strawberry and carrot purees dried with refractance windows system”, *Journal of Food Science,* vol.67, pp 1051-1056, 2002.

[3] C. I. Ochoa-Martínez, P. T. Quintero, A. A. Ayala, and M. J. Ortiz, “Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique”. *Journal of Food engineering,* vol. 109, pp 69-75, 2012.

[4] I. Tontul, Z. Kasimoglu, S. Asik, T. Atbakan, and A. Topuz, “Functional properties of chickpea protein isolates dried by Refractance Window drying”, *International Journal of Biological Macromolecules,* vol. 109, pp 1253-1259, 2018.

[5] M.J. Ortiz-Jerez, and T. Gulati, “Quantitative understanding of Refractance Window™ driyng”. *Journal of food and bioproducts processing,* vol.95, pp 237-253, 2015.

[6] A. Topuz, C. Dincer, K. Sultan, H. Feng, and M. Kushad, “Influence of different drying methods on carotenoids and capsaicinoids of paprika (Cv. Jalapeno)”, *Journal of Food Chemistry,* vol.129, pp 860-865, 2011.

[7] A. Asiimwe, J.B. Kigozi, E. Baidhe, and J.H. Muyonga, “Optimization of Refractance Window drying conditions for passion fruit puree”, *Journal of Food Science and Technology,* vol.154, pp 112742, 2022.

[8] AOAC, “Official Methods of Analysis of AOAC”, *Association of Analytical Chemist*, 18 th ed., Gathersburg, MD, USA. 2005.

[9] A. Mehmet, and G. Muharrem, “Nutritional value of huitlacoche, maize mushroom caused by *Ustilago maydis*”, *Journal Food Science and Technology*, vol.37, pp 1590-1595, 2017.

Aplicación de un nuevo MOF de Cobalto para la adsorción de naranja de metilo en medio acuoso

Mariana Martínez Morales[1], Rodolfo Peña Rodríguez[1], Raúl Colorado Peralta[1], Lidia Elena Chiñas Rojas[1], José María Rivera Villanueva[1,].*
[1]Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana Prolongación Oriente 6, No. 1009, Colonia Rafael Alvarado, CP 94340 Orizaba, Veracruz, México.
Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En la presente investigación se desarrolló la síntesis y caracterización de un nuevo tipo de MOF (MOF MAR-03) derivado del Ácido 1,3,5-bencentricarboxílico (BTC) utilizando Nitrato de Cobalto(II) hexahidratado como ion metálico el cual se evaluó para la remoción del colorante azoico naranja de metilo (NM) empleando la técnica de adsorción. El MOF MAR-03 se caracterizó a través de la técnica de difracción de rayos X (DRX) de monocristal para corroborar su correcta síntesis. La remoción de NM se realizó en distintas concentraciones (250 a 1250 mg/L) y a diferentes tiempos de contacto (5 a 60 min). El proceso de adsorción de NM en el MOF MAR-03 se describe a través de procesos de quimisorción, sobre lo cual se sugiere que la adsorción de moléculas de NM se realiza en la superficie del MOF a través de la formación de multicapas; la capacidad de adsorción máxima teórica (*Qmax*) calculada a partir del isoterma de Langmuir es de 1220 mg/g, el cual es un dato significativo y considerable de acuerdo con la de MOF reportados anteriormente.

***Palabras clave**: MOF, colorante azoico, naranja de metilo, adsorción.*

Abstract

In the present research, the synthesis and characterization of a new type of MOF (MOF MAR-03) derived from 1,3,5-benzenetricarboxylic acid (BTC) was developed using Cobalt(II) Nitrate hexahydrate as metal ion, which was evaluated for the removal of the methyl orange (MO) azo dye using the adsorption technique. MOF MAR-03 was characterized using the single-crystal X-ray diffraction (XRD) technique to confirm their correct synthesis. Methyl orange removal was realized at different concentrations (250 to 1250 mg/L) and at different contact times (5 to 60 min). The MO adsorption process in the MOF MAR-03 is described through chemisorption processes, on which suggests that the adsorption of MO molecules is performed on the surface of the MOF through the formation of multilayers; the theoretical maximum adsorption capacity (Qmax) was calculated from the Langmuir isotherm is 1220 mg/g, which is a significant and considerable data in agreement with previously reported MOFs.

***Keywords:** MOF, azo dye, methyl orange, adsorption.*

Introducción

A lo largo de los años la ciencia de los materiales ha tenido innumerables avances tecnológicos que hoy en día representan un fuerte ante diversas problemáticas; uno de los materiales más innovadores son los polímeros metal orgánicos (MOF por sus siglas en inglés). Los MOFs son estructuras híbridas que se forman a través de la interacción de ligandos orgánicos con iones metálicos, dando como productos materiales cristalinos con alta porosidad y áreas internas con alta capacidad de adsorción de moléculas. Su síntesis requiere un control especifico de la temperatura del medio y la presión a la que se sometan, para dar lugar así a materiales perfectamente ordenados.

Por su composición, los MOF son ampliamente utilizados para la remoción de colorantes dispersos en efluentes contaminados que son descargados a diversos cuerpos de agua sin un tratamiento previo para su correcta descarga, esto conlleva a un impacto ambiental drástico, ya que son compuestos altamente tóxicos que suponen un riesgo en la flora y fauna de diversos ecosistemas acuáticos y adyacentes. La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas con colorantes sintéticos es un grave problema ambiental y es una amenaza para el ser humano y la vida acuática [1]

Varios tipos de tintes sintéticos, especialmente el NM, están comúnmente presentes en las descargas de efluentes de las industrias de fabricación de textiles, alimentos, productos farmacéuticos, impresión y papel, debido a la existencia del grupo cromóforo azo (-N=N-) y a su estructura aromática, es difícil eliminar el NM del agua residual [2]. Su descarga en la hidrosfera posee una fuente importante de contaminación debido a su visibilidad incluso a concentraciones muy bajas [3]. Más allá de las consideraciones estéticas, los problemas ambientales más

 ISSN: 2007 8102

importantes relacionados con los colorantes son la absorción y reflexión de la luz solar que entra en el agua, lo que interfiere con el crecimiento de las bacterias, lo que limita a niveles suficientes para degradar biológicamente impurezas en el agua [4].
Actualmente existen varios procesos de tratamiento para la remoción de colorantes en aguas residuales, ya sea tratamiento químico, físico o biológico, y es dentro de los procesos físicos que existe la adsorción, la cual ha demostrado tener mayor eficiencia y eficacia en el objetivo debido a que no necesita una temperatura de operación alta y a su vez este tipo de materiales tienen la capacidad de remover un importante y diverso número de colorantes en soluciones acuosas, además, estos materiales cristalinos tienen la ventaja de ser fácil de sintetizar, aplicar y tener obtener a un bajo costo [**5**].
Los polímeros metal-orgánicos o MOF por sus siglas en inglés (Metal-Organic Frameworks), son una nueva clase de materiales microporosos, que consisten iones o cúmulos metálicos y ligandos orgánicos que se unen entre sí [6]. Los MOF poseen características que superan a las zeolitas y el carbón activado, debido a que poseen grandes áreas superficiales suponen lo imprescindible para remover colorantes y otros contaminantes del agua a través de la adsorción; por lo tanto, los MOF representan una de las alternativas más viables para el tratamiento de aguas residuales afectadas por la presencia de colorantes, debido a su eficacia y a que poseen un bajo costo.
En la presente investigación se realizó la síntesis y caracterización mediante DRX de monocristal de un MOF a base de cobalto (MOF MAR-03); del mismo modo se describe la aplicación del MOF MAR-03 para la remoción del colorante azoico naranja de metilo en soluciones acuosas.

Metodología

Materiales

Los reactivos que se utilizaron para la síntesis del MOF MAR-03 fueron adquiridos a través de Sigma-Aldrich Chemical Co. Se emplearon reactivos en estado sólido, como ion metálico el nitrato de cobalto hexahidratado que posee una formula empírica de $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ y un peso molecular de 291.03 g/mol. El ligante orgánico Ácido 1,3,5- bencentricarboxílico que posee una formula empírica de $C_6H_3(CO_2H)_3$ y un peso molecular de 210.14 g/mol. El disolvente N,N-Dimetilformamida (DMF) que tiene una formula empírica de C_3H_7NO y posee un peso molecular de 73.09 g/mol. El estándar del colorante naranja de metilo (NM) al 0.1% que tiene una formula empírica de $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ y un peso molecular de 327.33 g/mol se empleó para elaborar la curva de calibración, siendo adquirida de laboratorios Hycel.

Equipos

Las estructuras de DRX de monocristal del MOF fueron obtenidas en un equipo Oxford Gemini ($\lambda MoK\alpha = 0.71073$) con detector de área y un sistema de baja temperatura Cyojet. La DRX de polvos cristalinos para comprobar algún cambio estructural en los MOF se realizaron en un equipo Bruker D-8 Advance, el cual cuenta con dos ventanas del detector dimensional de 0.11- 0.25 ev.
Para estudiar la composición elemental del MOF antes y después de la remoción se utilizó la técnica de espectroscopía de rayos X de energía dispersa (EDS) en un equipo Oxford Isis que opera a un voltaje de aceleración de 3–30kV. Las pruebas de adsorción de colorante se realizaron en parrillas con agitación magnética Thermo Scientific modelo SP131325 que alcanzan una velocidad de 1200 rpm.
Para sedimentar el material después de la prueba de adsorción se utilizó un equipo de centrifugación marca Ample Scientific modelo Champion S-50D, que tiene un máximo de velocidad de centrifugado de 4,000 rpm.
Las mediciones de microscopía electrónica de barrido (SEM) para analizar la superficie del MOF antes y después de la remoción del colorante, se realizaron con un equipo JEOL JSM-5900-LV. La lectura de absorbancias para la curva de calibración al igual que las de los sobrenadantes, se realizaron en un espectrofotómetro UV-Vis en disolución marca Thermo Fisher Scientific, modelo Genesys 20.

 ISSN: 2007 8102

Síntesis del MOF MAR-03

La síntesis se realizó en un matraz Erlenmeyer, se disolvió 0.1 g (0.4758 mmol) de Ácido Trimésico en 7.5 ml. de N,N-Dimetilformamida; por separado, se disolvió 0.3 g (1.0308 mmol) de Nitrato de Cobalto(II) hexahidratado en 7.5 ml. de agua desionizada. Una vez disueltos los componentes, se mezclaron las soluciones sometiéndolas a calentamiento en parrilla magnética por 24 horas a 80°C. Pasado este tiempo, se dejó enfriar la solución a temperatura ambiente. El esquema de reacción se observa en la Figura 1 se observa el esquema de la reacción realizado mediante la herramienta de dibujo ChemDraw 17.0.

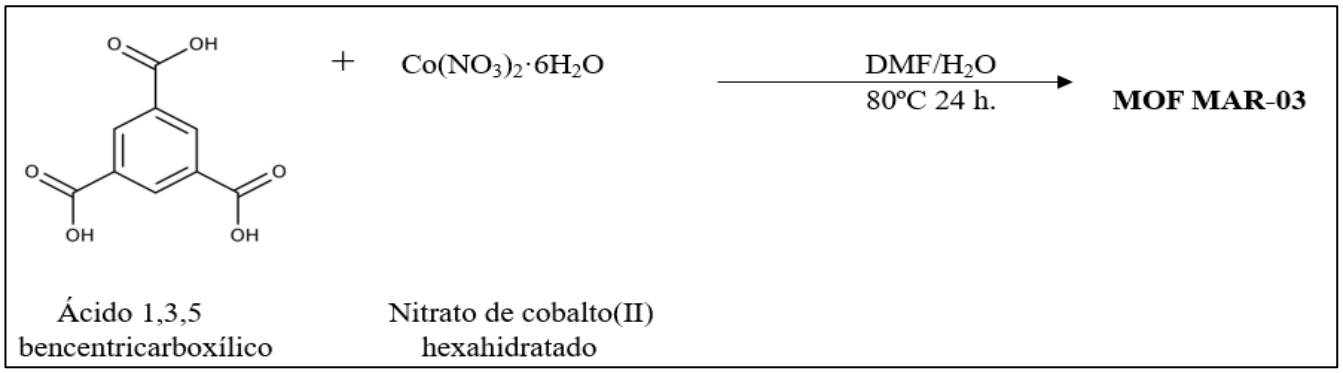


Figura 1. Esquema de la reacción de síntesis del MOF MAR-03

Pruebas de adsorción de NM

La curva de calibración de NM se realizó con concentraciones desde 0 a 30 mg/l midiendo sus respectivas absorbancias a una longitud de onda de 466 nm en espectrofotómetro UV-Vis.

Se prepararon soluciones con concentraciones de 0 a 1250 mg/l para el colorante naranja de metilo (NM). La concentración exacta de las soluciones del colorante se obtuvo a través de análisis en UV-Vis haciendo lectura de sus absorbancias.

Las pruebas de adsorción se realizaron por lotes en matraces Erlenmeyer de 25 ml de capacidad sobre los cuales se añadió 10 ml. de solución de Naranja de Metilo y 10 mg. del MOF previamente secado, se sometieron en agitación a una velocidad de 600 rpm durante 60 minutos de tiempo de contacto. Una vez finalizada la agitación, se centrifugaron las muestras a 2500 rpm durante 5 minutos, terminado el centrifugado, se realizaron lecturas de la absorbancia de los sobrenadantes.

Con el objetivo de obtener la concentración del sobrenadante, los valores de absorbancia registrados se interpolaron con los valores de absorbancia de la curva de calibración, a través de la fórmula de interpolación lineal, (Ecuación 1) sobre la cual las coordenadas del eje X pertenecen a unidades de concentración, que son expresadas en mg/L, mientras que las coordenadas del eje Y pertenecen a la absorbancia.

$$X2 = \frac{(Y3-Y1)(X3-X1)}{(X3-X1)} \quad (1)$$

La capacidad de adsorción del MOF, así como la eficiencia de remoción de este fueron calculadas por las ecuaciones 2 y 3, presentadas a continuación:

$$Qt = \frac{(Co-Ct)V}{m} \quad (2)$$

$$Eficiencia\ \% = \frac{Co-Ct}{Co} * 100 \quad (3)$$

Sabiendo que *Qt* es la capacidad de adsorción con respecto al tiempo, definida en mg/g, *Co* y *Ct* son las concentraciones inicial y final con respecto al tiempo, definidas en mg/l., *V* es el volumen de la solución utilizado, definido en litros, y *m* es la masa del adsorbente utilizado, definido en mg. [7]

ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Caracterización del MOF MAR-03

De la reacción de síntesis por evaporación lenta a partir del ligante BTC con $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ se obtuvo un material sólido de color púrpura intenso, altamente cristalino con forma hexagonal y tetraédrica, los cuales fueron aptos para realizar análisis de DRX de monocristal, se obtuvo un rendimiento de reacción del 42%. Los cristales obtenidos del MOF MAR-03 se pueden observar en la Figura 2. El MOF MAR-03 es insoluble en los solventes como EtOH, MeOH, DMF, DMSO y H_2O, presenta estabilidad térmica a temperaturas mayores de 350°C.

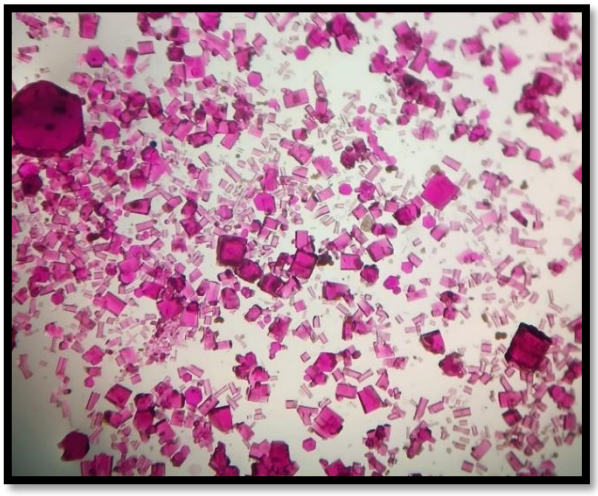


Figura 2. Cristales del MOF MAR-03 vistos desde microscopio óptico con aumento de 30x.

Gracias al análisis de DRX de monocristal del MOF MAR-03 se muestra una parte de la estructura en la cual se observaron dos átomos metálicos de cobalto oxo puenteados, los cuales presentaron en ambos casos una geometría octaédrica distorsionada. El primer átomo de cobalto (Co1) se encontró unido a dos átomos de oxígeno pertenecientes a los grupos carboxilato del ligante orgánico BTC, dos átomos de oxígeno de dos moléculas de agua coordinadas, un átomo de oxígeno oxopuenteado que une a los dos átomos metálicos de cobalto y a un átomo de oxígeno perteneciente al grupo carbonilo de la N,N-Dimetilformamida coordinado al metal, mientras que el segundo átomo de cobalto (Co2) se encuentra coordinado a cuatro átomos de oxígeno pertenecientes a los grupos carboxilato del ligante orgánico, un átomo de oxígeno oxopuenteado y un átomo de oxígeno perteneciente a una molécula de agua coordinada al cobalto. Las distancias de enlace del Co1 se encuentran en el rango de 2.042-2.121 Å., mientras que las distancias de enlace para el átomo Co2 se encuentran en el rango de 1.993-2.163 Å. El ángulo de enlace para Co1 en las posiciones apicales es de 168.34 Å., mientras que los demás ángulos se encuentran en el rango de 79.67-96.82 Å. Los ángulos de enlace para Co2 son de 175.37° posición apical, y en el rango de 87.90-93.03 Å. En la DRX también se puede apreciar una molécula de DMF libre en el interior del poro del MOF, tal como se muestra en la Figura 3.

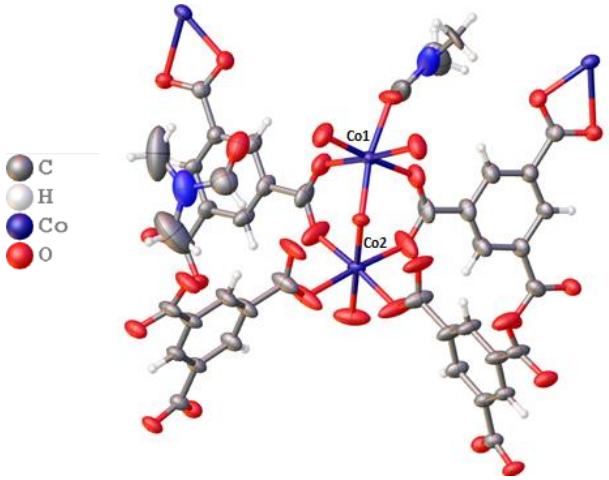


Figura 3. Segmento de la red cristalina del MOF MAR-03

ISSN: 2007 8102

Remoción de colorante NM

La eficiencia de remoción del MOF MAR-03 para el colorante Naranja de Metilo fue evaluada en concentraciones de 250, 500, 750, 1000 y 1250 mg/L. En la Figura 4 se visualiza la remoción de color que logra el MOF MAR-03 para el colorante Naranja de Metilo

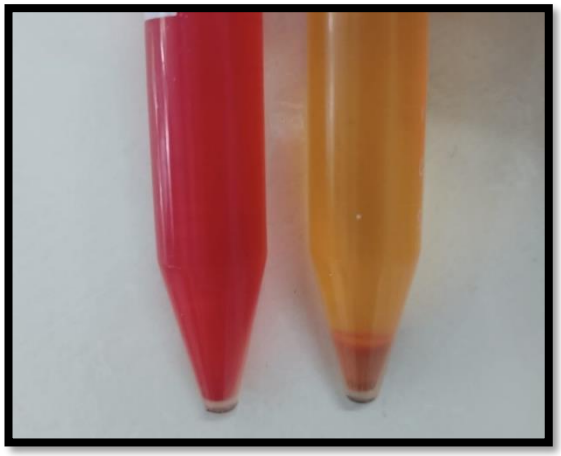


Figura 4. Remoción de colorante NM mediante el MOF-Co

La capacidad máxima de adsorción (Qmax) del MOF MAR-03 para NM fue de 1220 mg/g, alcanzada a un tiempo de contacto de 45 minutos en la solución con concentración 1250 mg/l. El comportamiento de la capacidad máxima de adsorción (Qmax) de NM del MOF MAR-03 se observa en la Figura 5.

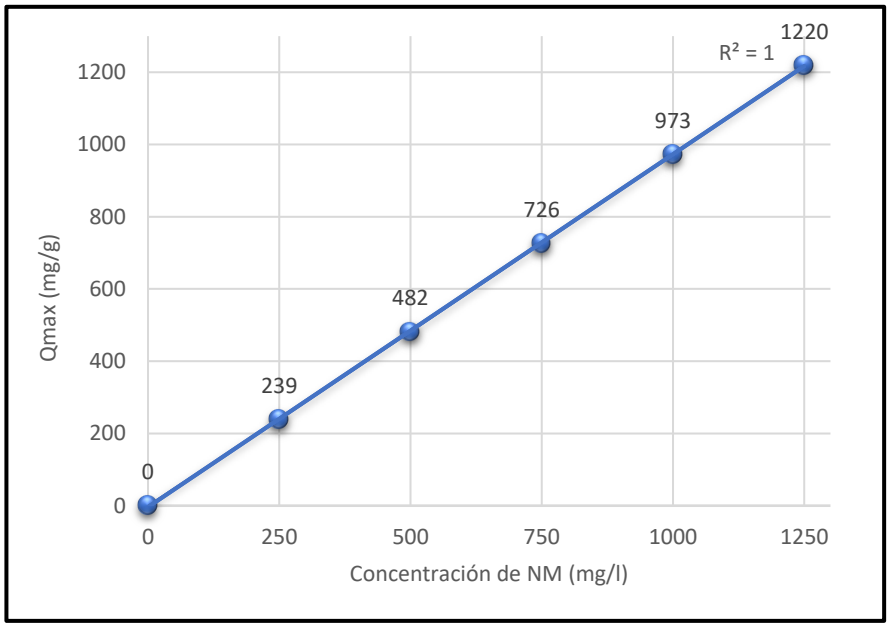


Figura 5. Capacidad máxima de adsorción del MOF MAR-03 para el colorante NM

Al realizar las pruebas de remoción, se demostró que el comportamiento de la capacidad de adsorción con respecto al tiempo (Qt) es similar en las 2 concentraciones del colorante Naranja de Metilo (100 y 200 mg/L), es decir, se observa un aumento en los tiempos de entre 5 a 45 minutos, mientras que alcanzados los 45 minutos hasta los 60, el MOF logra una capacidad de adsorción en equilibrio (Qe) para el colorante Naranja de Metilo, esto debido a que no observó un cambio significativo entre ambos puntos. (Figura 6).

 ISSN: 2007 8102

La capacidad de adsorción de NM con respecto al tiempo del MOF MAR-03 aumenta en función de la concentración del colorante en la solución, esto quiere decir que entre mayor concentración de NM se encuentra disuelta en la solución, mayor será su capacidad de adsorción.

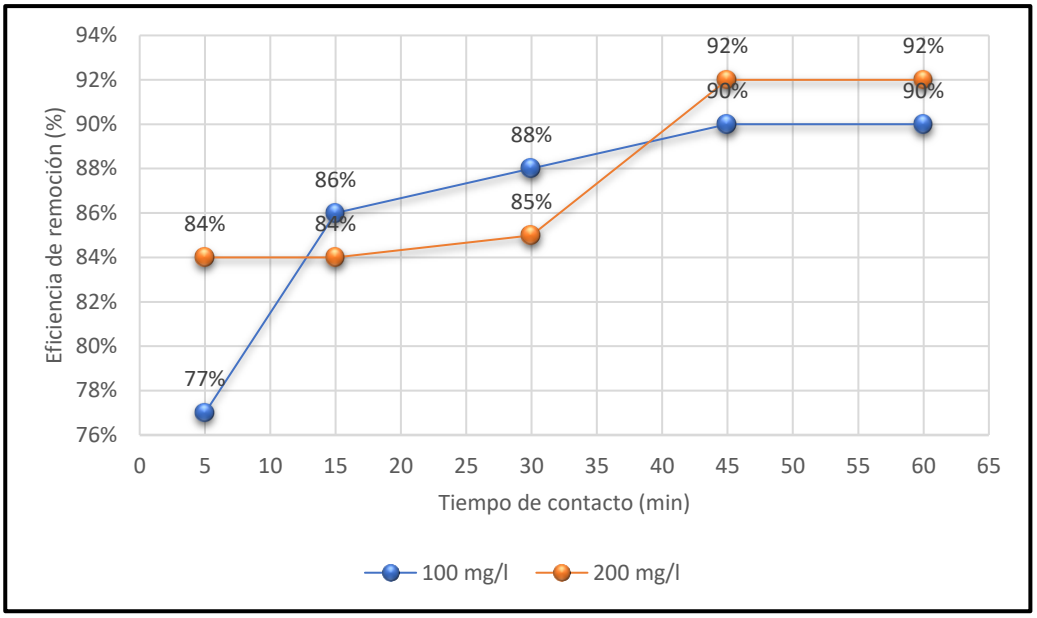


Figura 6. Efecto del tiempo de contacto en la eficiencia de remoción del MOF MAR-03 para el colorante NM

Con el objetivo de corroborar la adsorción del colorante NM, se utilizó otra técnica espectroscópica, para así detectar algún cambio en la estructura del MOF MAR-03, dicha técnica fue la DRX de polvos cristalinos. En la Figura 7 se muestran los difractogramas del MOF MAR-03 antes (azul) y después (rojo) de la remoción de NM. Al comparar el difractograma del MOF MAR-03 posterior a la remoción de NM, se observa que este presenta un cambio completo en la fase cristalina del MOF sin colorante, del mismo modo, se nota una aumento considerable en su intensidad, lo cual indica que se ha perdido cristalinidad debido a la presencia del NM, de este modo, al haber cambios en el patrón se puede confirmar que el MOF ha sufrido una completa modificación estructural, por lo cual se sugiere que el proceso de adsorción que se lleva a cabo es una quimisorción.

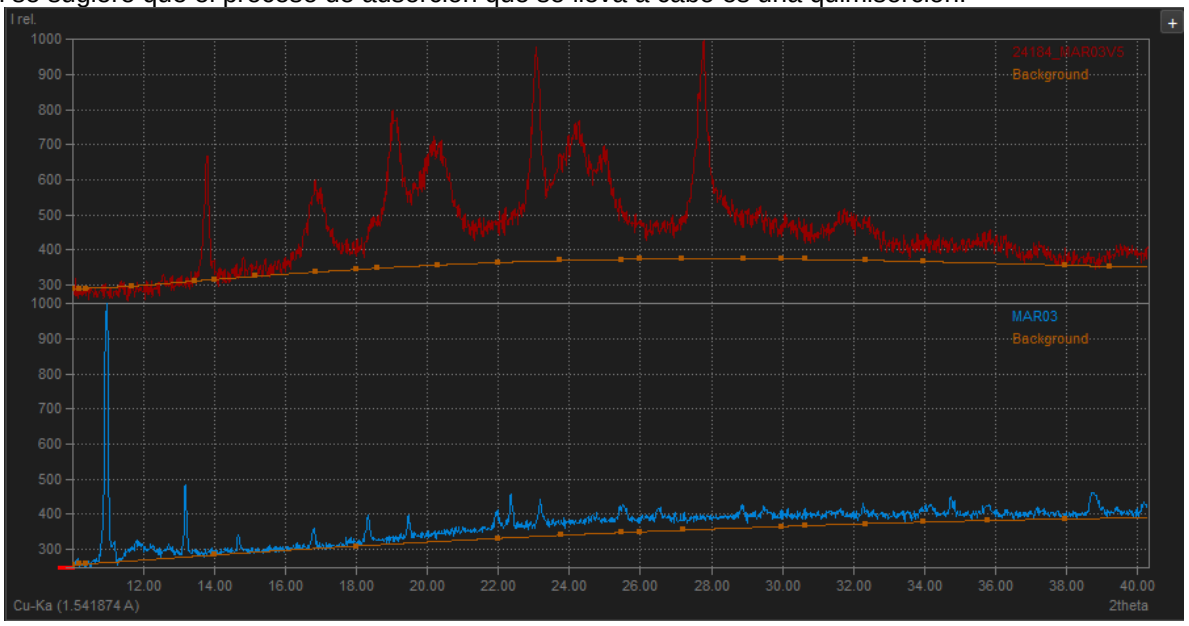


Figura 7. Difractograma de polvos cristalinos del MOF MAR-03 antes y después de la remoción de NM

 ISSN: 2007 8102

Para corroborar la adsorción de NM en el MOF se realizó una microscopía SEM; antes de la remoción de NM la superficie del MOF MAR-03 se observa bien definida y sin moléculas adheridas, posterior a la remoción de NM (Figura 22 a, b) se observa una aglomeración de moléculas en la superficie, así como un completo cambio estructural en la morfología del material, confirmándose así que el NM se encuentra adsorbido en la superficie del MOF.

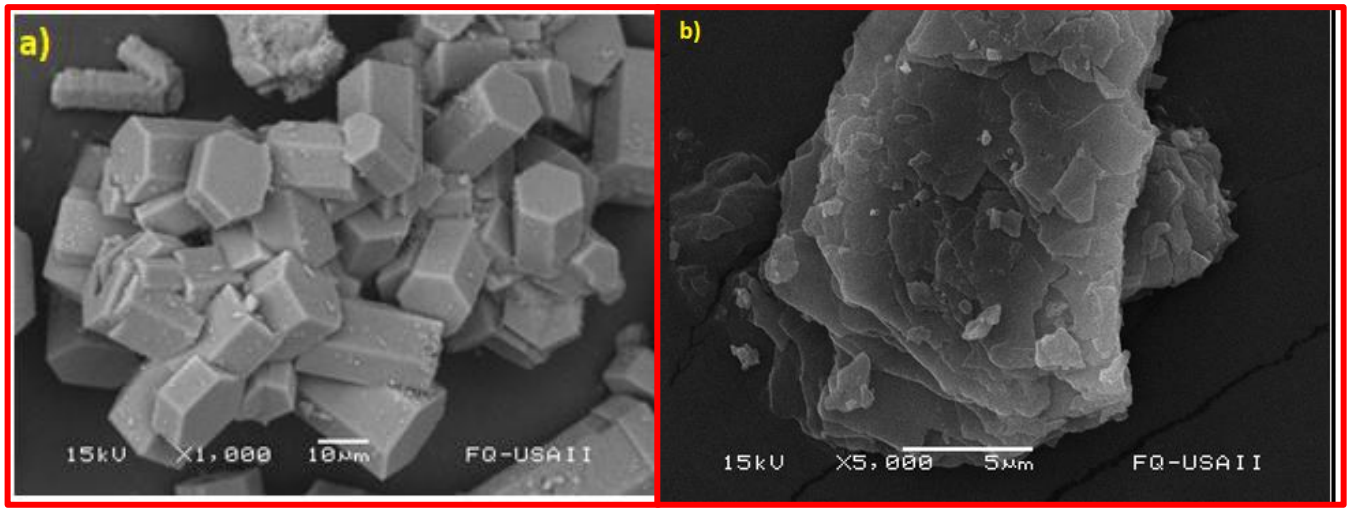


Figura 7. Micrografía SEM de la superficie del MOF MAR-03 a) antes de la remoción de NM, b) posterior a la remoción de NM

Trabajo a futuro

Como expectativas se tiene el mejorar el método de síntesis del MOF, a través de las técnicas solvotérmica o ultrasónica, mediante las cuales se obtienen materiales de menor tamaño de partícula y, por lo tanto, de mayor área superficial que aumenta su eficiencia de adsorción para que, de este modo, su pueda evaluar el comportamiento del MOF MAR-03 en la adsorción de otra clase de colorantes, tanto aniónicos como catiónicos, para así posteriormente poder realizar experimentos con agua residual industrial.

Conclusiones

La DRX de monocristal demostró que el MOF MAR-03 se sintetizó exitosamente al presentar características de cristalinidad y empaquetamiento, así como homogeneidad estructural; características que son reportadas previamente en la literatura.

Las pruebas de remoción demostraron que el MOF MAR-03 obtenido a través de monocristales es un excelente adsorbente de NM, debido a que presentó altas eficiencias de remoción y su capacidad de adsorción de NM es una de las mejores de acuerdo con los MOF reportados hasta la fecha.

El MOF MAR-03 demostró ser un adsorbente con una buena capacidad de adsorción del colorante NM, sin embargo, hay otras opciones más eficientes que ya fueron reportadas previamente en la literatura.

Los análisis SEM y EDS corroboraron la presencia de NM en el MOF MAR-03, el cual presenta cambios estructurales después de la remoción del colorante, por lo que se proponen mecanismos de adsorción con interacciones fuertes e irreversibles entre el colorante y el MOF.

El MOF MAR-03 presenta un cambio significativo en su fase cristalina posterior al proceso de remoción del colorante NM, lo cual indica modificación de su estructura química, por lo que se comprueba una quimisorción del NM en dicho material y la micrografía SEM de dicho material demostró que el NM se adsorbe formando multicapas en el MOF.

ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] Gupta, V. K., Kumar, R., Nayak, A., Saleh, T. A., & Barakat, M. A. (2013). Adsorptive removal of dyes from aqueous solution onto carbon nanotubes: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, *193–194*, 24– 34.

[2] Chen, S., Zhang, J., Zhang, C., Yue, Q., Li, Y., & Li, C. (2010). Equilibrium and kinetic studies of methyl orange and methyl violet adsorption on activated carbon derived from Phragmites australis. *Desalination*, *252*(1–3), 149–156.

[3] Subbaiah, M. V., & Kim, D. S. (2016). Adsorption of methyl orange from aqueous solution by aminated pumpkin seed powder: Kinetics, isotherms, and thermodynamic studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **128,** 109–117.

[4] Seow, T. W., & Lim, C. K. (2016). Removal of Dye by Adsorption : A Review, *11*(4), 2675–2679.

[5] Haque, E., Lee, J. E., Jang, I. T., Hwang, Y. K., Chang, J. S., Jegal, J., & Jhung, S. H. (2010). Adsorptive removal of methyl orange from aqueous solution with metal-organic frameworks, porous chromium- benzenedicarboxylates. *Journal of Hazardous Materials*, *181*(1–3), 535–542.

[6] Camacho, B. C. R., Ribeiro, R. P. P. L., Esteves, I. A. A. C., & Mota, J. P. B. (2015). Adsorption equilibrium of carbon dioxide and nitrogen on the MIL-53 (Al) metal organic framework. *Separation and Purification Technology*, *141*, 150–159.

[7] Tan, F., Liu, M., Li, K., Wang, Y., Wang, J., Guo, X., Song, C. (2015). Facile synthesis of size-controlled MIL-100(Fe) with excellent adsorption capacity for methylene blue. *Chemical Engineering Journal*, **281**, 360–367.

 ISSN: 2007 8102

Efecto del pH en el tratamiento químico, aplicado a lixiviados de relleno sanitario (LRS)

Verónica Machorro Sánchez[1], Luis Ricardo Morales Juárez[1], Odilón Vázquez Cuchillo[1], Marco Antonio Meraz Melo[1] y Gabriela Soriano Gil[1]

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Puebla,
Av. Tecnológico 420, Col. Maravillas, Puebla, Puebla. 72220. México

veronica.machorro@puebla.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

El incremento de la población humana se relaciona directamente con la alta generación de residuos sólidos urbanos (RSU), estos son depositados en rellenos sanitarios (RS) elevando la producción de lixiviados. El lixiviado se forma cuando el agua penetra en los desechos acumulados formando contaminantes. El objetivo de este trabajo fue aplicar un tratamiento químico, modificando pH, para eliminar la materia orgánica en la fracción gruesa y fracción soluble de lixiviados de RS, aplicando misma dosis de H_2O_2 al 9%. Experimentalmente, se realizaron dos pruebas A y B: 1) en A se trabajó con pH 8 proveniente de RS maduros, 2) en B se ajustó pH a 3. Los datos obtenidos en los experimentos se analizaron en MINITAB. Así, según el análisis, el porcentaje de remoción de SSV fue mejor en el método B con pH 3; FSSV (g/L) de 52% y FGSV de 38% correspondientes a la fracción gruesa de lixiviados.

***Palabras clave**:* lixiviado, sólidos suspendidos volátiles (SSV), pH, fracción gruesa.

Abstract

The increase in the human population is directly related to the high generation of urban solid waste (MSW), these are deposited in landfills (RS) increasing the production of leachate. Leachate is formed when water penetrates accumulated waste, forming contaminants. The objective of this work was to apply a chemical treatment, modifying pH, to eliminate organic matter in the coarse fraction and soluble fraction of RS leachate, applying the same dose of 9% H2O2. Experimentally, two tests A and B were carried out: 1) in A we worked with pH 8 from mature RS, 2) in B the pH was adjusted to 3. The data obtained in the experiments were analyzed in MINITAB. Thus, according to the analysis, the percentage of SSV removal was better in method B with pH 3; FSSV (g/L) of 52% and FGSV of 38% corresponding to the coarse fraction of leachate.

***Key words**: leachate, volatile suspended solids (VSS), pH, coarse fraction.*

Introducción

El depósito de residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios (RS), está directamente asociado a la formación de lixiviados, es decir, aguas residuales generadas generalmente por las sustancias disueltas en el agua que se filtran a través de la pila de residuos [1]. De acuerdo con la manera en que se construye y se desarrolla la vida de un relleno sanitario (RS), los materiales pueden estar sujetos a modificaciones físicas, químicas, y biológicas, las cuales pueden producir multitud de derivados tóxicos [2]. El lixiviado se forma cuando el agua penetra en los desechos acumulados formando contaminantes; compuestos orgánicos e inorgánicos, metales pesados, sólidos disueltos totales (SDT) y color. El lixiviado puede diferir según el procedimiento de degradación, el clima, las condiciones hidrológicas y la antigüedad del relleno sanitario. En función a su edad, los lixiviados de los rellenos sanitarios pueden dividirse en tres grupos; jóvenes, intermedio y viejos.

En RS jóvenes (fase ácida) se caracteriza por niveles bajos de pH, altas concentraciones de ácidos volátiles y materia orgánica. Los RS maduros (fase metanogénica), la producción de metano y el pH de los lixiviados son altos, y los materiales orgánicos presentes son principalmente fracciones húmicas y fúlvicas. El color es un contaminante común en los lixiviados de RS. La descomposición de ciertos compuestos orgánicos, como el ácido húmico (AH), puede hacer que el agua se vuelva de color amarillo a marrón oscuro [3,4]. Las sustancias y

partículas producen color y turbidez. Además, los sólidos disueltos totales (SDT) muestran la influencia integradora de ciertos cationes y aniones, como calcio, cloruros, magnesio, sodio, potasio y bicarbonatos, en los lixiviados/agua residual [5].
El peróxido de hidrógeno H_2O_2, conocido comúnmente como agua oxigenada, se encuentra en continuo crecimiento en los mercados relacionados con los usos ambientales y agrícolas. Su naturaleza líquida y miscibilidad acuosa le hacen un producto de amplias aplicaciones, ya que permite una dosificación fácil y precisa con baja inversión (bomba y depósito de almacenamiento); por otra parte su poder oxidante se hace realidad sin aportar elementos contaminantes o subproductos indeseables, ni aumenta la salinidad del agua. La oxidación química tiene por objeto la mineralización de los contaminantes a dióxido de carbono, agua y compuestos inorgánicos o, al menos, en su transformación en productos inocuos.

Aguilar *et al*., (2011) explican en su trabajo de investigación que la molécula del agua oxigenada es polar y está formada por 2 átomos de hidrógeno y 2 de oxígeno, pero tiene propiedades diferentes a la del agua, de hecho es un potente agente oxidante. Es relativamente estable a temperatura ambiente, pero se descompone con facilidad en oxígeno y agua por calentamiento y por exposición a la luz solar, por lo que debe conservarse en envases opacos.

$$H_2O_2\ (ac) \rightarrow H_2O\ (l) + ½\ O_2\ (g)$$

Esta reacción es además una reacción de desproporción redox en la que el oxígeno contenido en la molécula de peróxido de hidrógeno se oxida y se reduce al mismo tiempo. Un gran número de sustancias actúan como catalizadores de su descomposición, como iones “secuestradores “ de radicales hidroxilo (carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos y otros aniones inorgánicos), los metales de transición, especialmente el cobre, hierro y manganeso pueden catalizar la descomposición del peróxido formando radicales libres. Los compuestos alcalino térreos (magnesio y calcio) ayudan a evitar la descomposición del H_2O_2, estos compuestos pueden formar complejos con los metales de transición que son los que catalizan la descomposición del peróxido disminuyendo su actividad catalítica [6,7].

Revisión de Procesos Químicos Avanzados en lixiviados

En la actualidad se utilizan procesos químicos avanzados (PQA), y un ejemplo de ello es la aplicación del proceso Fenton a los lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Mérida. El relleno sanitario utiliza un material de cubierta denominada Sahcab, el cual posee elevadas concentraciones de carbonato de calcio, incrementando la dureza del líquido y el aporte de calcio a los lixiviados. Por otra parte, al aplanar el suelo durante la operación del relleno se reduce su porosidad y actúa como filtro dentro del relleno, por lo que el contenido de sólidos suspendidos es bajo. La caracterización del lixiviado en la ciudad de Mérida fue la siguiente: pH igual a 8.71; DQOt= 10008 mg/L; DQOs=9654 mg/L. En el proceso Fenton utilizaron un equipo de agitación múltiple, peróxido de hidrógeno de 200 y 800 mg/L y de hierro de 250 y 1000 mg/L, respectivamente. Ajustando el pH a 2, 3 y 4 con H_2SO_4. El mejor pH fue el de 4, utilizando una dosis de 600mg/L de H_2O_2 y 1000 mg/L de Fe^{2+}, Las mejores remociones de materia orgánica fueron de 72% de DQO y 68% de COT (carbón orgánico total) con un tiempo de contacto de 20 min [10]. Reportan eficiencia de remoción en la DQO del 60% al utilizar (pH igual a 3, H_2O_2= 10,000mg/L y Fe^{2+}=830 mg/L, tiempo de contacto 120 min)(lixiviado de Italia). Se obtuvieron eficiencias de remoción de DQO desde 61%, 49% y 38%, cuando los valores de la DQO iniciales fueron 1000, 2000 y 3000 mg/L, respectivamente (tiempo de contacto de 30 minutos, pH= 2.5, H_2O_2= 2550 mg/L y Fe^{2+}= 2792,35 mg/L). Además comprobaron que la adición del reactivo Fenton en etapas mejora la eficiencia de remoción, aunque aumenta la eficiencia en mayor proporción por etapas del H_2O_2 y Fe^{2+} que solamente la adición por etapas del H_2O_2. La temperatura tiene un efecto positivo sobre la degradación de compuestos orgánicos (lixiviados de Delaware USA). Han tratado el lixiviado del relleno sanitario de Hong Kong (15,700mg/l de DQO y 2260 mg/L de nitrógeno amoniacal) en UASB a 37.7^{0}C. El proceso removió el 90% de DQO en 6.6 días de TRH (tiempo de residencia hidráulico), a una carga orgánica de 2.27g de DQO/l*d. El efluente del UASB (*reactor* anaerobio de flujo ascendente) fue tratado con el reactivo Fenton y coagulación, bajo la condición óptima de 200mg/L de H_2O_2 y 300 mg/L de Fe^{2+} y un pH inicial de 6 se removió el 70% de la DQO residual, del cual el 50% fue removido por coagulación/precipitación y solamente el 14% por oxidación. Encontraron que el H_2O_2 y el Fe^{2+} tienen un efecto sinérgico sobre la coagulación [8]. El comportamiento de lixiviados del relleno sanitario de España. la aplicación de Fenton con dosis de 2000mg/l de Fe^{2+} y 5000 mg/l de H_2O_2 y pH igual a 3, obtuvo una reducción del 58% de DQO en un tiempo de contacto de 60 min, señala que al incrementar la dosis de peróxido de hidrógeno no logró mejorar el resultado anterior. También, trato al lixiviado por el proceso Fenton-like (empleo de otro metal como catalizador), trabajando con 1000 mg/L de Cu^{2+} y 15000 mg/L de H_2O_2, con este proceso logró alcanzar un 63% de eliminación de DQO con un tiempo de contacto de 60 min, un porcentaje superior al 58% conseguido en las

 ISSN: 2007 8102

mismas condiciones de operación empleando 2000 mg/L de Fe^{2+}y 5000 mg/L de H^2O^2 [6]. Otro trabajo, reporta que las condiciones óptimas para los procesos de oxidación Fenton fueron: H_2O_2 a Fe^{2+} relación molar de 3, dosis de Fe^{2+} de 4 mmol/L, pH inicial de 3 y un tiempo de reacción de 40 minutos bajo estas condiciones se obtuvo una eficiencia de remoción de 60.9% y 31.1%cuando la DQO fue de 93 y 743 mg/L, respectivamente. Notando que la presencia de compuestos recalcitrantes en la carga orgánica reduce significativamente la eficiencia de remoción en el proceso [13].

Metodología

El sistema para llevar a cabo el experimento a nivel laboratorio se muestra en la figura 1.

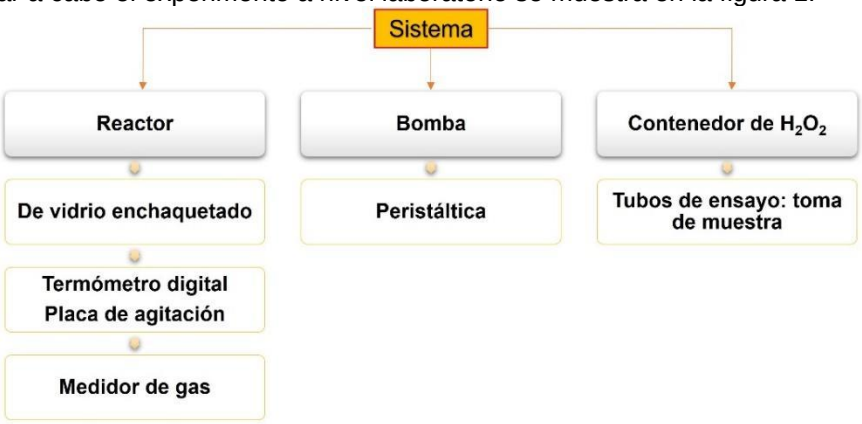


Figura 1. Esquema del sistema empleado en la oxidación de lixiviados

El reactor consistió en un recipiente de vidrio enchaquetado de 450 ml de capacidad, con cuatro entradas en la parte superior y una salida en la parte inferior; dos de las entradas se emplearon para la toma de muestra y la dosificación de reactivos. La tercera y cuarta entrada fueron usadas para medición de temperatura y salida del gas producido. Finalmente, la salida inferior fue utilizada para toma de muestras. Con el fin de mantener baja la temperatura del reactivo y evitar su calentamiento, y consecuente descomposición, se empleó como contenedor del peróxido de hidrógeno, un matraz Erlenmeyer de 250 ml, dentro de un vaso de precipitados con hielo, durante el tiempo que duró cada corrida experimental. La dosificación H_2O_2 se realizó mediante una bomba peristáltica modelo (7554-90) de 20-600 rpm. Utilizando manguera masterflex para inyectar el oxidante. En el reactor se colocó un agitador magnético para asegurar una mezcla homogénea en el medio de reacción. Se empleó un agitador Barnstead International (BI), modelo SP46925, con un intervalo de agitación comprendido entre 60 y 1600 rpm. La medición del pH se realizó con papel indicador universal (pH-Fix 0-14). Está unido químicamente a las fibras de celulosa, para evitar que el color destiñe incluso en soluciones fuertemente alcalinas.

Condiciones de experimento

Con la finalidad de probar si el pH afecta en la degradación de sólidos suspendidos volátiles (SSV), se prueban dos tratamientos con la misma dosis; H_2O_2 al 9% a pH3 y pH8. Codificando FGSV (fracción gruesa sólidos volátiles) y FSSV (fracción soluble sólidos volátiles), la letra A y B representan el pH, A =8 y B=3.

En primer lugar, se preparan soluciones: 1) solución de NaOH a 1M, 2) H_2O_2 al 9%. En seguida se colocan 350 mL de lixiviado en el reactor y se ajusta el pH a 3 con solución de NaOH. A continuación se conecta la agitación a 250 rpm e inicia la corrida experimental, alimentando la cantidad de peróxido de hidrógeno al 9%, durante 60 minutos. Se toman muestras de 20 mL en tubos de ensayo previamente refrigerados, se llevan a congelación para posteriores análisis. Es importante considerar mantener baja temperatura en el contenedor de H_2O_2, evitar que el reactivo se descompone antes de llegar al reactor.

 ISSN: 2007 8102

Determinación de sólidos

Determinación de sólidos y sus fracciones fijas y volátiles en muestras sólidas, semisólidas y líquidas. Aplicando la metodología de la NMX-AA-034-SCFI-2015, se analizan los sólidos suspendidos totales, fijos y volátiles de la fracción gruesa y fracción soluble de lixiviados.

Análisis Estadísticos

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza con prueba de comparación de Tukey con un intervalo de confianza del 95% utilizando Excel y MINITAB.

Resultados y discusión

Análisis de Varianza

En la tabla 1, se muestra el resultado del análisis de ANOVA. La hipótesis establecida para este análisis “Ha: El efecto del pH tiene efecto significativo en la degradación de materia orgánica en la fracción gruesa y fracción soluble, utilizando la misma dosis de H_2O_2 al 9%”. Según los resultados correspondientes al valor P= 0.000 es menor que el valor prefijado de α=0.05. Dado el criterio de rechazo anterior se acepta la hipótesis Ha.

Asimismo, se verifica que el efecto del pH ácido es significativo en la degradación de sólidos suspendidos volátiles (materia orgánica) en lixiviados. Zhang et al, (2005) comentan que a pH mayor a 4 se empieza a descomponer el peróxido y no aporta los radicales OH*. En el pH ácido se pueden presentar complejos de hierro que tienen carga positiva, neutralizando la carga negativa de materia orgánica y se genera un precipitado, favoreciendo a la remoción de esta.

Table 1. Análisis de varianza

Fuente	SC Sec.	GL	Contribución	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	203.091166	3	77.52%	67.6970554	27.58	0.000
Error	58.9007524	24	22.48%	2.45419802		
Total	261.991919	27	100%			

La tabla 2, muestra la efectividad promedio de la fracción gruesa y fracción soluble de lixiviados de 4.040 y 4.067, respectivamente a pH 8. En el caso de pH ácido la fracción gruesa y soluble fue de 10.21 y 8.35 correspondientemente**.** El tratamiento que es mejor es al que se le redujo pH a 3.

Tabla 2. Medias de las corridas experimentales.

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
FGSV(g/l) A	7	4.06	0.26776856	(2.838, 5.282)
FGSV (g/l) B	7	10.2190476	1.98009606	(8.997, 11.441)
FSSV (g/l) A	7	4.06714286	0.64053921	(2.845, 5.289)
FSSV (g/l) B	7	8.35238095	2.32680493	(7.130, 9.574)

Comparando el comportamiento de los tratamientos A y B (Figura 2), se encontró que en la fracción gruesa del experimento A, hay menor variabilidad con respecto a la remoción de SSV. Asimismo, la mayor remoción de materia orgánica fue en el experimento B con pH 3, aunque se observa mayor variabilidad que en el tratamiento A.

 ISSN: 2007 8102

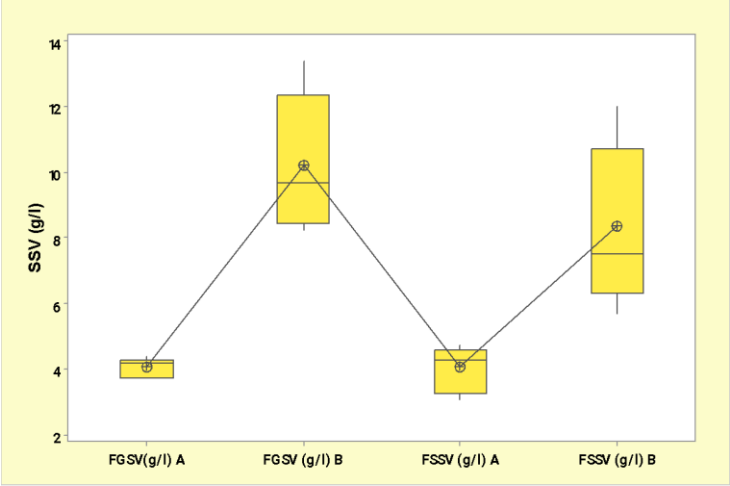


Figura 2. Gráfica de cajas de eliminación de SSV en lixiviados.

En la figura 3 se muestra la diferencia de medias que son iguales en el tratamiento de la fracción gruesa y soluble de lixiviados son FSSV A con FGSV A y FSSV B con FGSV B. Se comprueba que el pH ácido influye en la remoción de la materia orgánica en lixiviados, es decir, los SSV.

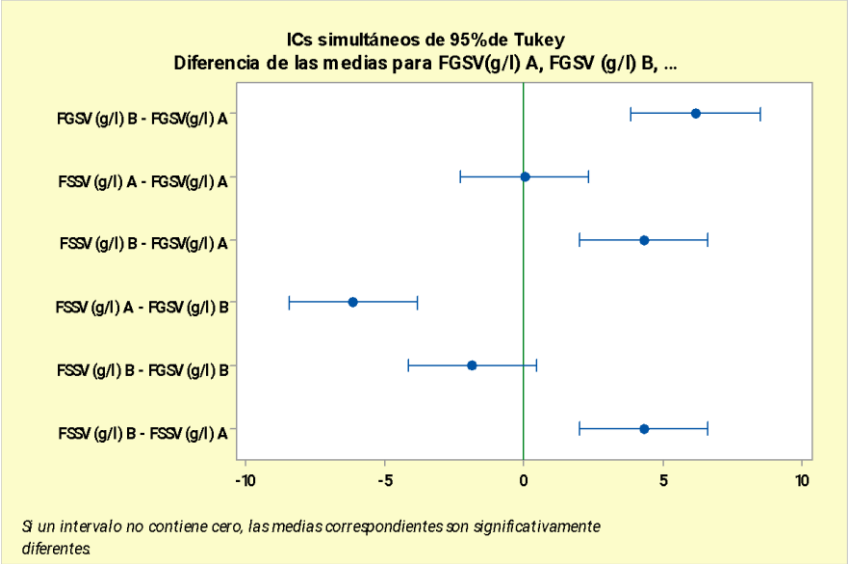


Figura 3. Comparación de medias Tukey.

En la figura 4 se puede visualizar que el porcentaje de degradación más alto se da en la fracción soluble FSSV de 52.29% y Fracción gruesa FGSV de 38.55% a pH 3. Comparada con FGSV de 14.87% y FSSV de 33.11% a pH 8.

 ISSN: 2007 8102

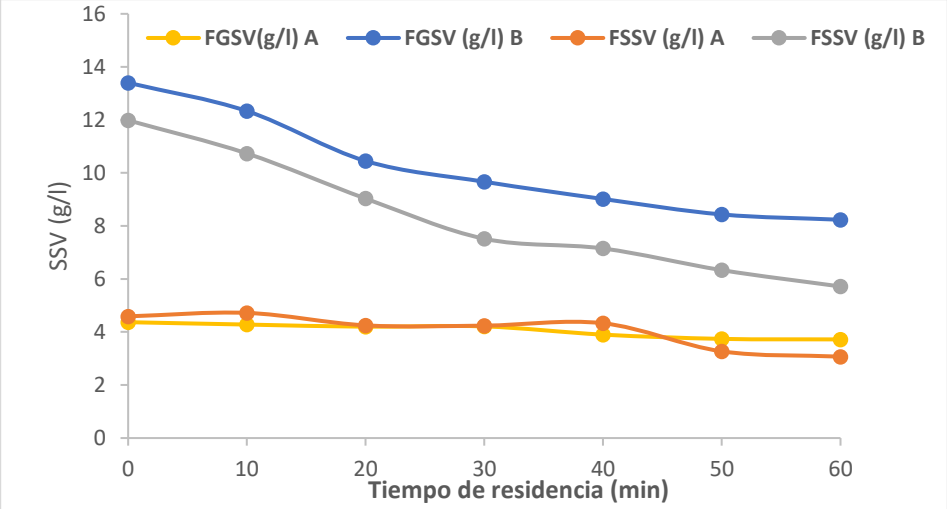


Figura 4. Comportamiento de la eliminación de SSV a pH 3 y 8.

Conclusiones

En base a las referencias bibliográficas y los resultados obtenidos, se comprueba que a pH bajos, ácidos, se obtiene mayor eliminación de materia orgánica SSV. A valores de pH altos, predominan complejos de más alto peso y la formación de estos complejos limitan el efecto del peróxido de hidrógeno. Por lo tanto, el tratamiento B con pH 3, presentó mejor remoción de sólidos suspendidos volátiles en la fracción gruesa y fracción soluble, pues, el pH ácido favorece a la remoción de esta. Por otra parte, en el tratamiento A con pH 8 presentó menor variabilidad en la remoción de SSV.

Agradecimientos

Se agradece al TecNM/Instituto Tecnológico de Puebla, laboratorio de Posgrado en Ingeniería por el apoyo a la realización de este trabajo.

Referencias

[1]. Justyna K.J and Lucasz J, “Influence of pH in AOP on Humic Compounds Removal from Municipal Landfill Leachate Concentrate after Reverse Osmosis”, Journals of Ecological Engineering, Vol. 20, no. 2, 161-168 (2019). DOI: https://doi.org/10.12911/22998993/97285

[2]. Tchobanologous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos.* Mc GRaw Hill.

[3]. Naveen B.P, Mahapatra D.M, Sitharam T.G, Silvapullaiah P.V, and Ramachandra T.V, “Phsico-chemical and biological characrerization of urban municipal landfill leachate”, ELSEVIER, Environmental Pollution, Vol. 220, pp. 1-12 (2017). DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.002

[4]. Mojiri. A, Zhou J. L., Rathaweera .H, Ohashi. A, Ozaki. N, Kindaichi. T, and Asakura .H, “Treatment of landfill leachate with different techniques: an overview”, Water Reuse. Vol. 11 (1): 66-96, 2021. https://doi.org/10.2166/wrd.2020.079

[5]. Aguila, Muñoz, M. L., & Durán, Torres, C. (2011). Química recreativa con agua oxigenda. *Revista Eureka sobre Enseñanza y divulgación de las Ciencias*, No. 8, pp. 446-453.

[6]. Primo, M. O. (2008). *Tratamiento de lixiviados de vertedero de RSU mediante procesos de oxidación avanzada: procesos Fenton y foto-Fenton.* (Tesis doctoral). Departamento de Ingeniería Química y Química Inorgánica. Universidad de Cantabria. España.

[7]. Kai Wang, Lusheng Li, Fengxum Tan, and Daoji Wu. "Treatment of Landfill Leachate Using Activated Sludge", Hindawi Archaea, vol. 2018, no. 10. https://doi.org/10.1155/2018/1039453

[8]. Zhang, H., CHoi, H. J., & Huang, C.-P. (2005). "Optimization of Fenton process for the treatment of landfill leachate". *Journal of Hazardous Materials, Vol. 125*, pp. 166-174. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2005.05.025

[9]. NMX-AA-034-SCFI-2015. Análisis de agua - medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba (CANCELA A LA NMX-AA-034-SCFI-2001).

[10]. Méndez Novelo R. I, and Garcia Reyez R. B, "Treating leachate by Fenton oxidation". Ingeniería e Investigación, Vol. 30, No. 1, pp. 80-85. 2010.

[11]. Lau, W. C, Wang P, and Fango, H. H. "Organic removal of anaerobically treated leachate by fenton coagulation". Journal of Envionmental Engineering, Vol. 127, No. 7.

[12]. Cortez, S., Texeira, P., Oliveira, R., and Mota, M, "Fenton´s Oxidation as Post-Treatment of a Mature Municipal Landfill Leachate". International Journal of Environmental Science and Engineering, Vol. 2, No. 1, pp. 40-43

 ISSN: 2007 8102

Diseño y simulación de un control tolerante a fallas en sensores de nivel para tanques en serie

A.M.A. Romero Pérez[12], M.A. Vaca Hernández[2], F. Caballero[1], B. García Rojas[1], G. Ramírez Dámaso[3],*
[1]División de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Av. Tecnológico s/n, Col. Valle de Anáhuac, Ecatepec de Morelos, Estado de México, 55210, México.
[2]Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza C.II, Batalla 5 de mayo s/n, Col. Ejército de Oriente, Iztapalapa, Ciudad de México, 09320, México.
[3]Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura "Unidad Ticomán" del Instituto Politécnico Nacional, Av. Ticomán 600, San José Ticomán, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, 07340, México.
*orcamx@comunidad.unam.mx

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

Los instrumentos de control son propensos a la aparición de alguna falla debido a una incorrecta instalación, o bien, por el desgaste de éstos. Un sistema de control tolerante a fallas (CTF) permite continuar con un proceso estable, o incluso controlable, a pesar de la existencia de fallas en los instrumentos. El presente trabajo diseña y simula un CTF activo en sensores de nivel para un sistema de tanques a partir de un observador de entradas desconocidas (UIO) robusto con enfoque descriptor para la detección, aislamiento y estimación de las magnitudes de las fallas, para enmascarar las señales de los medidores, sin modificar la ley de control empleada en el proceso y controlarlo al valor de altura deseado, a pesar de las diferentes dinámicas de fallas abruptas estudiadas.

***Palabras clave**: Control, Tolerante, Falla, Sensor.*

Abstract

The control instruments are prone to the appearance of some failure due to incorrect installation or to their wear. A Fault Tolerant Control (FTC) system allows a stable, or even controllable, process to continue despite the existence of instrument failures. This work designs and simulates an active CTF in level sensors for a tank system based on a robust unknown input observer (UIO) with a descriptor approach for the detection, isolation, and estimation of the fault magnitudes, to mask the faults, without modifying the control law used in the process and controlling it to the desired height value, despite the different abrupt failure dynamics studied.

***Key words**: Control, Tolerant, Fault, Sensor.*

Introducción

En la teoría clásica de control, se asume que todos los componentes trabajan con propiedad. Sin embargo, la experiencia nos ha enseñado que esta suposición no se garantiza todo el tiempo, y en ocasiones, los componentes del sistema pueden enfrentar algunas fallas en sus tareas [1]. Por tal razón, implementar un sistema que capaz de mantener el proceso controlable, o degradado pero estabilizado es el objetivo de la teoría del CTF.

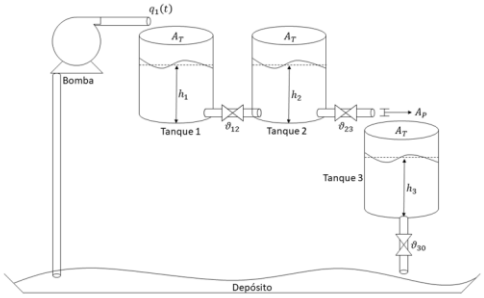
Los sistemas de CTF se clasifican en dos categorías: activo (CTFA) y pasivo (CTFP). El CTFA consiste en un sistema diagnóstico de fallas (SDF), un mecanismo de reconfiguración y un módulo de control. Dependiendo del diseño del SDF, a partir de observadores de estados o inteligencia artificial, éste puede detectar, aislar y estimar las fallas en sensores o actuadores; el modo activo del CTF permite que el SDF envíe la información de los instrumentos del proceso en tiempo real, por lo que la reconfiguración del control establecido también se realiza activamente. El CTFA tiene la capacidad de lidiar con muchos tipos de fallas y da como resultado un rendimiento óptimo, sin embargo, es sensible al resultado obtenido del SDF, el cual puede proporcionar una decisión equivocada debido al excesivo ruido presente en las señales. Así mismo, el diseño se vuelve más complicado para sistemas no lineales y con incertidumbres [2]. El presente trabajo aborda un CTF en sensores de nivel, debido a que es uno de los parámetros más frecuentes a controlar en las industrias químicas, y cuyas anomalías encaminan a provocar disminución en la calidad de los productos, derrames, y otro tipo de accidentes.

 ISSN: 2007 8102

Metodología

Sistema de tanques de estudio

El sistema de tanques en serie a estudiar se retoma del trabajo de Romero et al. [3]. Como se muestra en la Figura 1, los tanques 1 y 2 tienen interacción; y el tanque 3 no tiene interacción. Se considera que cada tanque cuenta con un sensor de nivel y la entrada, o actuador, es una bomba que alimenta al tanque 1.



Parámetro	Magnitud
$A_T\ [cm^2]$	314.1593
$A_P\ [cm^2]$	0.3848
$g\ [cm/min^2]$	3531600
$q_1\ [cm^3/min]$	1500
ϑ_{12} [1]	0.55
ϑ_{23} [1]	0.58
ϑ_{30} [1]	0.45

Figura 1. Sistema de tanques en serie [3].

Cuyo sistema de ecuaciones dinámico con respecto a las alturas, vienen representadas por las ecuaciones 1, 2 y 3, las cuales se simulan para asemejar el comportamiento que tendría la operación real en cada uno de los tanques y así, añadir las señales de medición y control.

$$A_T \frac{dh_1}{dt} = q_1(t) - \vartheta_{12} A_P sign[h_1(t) - h_2(t)]\sqrt{2g|h_1(t) - h_2(t)|} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$A_T \frac{dh_2}{dt} = \vartheta_{12} A_P sign[h_1(t) - h_2(t)]\sqrt{2g|h_1(t) - h_2(t)|} - \vartheta_{23} A_P \sqrt{2gh_2(t)} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

$$A_T \frac{dh_3}{dt} = \vartheta_{23} A_P \sqrt{2gh_2(t)} - \vartheta_{30} A_P \sqrt{2gh_3(t)} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde A_T es el área transversal de los tanques cilíndricos, h la altura, q el flujo volumétrico proveniente de la bomba de alimentación, ϑ_{mn} el coeficiente de descarga de la válvula del tanque m al tanque n, A_P el área transversal de la tubería, g la gravedad, y la función $sign$ se emplea para identificar el signo su argumento.

Diseño del observador de fallas

El SDF se diseña a partir de un UIO robusto mediante el enfoque descriptor (UIOED), debido a que sin este último el observador no es capaz de estimar la magnitud de falla presente en el sensor. Cabe destacar que este módulo de diagnóstico considera que todos los sensores siguen enviando información (aún con falla), es decir, nunca se apagan. Partiendo del modelo de espacio de estados expresado por las ecuaciones 4 y 5 donde $\bar{x}$ es el vector de estados (alturas de los tanques), $\dot{\bar{x}}$ la dinámica de los estados, y el vector de salida (variables medidas), u el vector de entrada (actuadores), f el vector de fallas, $\bar{A}$ es una matriz de ganancias constantes para los estados, $\bar{B}$ una matriz de activación de los actuadores, $\bar{C}$ una matriz de activación de los sensores, y $\bar{D}$ una matriz de aparición de fallas.

$$\dot{\bar{x}} = \bar{A}\bar{x} + \bar{B}u \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$$y = \bar{C}\bar{x} + \bar{D}f \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Las ecuaciones 6 y 7 modifican el espacio de estados bajo un enfoque descriptor cuyos elementos matriciales representativos se expresan en la Tabla 1, y donde el vector d_s es el factor que involucra a las magnitudes de las fallas.

$$E\dot{x} = Ax + Bu + Dd_s \quad \text{(Ecuación 6)}$$

$$y = Cx \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Tabla 1. Matrices del modelo UIOED [4].

x	E	A	B	C	D
$\begin{bmatrix}\bar{x}\\ d_s\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}\bar{E} & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}\bar{A} & 0\\ 0 & -I_P\end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix}\bar{B}\\ 0\end{bmatrix}$	$[\bar{C} \quad I_P]$	$\begin{bmatrix}0\\ I_P\end{bmatrix}$

 ISSN: 2007 8102

El UIOED se establece con las ecuaciones 8 y 9, donde las matrices N, H_1, H_2 y K_U son las ganancias por calcular del observador, cuyos elementos buscan minimizar el error de estimación de la ecuación 10.

$$\dot{z} = Nz + H_1 Bu + K_U y \quad \text{(Ecuación 8)}$$
$$\hat{x} = z + H_2 y \quad \text{(Ecuación 9)}$$
$$e = x - \hat{x} \quad \text{(Ecuación 10)}$$

Mediante el método de Lyapunov se busca satisfacer que el error del observador tienda a cero (sea mínimo), por lo que a partir de un esquema robusto tipo $\mathcal{H}_\infty$como lo desarrollado por Bougatef et al. [4] o por Kucukdemiral y Yazici [5], se llegan a tres desigualdades matriciales lineales (LMI) primordiales que se deben satisfacer simultáneamente. En la Desigualdad 1 P es una matriz incógnita que debe ser simétrica y definida positiva; en la Desigualdad 2 He expresa una función hermitiana, Q son las matrices PK que al ser ambas incógnitas provocaría una desigualdad no lineal; y β un escalar de corrección que debe satisfacer la Desigualdad 3.

$$P = P^T > 0 \quad \text{(Desigualdad 1)}$$
$$\begin{bmatrix} He(PH_1\bar{A} - Q\bar{C}) & PH_1\bar{D} & C^T \\ \bar{D}^T H_1^T P & -\bar{\beta} I & 0 \\ C & 0 & -I \end{bmatrix} \quad \text{(Desigualdad 2)}$$
$$\beta > 0 \quad \text{(Desigualdad 3)}$$

Dado que la solución de este sistema de LMI es iterativo, se recomienda emplear algún software como *Yalmip* incorporado a *MATLAB*, para obtener las matrices incógnitas del observador.

Diseño del control tolerante a fallas

La naturaleza del sistema de tanques provoca que al controlar la altura del tanque 1, el nivel del líquido de los tanques restantes sea indirectamente también manipulado, así mismo, el único actuador con el que cuenta el proceso es el correspondiente al flujo de alimentación al primer tanque, por lo que el control es enfocado únicamente a esta variable.

Para configurar el sistema de control se manipulan las ecuaciones dinámicas de los estados para trabajar con sus respectivas funciones de transferencia, y así mediante una prueba de estabilidad Routh-Hürwitz obtener el valor de ganancia del control mínimo, para garantizar la estabilidad del proceso.

En este trabajo, se realiza un análisis de sensibilidad de parámetros, para observar el comportamiento que presenta el CTF simulado, considerando fallas de tipo abruptas, o funciones escalón, las cuales como su nombre lo indica, son de rápida aparición y, por tanto, el observador diseñado debe tener la misma velocidad de estimación para considerarse funcional. Así mismo, también se debe garantizar que la dinámica del control no exceda los límites físicos de los tanques, los cuales son de $20\ [cm]$ de altura cada uno.

Finalmente, las simulaciones de falla también consideran la presencia de ruido en las mediciones para estudiar nuevamente el funcionamiento tanto del SDF como del control tolerante, estableciendo umbrales límites para la consideración de la detección de las fallas adicionadas.

Resultados y discusión

Simulación del sistema de tanques y sensores de nivel

A partir de la herramienta de *Simulink* de *MATLAB* se configuró el sistema de tanques previamente descritos por las ecuaciones 1, 2 y 3, alimentando los parámetros de diseño y proceso integrados en la Figura 1. La Figura 2 muestra la simulación de la altura para cada uno de los tres tanques, alcanzando el estado estacionario, reportado en la parte inferior izquierda de la Figura 3, aproximadamente a los $40\ [min]$ iniciado la operación.

 ISSN: 2007 8102

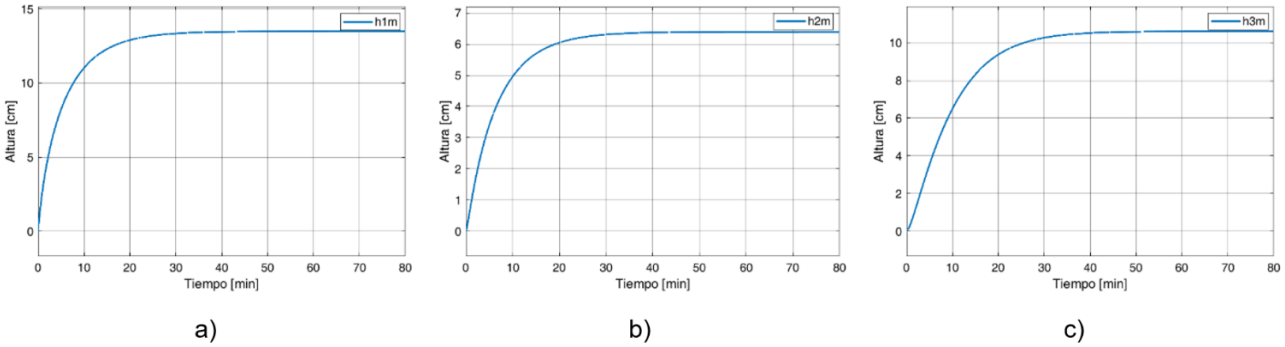


Figura 2. Dinámica de la altura del a) tanque 1, b) tanque 2 y c) tanque 3.

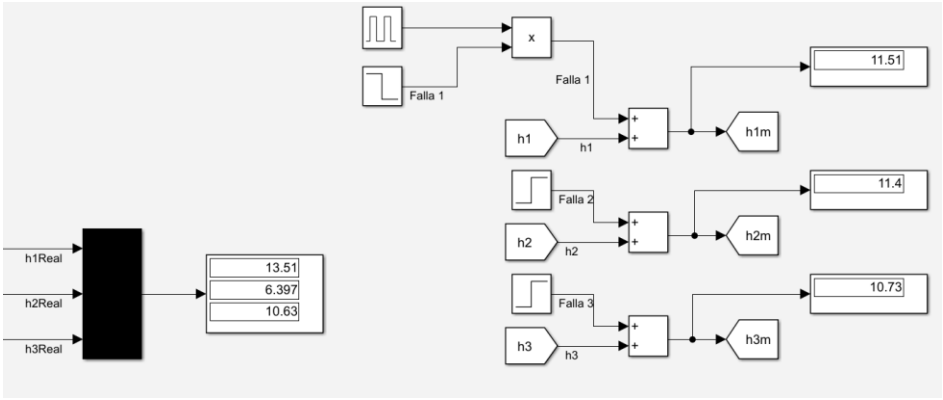


Figura 3. Simulación del sistema de tanques y sensores con fallas abruptas.

A parir de los 80 $[min]$ se adicionaron las fallas abruptas en cada uno de los sensores de nivel con las siguientes características: sensor 1, intermitente con amplitud de -2 $[cm]$; sensor 2, con 5 $[cm]$ de magnitud; y sensor 3, con 1 $[mm]$ de magnitud para verificar si el SDF es capaz de detectar y estimar fallas muy pequeñas. Los bloques que representan a los medidores con falla se encuentran integrados en la parte derecha de Figura 3.

Parámetros y simulación del SDF

Mediante el solucionador *SeDuMi* integrado a *MATLAB* se obtienen los resultados de las matrices $P, Q, \bar{\beta}$ y K_U reportados en la Tabla 2, que dan solución al conjunto de ecuaciones y desigualdades del UIOED.

Tabla 1. Matrices del modelo UIOED [3].

P	$\begin{bmatrix} 3.6607 & 0.7039 & -0.0704 & -0.6660 & -0.7038 & 0.0704 \\ 0.7039 & 3.1583 & 0.3654 & -0.7038 & -0.1637 & -0.3654 \\ -0.7039 & 0.3654 & 3.2704 & 0.0704 & -0.3654 & -0.2759 \\ -0.6660 & -0.7038 & 0.0704 & 3.6605 & 0.7036 & -0.0704 \\ -0.7038 & -0.1637 & -0.3654 & 0.7036 & 3.1581 & 0.3654 \\ 0.0704 & -0.3654 & -0.2759 & -0.0704 & 0.3654 & 3.2704 \end{bmatrix}$
Q	$\begin{bmatrix} 0.7571 & 0.4019 & 0.0316 \\ 0.1203 & 0.4420 & -0.1642 \\ 0.1305 & 0.4613 & 0.8486 \\ 1.7369 & 0 & 0 \\ -0.5223 & 2.0520 & 0 \\ 0.1621 & -0.2971 & 1.6454 \end{bmatrix}$
$\bar{\beta}$	1.7305
K_U	$\begin{bmatrix} 0.2486 & 0.2350 & 0.0053 \\ 0.1007 & 0.0619 & -0.2740 \\ -0.0053 & 0.2141 & 0.3041 \\ 0.5842 & -0.1007 & 0.0053 \\ -0.2349 & 0.7709 & -0.0274 \\ 0.0053 & -0.1592 & 0.5288 \end{bmatrix}$

 ISSN: 2007 8102

Las matrices del UIOED se alimentó con estos elementos para su simulación, arrojando como resultado el comportamiento de la Figura 4, la cual muestra en su parte inferior derecha, la estimación de la magnitud de cada una de las fallas que realiza el observador; y en las gráficas con línea azul la simulación de las fallas abruptas, y con líneas rojas punteadas la estimación de falla.

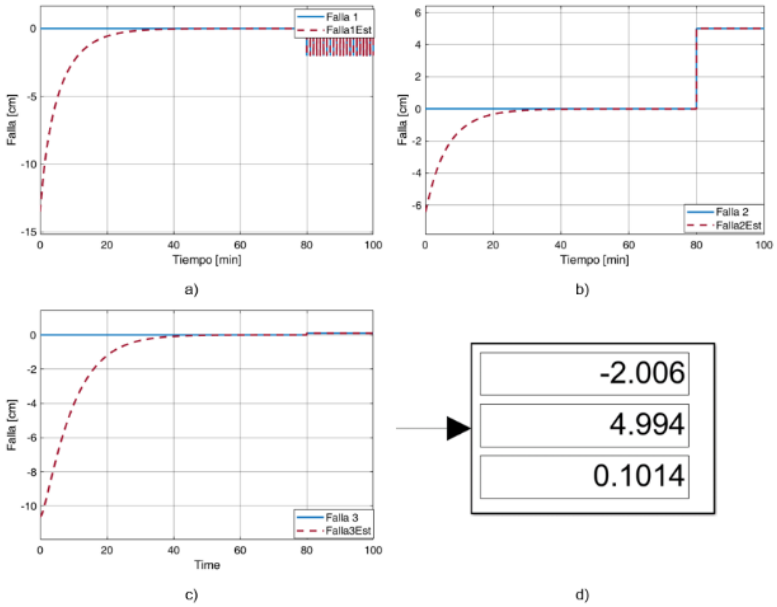


Figura 4. Dinámica de la falla abrupta del sensor para el tanque a) 1, b) 2, y c) 3.

Todas las fallas, incluyendo la respectiva a $1\ [mm]$ de magnitud, son correctamente estimadas. La región que comprende de $0\ [min]$ a $40\ [min]$ en donde el observador no ha logrado converger se debe al rango de tiempo que le toma a la operación llegar al estado estacionario, por lo que se considera que el SDF estima con una velocidad adecuada las fallas más problemáticas que son las abruptas. Sin embargo, para el caso de mediciones con falla y presencia de ruido visualizadas en la Figura 5, si bien la estimación es correcta, la detección de falla para el caso del sensor 3 de $1\ [mm]$ se complica debido a que la falla se oculta dentro del mismo ruido, por lo que en esta situación se concluye que, para fallas de muy baja magnitud, el SDF no es capaz de detectar, aislar ni estimar correctamente.

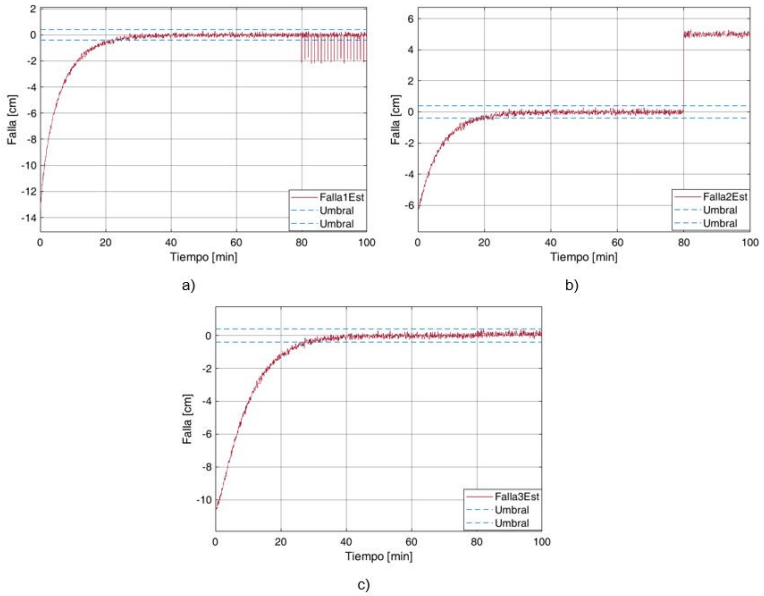


Figura 5. Dinámica de la falla abrupta del sensor con ruido para el tanque a) 1, b) 2, y c) 3.

 ISSN: 2007 8102

Simulación del CTF.

La estructura del CTF se construye como en la Figura 6, en donde la región gris involucra al sistema "real" de tres tanques (lado izquierdo) y el sistema de sensores (lado derecho); la región azul es el sistema diagnóstico; y la región color crema el sistema de control.

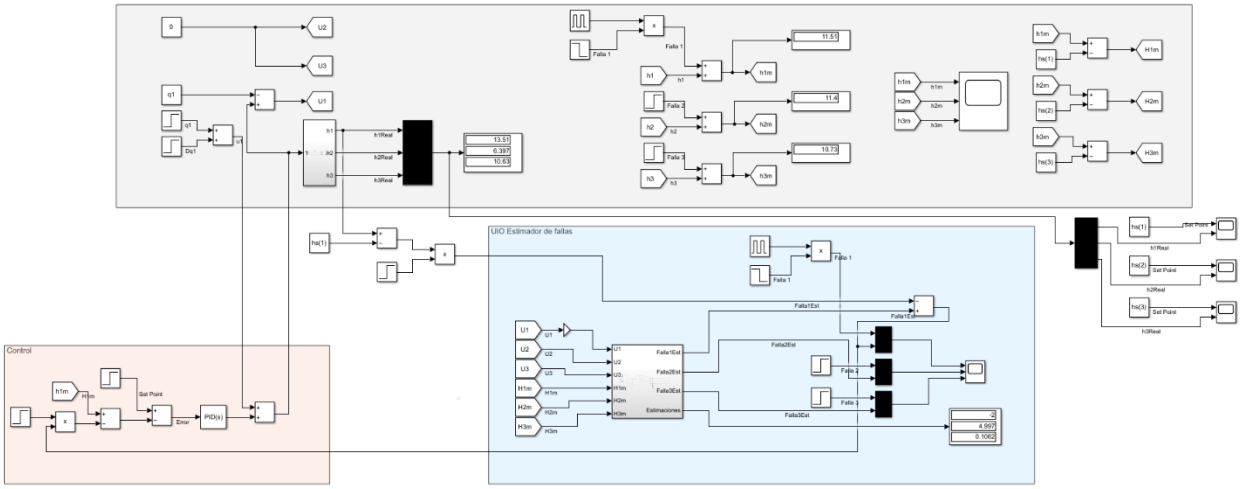


Figura 6. Estructura del control tolerante de estudio.

El CTF compensa la lectura del sensor con la estimación de falla que realiza de éste, por lo que el lazo de control no sufre ninguna modificación de su diseño nominal libre de fallas.

Las funciones de transferencia que se obtuvieron de las alturas de cada uno de los tanques se reportan en las ecuaciones11, 12 y 13, cuyas ecuaciones características junto con una ganancia k_c que involucra al actuador de dinámica rápida y el control, se analizaron, calculando un valor de ganancia de control $k_c > 0$ para la estabilidad del proceso.

$$\frac{\mathcal{H}_1(s)}{Q_1(s)} = \frac{s^2+1.0447s+0.2380}{s^3+1.3804s^2+0.7014s+0.1177} \quad \text{(Ecuación 11)}$$

$$\frac{\mathcal{H}_2(s)}{Q_1(s)} = \frac{0.3377s^2+0.3528s+0.0804}{s^4+2.0894s^2+1.6801s^2+0.6150+0.0834} \quad \text{(Ecuación 12)}$$

$$\frac{\mathcal{H}_3(s)}{Q_1(s)} = \frac{0.1261s^2+0.1317s+0.0300}{s^5+2.3141s^4+2.1496s^2+0.9925s^2+0.2216+0.0187} \quad \text{(Ecuación 13)}$$

Donde $\mathcal{H}$ y Q son las alturas y flujos en términos de desviación. La Figura 7 reporta las simulaciones de la operación del a) tanque 1, c) tanque 2, y e) tanque 3; junto con el error u *Offset* de la variable controlada con el valor deseado o *Set point* para los tanques b) 1, d) 2, y f) 3; considerando una perturbación en el flujo de alimentación de $500\ [cm^3/min]$ a los $100\ [min]$, seleccionando una ganancia $k_c = 1$. Las curvas rojas representan las mediciones con fallas de las alturas y las curvas azules las alturas "reales" de los tanques. La altura por cuidar es la correspondiente al tanque 1, ya que con este valor de ganancia se está muy próximo a la altura máxima de diseño de $20\ [cm]$.

Cabe aclarar que el error presente se debe al empleo de un control básico Proporcional (P) y no a las fallas presentes en los sensores, por tal motivo, se adiciona la acción Integral (I) con un valor de $\tau_I = 1$ para eliminar este error.

Con esta modificación el *Offset* se elimina en el sistema, como se aprecia en la Figura 8, no obstante, la altura del tanque 1 excede a la de diseño, aproximadamente a los $120\ [min]$, lo que provocaría un derrame, por lo tanto, se deben seleccionar parámetros de control k_c y τ_I tales que reduzcan el sobretiro del tanque 1 tal que no rebase el umbral de los $20\ [cm]$.

 ISSN: 2007 8102

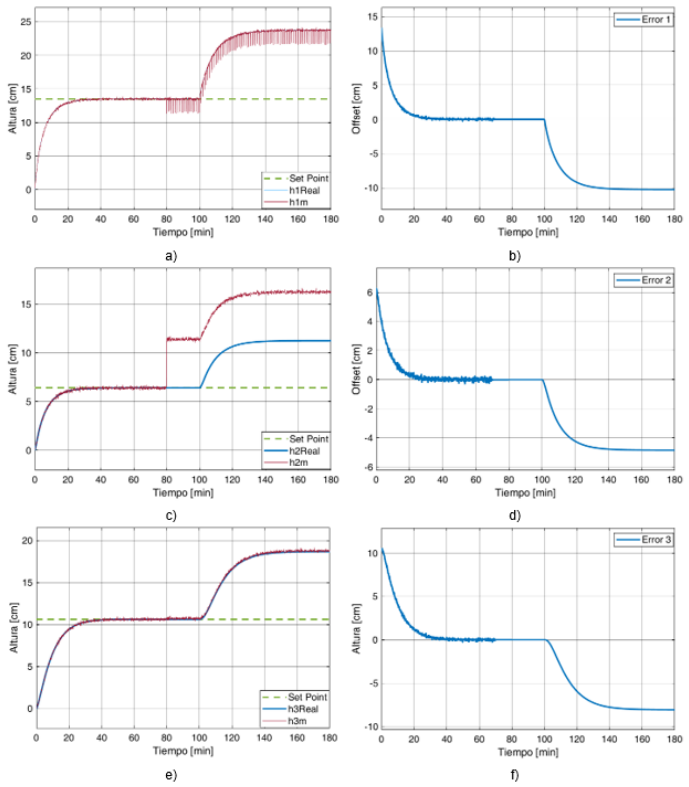


Figura 7. Comportamiento del control P con $K_c = 1$ de alturas para los tanques a)1, b)2 y c)3 junto sus respectivos *Offsets*.

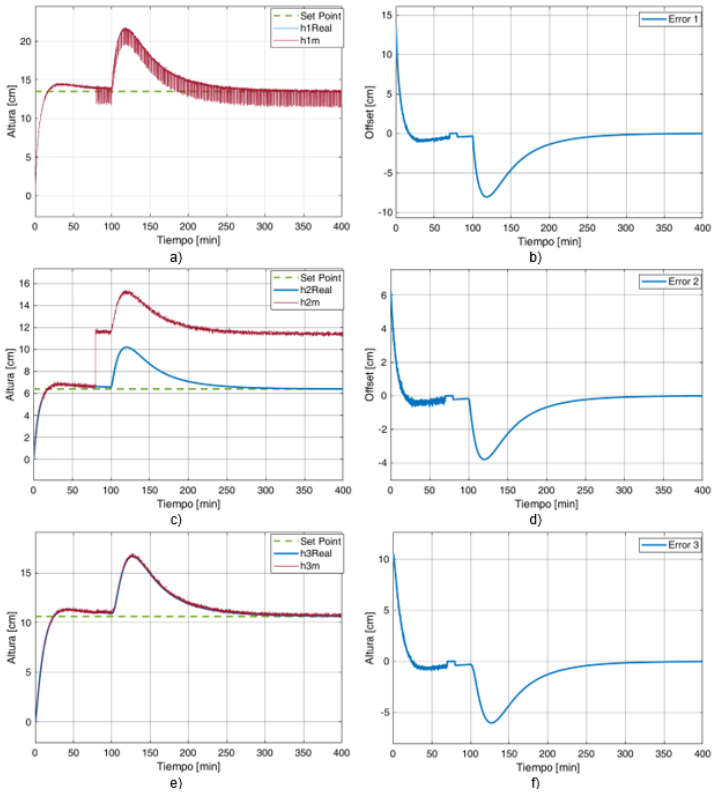


Figura 8. Comportamiento del control PI con $k_c = 1$ y $\tau_I = 1$ de alturas para los tanques a)1, c)2 y e)3 junto sus respectivos *Offsets*.

 ISSN: 2007 8102

Finalmente, se establecieron los valores $k_c = 100$ y $\tau_I = 4$ y duplicando la desviación del flujo de alimentación a $1000\ [cm^3/min]$ obteniendo la dinámica de la Figura 9.

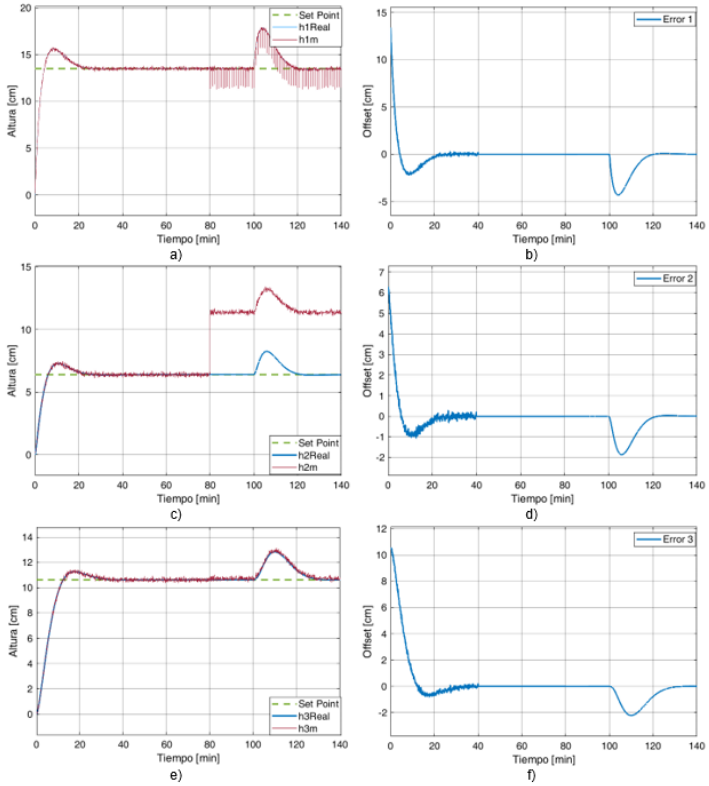


Figura 9. Comportamiento del control PI con $k_c = 100$ y $\tau_I = 4$ de alturas para los tanques a)1, c)2 y e)3 junto sus respectivos *Offsets*.

Recordando que, por la naturaleza del sistema, la altura del tanque 1 es la variable crítica por controlar, la cual bajo los parámetros de operación y control establecidos de $k_c = 100, \tau_I = 4$ y $Q_1 = 1000$, no excede los $20\ [cm]$ de diseño.

El comportamiento de los resultados anteriores puede compararse con los reportados en [6], cuyo estudio parte de un sistema de tres tanques en serie construido todos con interacción, donde se provocan fallas de tipo abruptas en los sensores de nivel (Figura 10a), se estima la magnitud de falla (Figura 10b) y ajustan la lectura con falla para el CTF (Figura 10c).

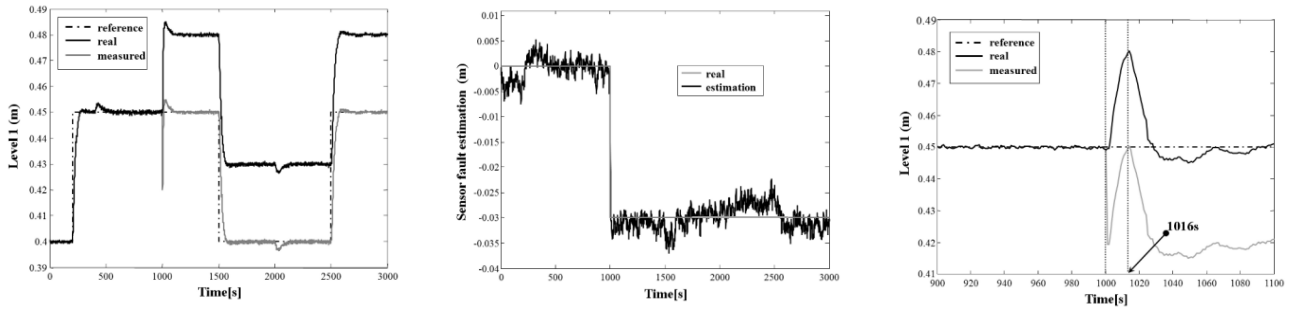


Figura 10. Comportamiento de un CTF en un sistema de tres tanques en serie con interacción donde a) se provoca una falla abrupta en un sensor de nivel, b) se estima la magnitud de falla y c) se ajusta la medición del nivel para controlar de manera activa el proceso. [6]

 ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

Actualmente se encuentra en fase de instrumentación el sistema de tanques propuesto, para la adquisición y comparación de datos experimentales con los reportados en el presente trabajo. Este sistema se pretende canalizar a la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza para su uso en prácticas de *Dinámica y Control de Procesos*; y *Laboratorio y Taller de Proyectos* del octavo semestre.

Así mismo, el estudio se modificará para que la variable de control no sea el flujo de alimentación proporcionada por la bomba, sino que sean los porcentajes de apertura de válvulas de control eléctricas o neumáticas que se desean adquirir, lo que propiciará la adecuación de los modelos matemáticos para desacoplar las variables de entrada con los estados del sistema.

Conclusiones

A partir del sistema de tanques propuesto fue posible la implementación de un SDF capaz de detectar, aislar y estimar la magnitud de falla abrupta en un caso ideal, es decir, libre de ruido; con presencia de éste, el diagnóstico se dificulta para las situaciones de fallas de magnitudes muy pequeñas.

A partir del diagnóstico, dado que se pueden estimar las magnitudes de fallas de forma adecuada, el CTF únicamente compensa las señales proporcionadas por los sensores con la información del SDF para ajustar y controlar las variables de salida del proceso, las cuales no deben exceder al valor de diseño de $20\ [cm]$.
Se estableció que para una desviación en el flujo de alimentación de $1000\ [cm^3/min]$ y parámetros de un control PI de $k_c = 100$ y $\tau_I = 4$ el comportamiento del sistema de tanques es el esperado.

Los valores anteriores se obtuvieron a partir de un estudio de sensibilidad de parámetros, por lo que, si se desea alcanzar un valor en específico de sobretiro, se debe establecer una metodología diferente que involucre la optimización en los parámetros de control enfocado al sobretiro y en el tiempo de convergencia al *Set Point.*

Finalmente se reconoce que la simulación únicamente ofrece un primer paso para el diseño y comprensión del sistema de control deseado, por lo que debe robustecerse con información experimental para su posterior ajuste de diseño.

Agradecimientos

Los autores agradecen los apoyos proporcionados por el Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) 2021BPC1-M0272 y 2022BPC1-M0548, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) 1195741 y al Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME) “Integración de tópicos para control tolerante a fallas en la actualización del programa de dinámica y control de procesos de Ingeniería Química” PE112423.

Referencias

[1] A. Abbaspour, S. Mokhtari, A. Sargolzaei and K. K. Yen, "A Survey on Active Fault-Tolerant Control Systems," *Electronics,* vol. 9, no. 9, 1513, 2020.

[2] A. A. Amin and K. M. Hasan, "A review of Fault Tolerant Control Systems: Advancements and applications," *Measurement,* vol. 143, pp. 58-68, 2019.

[3] A. M. A. Romero, F. Caballero, A. Varela, N. Jardón, B. E. García, A. Díaz y M. A. Vaca, "Diseño y simulación de un sistema diagnóstico para la estimación de fallas en sensores de nivel para un sistema de tnaques en serie," *Avances en Ingeniería Química,* vol. 2, no. 1, pp. PRO-183-PRO-187, 2023.

[4] Z. Bougatef, N. Abdelkrim, A. Aitouche and M. N. Abdelkrim, "UIO Design and Sensor Fault Diagnosis of LPV Systems with Time Delay Using Descriptor Approach," *2018 15th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, pp. 146-150, 2018.

[5] I. Kucukdemiral and H. Yazici, "Robust gain-scheduling $\mathcal{H}_\infty$ control of uncertain continuous-time systems having magnitude- and rate-bounded actuators: An application of full block S-procedure," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 358, no. 16, pp. 8226-8249, 2021.

[6] H. Noura, D. Theilliol, J.C. Ponsart and A. Chamseddine, *Fault-tolerant Control Systems*. London: Springer, 2009.

 ISSN: 2007 8102

Activación fisicoquímica de cenizas producidas en ingenios azucareros para su conversión a carbón activado

J. Villalobos Ramírez[1], A. Osorio Mirón[1], Á. I. Licona Aguilar[2], L. M. Reyes Grajales[1], A. A. Morales Tapia[1]*
[1]Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas, C.P. 94340. Orizaba, Veracruz, México.
[2]Departamento de Ingeniería Bioquímica TecNM/IT C.P. 38010. Celaya, Guanajuato, México.
**jonathanvrc17@gmail.com*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

Sectores industriales específicamente en la producción de azúcar y la industria alcoholera, son de las principales actividades económicas en el estado de Veracruz; los cuales generan grandes cantidades de biomasa que en su mayoría no son aprovechadas. Estos residuos agroindustriales pueden ser tratados químicamente para otorgarles un valor agregado. El presente trabajo tiene como objetivo el aprovechamiento de la ceniza producida en la quema de bagazo de caña de azúcar, para su conversión a materiales adsorbentes como es el "carbono activado". Para su conversión, el material es sometido a una activación fisicoquímica, mediante agentes químicos y altas temperaturas de calcinación. Se reporta la modificación química con los siguientes agentes: hidróxido de sodio 5M (NaOH) y ácido fosfórico (H_3PO_4) con una concentración al 85% peso, aplicando altas temperaturas de 500 °C. Mediante distintas técnicas fue posible obtener la caracterización de cada grupo de ceniza modificada.

***Palabras clave**: Adsorbente, carbono activado, cenizas, modificación química.*

Abstract

Industrial sectors specifically sugar production and alcohol industry are the main economic activities in the Veracruz state; which generate biomass large amounts, that are mostly not used such. These agro-industrial wastes can be chemically trated to give them added value. The present work has as objective the ash use pruduced in the sugarcane bagasse burning for its transformation to adsorbent materials as "activated carbon". For its conversion, the material was subjected to physical – chemical activation through chemical agents and high calcination tempertures. Chemical modification with following chemical agents is reported: Sodium hydroxide 5 M (NaOH) and Phosphoric acid (H_3PO_4) 85 wt%; applying high temperaturas at 500 °C. Through different techniques it was possible to obtain the characterization of each group of modified ash.

***Key words**: Adsorbent, activated carbon, ashes, chemical modification.*

Introducción

El estado de Veracruz es uno de los productores de azúcar más importante nacionalmente [1]; registrando un promedio de caña molida en todos los ingenios del estado durante la zafra 2021-2022 de aproximadamente 21 millones de toneladas de caña; generando una cantidad considerable de bagazo, biomasa residual que resulta de la molienda de la caña de azúcar, que es actualmente usada en las calderas para la generación de energía eléctrica. Durante la calcinación de la biomasa se originan cenizas residuales que por acción de las corrientes de viento son distribuidas al entorno. Desafortunadamente, si no se tiene una disposición final adecuada de este residuo, puede generar efectos negativos para el ambiente provocando contaminación del agua y aire; así mismo para la salud humana generando enfermedades respiratorias debido principalmente al contenido de óxido de silicio o sílice.

Respecto a las cantidades generadas, se estima que por cada tonelada de caña de azúcar procesada dentro del ingenio se generan 270 kg de bagazo, mientras que por cada tonelada de bagazo carbonizado en la caldera se obtiene 25 kg de ceniza residual [2]. Investigaciones recientes muestran que es posible el uso de las cenizas residuales para el aprovechamiento potencial de su composición química y estructural [3] específicamente para aplicaciones en tratamiento de agua contaminada [4]. El proceso de adsorción con el uso de residuos agroindustriales, es uno de los procesos más efectivos en el tratamiento de remoción de contaminantes. Para

 ISSN: 2007 8102

llevar a cabo el aprovechamiento potencial de los residuos en aplicaciones de remediación ambiental, es importante la modificación química de su estructura, con el objetivo de adicionar componentes como grupos oxigenados que puede ser alcoholes, fenoles, esteres, ácidos carboxílicos, etc., considerados como sitios activos en el proceso de adsorción. Se emplean diversos agentes químicos tales como KOH, K_2CO_3, $ZnCl_2$, NaOH, H_3PO_4, etc., para la adición de grupos funcionales. Además, la modificación química del material genera diferentes propiedades como alta área superficial, desarrollo en la porosidad con la generación de micro y meso poros, estabilidad térmica, que favorecen la capacidad de adsorción [5]. El presente trabajo tiene como objetivo la modificación química de las cenizas residuales del ingenio azucarero, para su conversión a materiales adsorbentes para futuras aplicaciones en el tratamiento de agua residuales en la industria alcoholera.
Para la modificación de las cenizas residuales se llevó a cabo una activación química empleando dos agentes activantes, Hidróxido de sodio (NaOH) y Ácido fosfórico (H_3PO_4), con la función principal de adicionar grupos químicos en la superficie de las cenizas; además, se llevó a cabo un tratamiento térmico aplicando altas temperaturas para desarrollar porosidad en su superficie.
Tras la obtención de dos materiales modificados con distinto agente activante fueron sometidos a una serie de doce análisis que permitieron dar información con respecto a las propiedades fisicoquímicas que permitan al material comportarse como un carbón activado para futuras aplicaciones en la industria de procesos.

Metodología

Activación fisicoquímica de las cenizas

Materiales y reactivos

El residuo de cenizas fue donado por el Ingenio Azucarero SAPI de CV. Los reactivos empleados para la activación química fueron Ácido fosfórico (H_3PO_4), Sigma Aldrich, pureza 85 %; Hidróxido de sodio (NaOH), Fermont, pureza $\geq$95 % y agua destilada.

Activación química

Para llevar a cabo la activación química de las cenizas, se utilizó dos agentes activantes: Hidróxido de sodio (NaOH) y Ácido Fosfórico (H_3PO_4), con el objetivo de estudiar los efectos químicos que provocan al material, respecto a la química superficial.
Se inicio con la activación con Hidróxido de sodio con concentración 5 M. Se colocó 20 g de ceniza en 40 mL de la solución, se mantuvo en agitación constante durante 3 horas, a 100 °C.
Posteriormente, la muestra se dejó en reposo a 80 °C por 12 h dentro de un horno tubular (DEDUTEL, OTF-1200X). Se realizó el mismo procedimiento para la activación química, pero con diferente agente activante, ácido fosfórico concentrado.



Figura 1. Cenizas previas a la activación (Izquierda); Cenizas con agente activante (Derecha)

Activación física

La activación térmica de los materiales se llevó a cabo aplicando temperatura a 500 °C, durante 90 minutos. Transcurrido el tiempo, se dejó enfriar a temperatura ambiente para ser lavados con agua destilada a temperatura de 95 °C. Las muestras se secaron a 100 °C durante 24 horas, para análisis posteriores.

 ISSN: 2007 8102

Caracterización de las cenizas modificadas químicamente

Presencia de materia volátil

Se llevó a cabo con el objetivo de cuantificar los constituyentes de la biomasa que se degradan o desprenden de la materia al aplicar altas temperaturas en la activación física.
El porcentaje de la materia volátil fue determinada mediante la ecuación 1:

$$\%Materia\ Volátil = \frac{m_s - m_{nv}}{m_s} * 100 \quad (1)$$

Donde m_s corresponde a la masa de la muestra y m_{nv} presenta la masa de la materia no volátil.

Contenido de cenizas

Se realizó el presente análisis para determinar el porcentaje de residuos inorgánicos obtenidos antes y después del proceso de calcinación y activación de los materiales
El porcentaje de cenizas fue determinado mediante la ecuación 2:

$$\%Ceniza = \frac{m_{ce}}{m_s} * 100 \quad (2)$$

Donde $\%Ceniza$ es el porcentaje de material inorgánico que queda después del proceso de calcinación y modificación química, m_{ce} es la masa de la muestra tras la calcinación y m_s la masa de la muestra inicial.

Contenido de carbono fijo

El porcentaje de carbono fijo el cual consiste del carbono elemental presente en los materiales modificados químicamente, se determinó mediante la diferencia de la materia volátil y cenizas de la muestra total.
Para el cálculo se aplicó la ecuación 3:

$$\%Carbono\ fijo = \frac{m_{nv} - m_{ce}}{m_s} * 100 \quad (3)$$

Determinación de pH

El valor de pH de los materiales activados químicamente puede variar debido a los grupos químicos que fueron generados por el efecto del agente activante. La medición del pH fue ejecutada por medio de un pHmetro (HKFZ, PH02sl).

Análisis de compuestos solubles en agua y ácido

Los materiales carbonáceos activados fueron sometidos a un análisis para comprobar su pureza con relación a las sustancias extraídas por las dos activaciones aplicadas (térmica y química).
Los contenidos de compuestos solubles en agua y en ácido se evaluaron con las ecuaciones 4 y 5:

$$\%\ Solubles\ en\ agua = \frac{A - Z}{m} * 100 \quad (4)$$

$$\%\ Solubles\ en\ ácido = \frac{B - Z}{m} * 100 \quad (5)$$

Donde A es la masa del vaso más los solubles en agua (g), B corresponde a la masa del vaso más los solubles en ácido, Z es la masa del vaso vacío (g) y m masa de la muestra inicial (g).

Contenido de humedad

Se decretó el porcentaje de humedad de cada muestra mediante un tratamiento térmico de una determinada cantidad de muestra con apoyo crisoles, un desecador y un horno.
Para el cálculo se aplicó la ecuación 6:

$$\%Hum = \frac{PMH - PMS}{PMH} * 100 \quad (6)$$

 ISSN: 2007 8102

Donde $\%Hum$ es el porcentaje de humedad de la muestra, PMH es el peso del crisol inicial más la masa de muestra introducida en este y PMS fue el peso del crisol con muestra después de las 24 horas de tratamiento.

Densidad real

Dicho análisis fue realizado con un picnómetro para la obtención de la densidad de cada grupo de cenizas
El porcentaje de cenizas fue determinado mediante la ecuación 2:

$$\rho_{real} = \frac{m*\rho_L}{m+(P+L)-(P+m+L)} \quad (7)$$

Donde ρ_{real} es la densidad real de la muestra, m corresponde a la masa del material colocada dentro del picnómetro, ρ_L es la densidad del agua destilada a temperatura ambiente, $P + L$ fue peso del picnómetro con el agua (segundo peso registrado), por último, $P + m + L$ fue el peso del picnómetro con la masa de muestra y con el agua (primer peso registrado).

Densidad aparente

Se utilizó una probeta y una determinada cantidad de muestra, al introducirla en la probeta se toma la lectura del volumen ocupado por la muestra para luego realizar el cálculo correspondiente.
La ecuación 8 fue la empleada para el análisis:

$$\rho_{aparente} = \frac{m}{V_{aparente}} \quad (8)$$

Donde $\rho_{aparente}$ es la densidad aparente de la muestra, m corresponde a la masa del material que se pesó, mientras que $V_{aparente}$ es el espacio que fue tomado por el material dentro de la probeta.

Cálculo de porosidad

La densidad real y aparente de cada material fueron los datos claves para entender el desarrollo de porosidad.
La porosidad fue determinada mediante la ecuación 9:

$$\varepsilon = \frac{\rho_{real}-\rho_{aparente}}{\rho_{real}} * 100 \quad (9)$$

Determinación de pH en el punto de carga cero (PZC)

El objetivo de la técnica fue determinar el pH del medio en el que el material carbonáceo presenta una carga superficial nula. Cada muestra fue sometida a agitación en distintos vasos de agua (0.25 g por muestra) con un pH inicial y tras 24 h de agitación se mide el pH final con apoyo de un conductímetro (HACH, HQ440D) para obtener la variación de pH y así mediante un gráfico hallar el PZC de cada material.

Método Boehm

Dicho proceso tiene como objetivo la determinación de grupos ácidos y básicos en la superficie del material, mediante una titulación con apoyo de un ácido para neutralización de grupos básicos (quinonas, pironas, crometos), así como una titulación con una base para la neutralización de grupos ácidos (ácidos carboxílicos, lactonas, anhídridos).
Los resultados de cada titulación fueron aplicados en la construcción de gráficas donde se relacionó los volúmenes de titulación promedio con respecto a la división de la derivada pH y la derivada del volumen titulado, todo esto para obtener el volumen equivalente de titulación y así obtener los moles ácidos y básicos.

Determinación de grupos químicos por Espectroscopia Infrarroja de Transformada de Fourier

La determinación de los grupos químicos presentes en los materiales antes y después del tratamiento químicos fueron identificadas mediante Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR por sus siglas en inglés). Las muestras fueron trituras y analizadas en forma de polvos; el equipo empleado fue un espectrofotómetro FT-IR (Perkin Elmer spectrometer, Spectrum One) empleando un intervalo de frecuencia de 4000 cm^{-1} a 500 cm^{-1}.

ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Presencia de materia volátil, contenido de ceniza y carbono fijo

Claramente la materia prima tiene un contenido alto de esta; sin embargo, el objetivo de los tratamientos realizados al material es la reducción de este contenido para obtener un material con mayor presencia de carbono. En la determinación de ceniza, es posible observar que, al ser activada químicamente con ácido fosfórico, el contenido de ceniza fue disminuido aproximadamente en un 60% comparado a la materia prima. Para el caso de la activación con hidróxido de sodio, también hubo una disminución, pero solo del 46%; a pesar de ser un alto porcentaje de reducción la muestra activada con ácido fosfórico es más ideal debido presenta un contenido más pequeño de ceniza.
En la determinación del carbono fijo, evidentemente el carbono activado obtenido a partir de la modificación química con ácido fosfórico mostró mayor contenido de carbono fijo comparado con el carbono modificado con hidróxido de sodio; el ácido fosfórico es comúnmente utilizado en la activación de carbonos, debido principalmente al desarrollo de porosidad que genera en el material y a la degradación de compuestos orgánicos, generando materiales ricos en carbono.

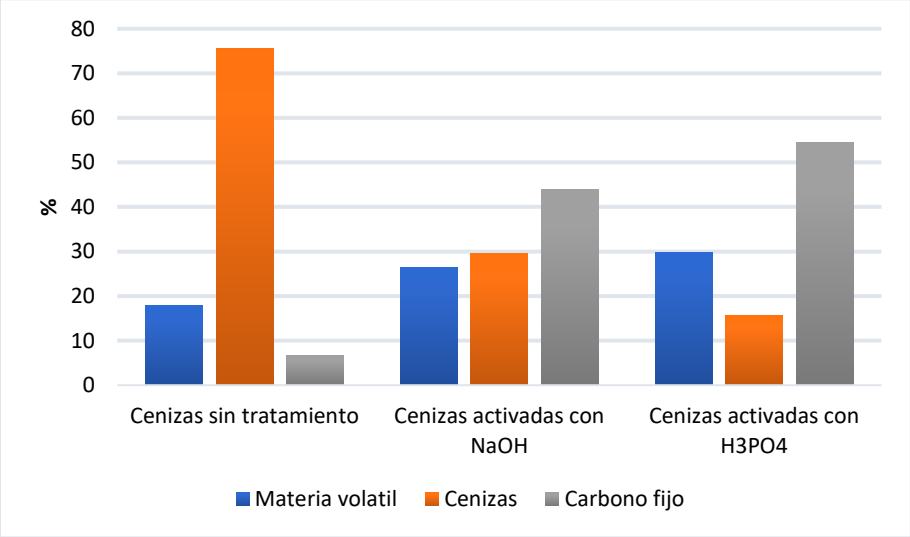


Figura 2. Relación y comparativa entre el contenido de materia volátil, cenizas y carbono fijo

Determinación de pH

Tabla 1. Resultados de pH.

Cenizas sin tratamiento	Cenizas NaOH	Cenizas H_3PO_4
8	10	4

El valor de pH de los materiales activados es un factor de interés en el proceso de remoción de contaminantes; es importante mencionar, que las propiedades de textura, área superficial, grupos químicos que son característicos de los carbonos activados, no son los únicos responsables de la capacidad de adsorción; el valor de pH en la superficie de los materiales carbonáceos es de gran importancia debido a que otorga la carga superficial; de esta manera si un material adsorbente tiene carga negativa otorgada a pH bajo, tendrá mayor afinidad a la atracción de cationes; y aquellos materiales con carga positiva generada a pH altos puede adsorber aniones.

Análisis de compuestos solubles en agua y ácido

Tabla 2. Resultados de compuestos solubles en agua y ácido.

Parámetro	Cenizas NaOH	Cenizas H_3PO_4
Solubles agua	52.62 %	22.94 %

 ISSN: 2007 8102

Solubles ácido	89.69 %	14.92 %

Para el material de carbono modificado con ácido fosfórico (H_3PO_4) se registraron valores menores en el contenido de solubles en agua y ácido respectivamente. Y para el material modificado con NaOH, se muestran valores más altos para solubles en agua y ácido.
La disminución de solubles para la muestra de ácido fosfórico, se atribuye principalmente a la oxidación que genera el agente activante disminuyendo los extractables en el material, lo cual favorece su aplicación en el proceso de adsorción, debido a la mínima cantidad de compuestos solubles que pueden interferir en el proceso; por otra parte, los valores bajos de solubles nos indican mayor pureza en los materiales obtenidos mediante activaciones químicas.

Contenido de humedad

Tabla 3. Resultados del contenido de humedad.

Cenizas sin tratamiento	Cenizas NaOH	Cenizas H_3PO_4
0.0249 %	0.0923 %	0.0572 %

Se nota que la activación de las muestras ocasionó un pequeño aumento en la humedad del material, siendo las cenizas activadas con hidróxido de sodio las que aumentaron casi cuatro veces con respecto a la humedad de las cenizas sin tratamiento.

Densidad real

Tabla 4. Resultados de densidad real (g/mL).

Cenizas sin tratamiento	Cenizas NaOH	Cenizas H_3PO_4
0.975	1.714	1.741

La activación de las muestras generó un aumento en su densidad, obteniendo resultados muy idénticos entre ambas muestras modificadas, resultando más densas las cenizas activadas con ácido fosfórico por una diferencia de 0.027 g/mL.

Densidad aparente

Tabla 5. Resultados de densidad aparente (g/mL).

Cenizas sin tratamiento	Cenizas NaOH	Cenizas H_3PO_4
0.454	0.5	0.5

Como resultados se notó una diferencia entre las cenizas sin tratamiento y las cenizas modificadas químicamente, ya que las primeras arrojaron una menor densidad aparente y ocuparon mayor volumen en la probeta con respecto a las cenizas modificadas, que resultaron más densas y ocuparon menos volumen.
Estos resultados en combinación con los determinados en la densidad real permiten obtener para cada muestra el valor de la porosidad.

Cálculo de porosidad

Tabla 6. Resultado del desarrollo de porosidad.

Cenizas sin tratamiento	Cenizas NaOH	Cenizas H_3PO_4
53.43 %	70.82 %	71.28 %

Se muestra como el proceso de activación genera un aumento en la porosidad del material. Las cenizas modificadas con ácido fosfórico mostraron un mayor incremento de porosidad con respecto al hidróxido de sodio, aunque la diferencia es solo de 0.46%, ambas cenizas satisfacen de manera ideal este factor y generan un

 ISSN: 2007 8102

aumento en la porosidad de aproximadamente 17% en relación a las cenizas sin tratamiento. El incremento de la porosidad nos indica que la superficie del material fue modificada por los agentes químicos lo cual conlleva a la formación de variedad de tamaños de poros en la superficie del material; para la determinación especifica del área superficial y tamaños de poros se recomienda realizar el análisis de fisisorción por el método BET.

Determinación del pH en el punto de carga cero

La ejecución de la técnica produjo el siguiente diagrama en el que se observan las raíces de cada línea de tendencia, las cuales son considerados los puntos de carga cero de cada material.

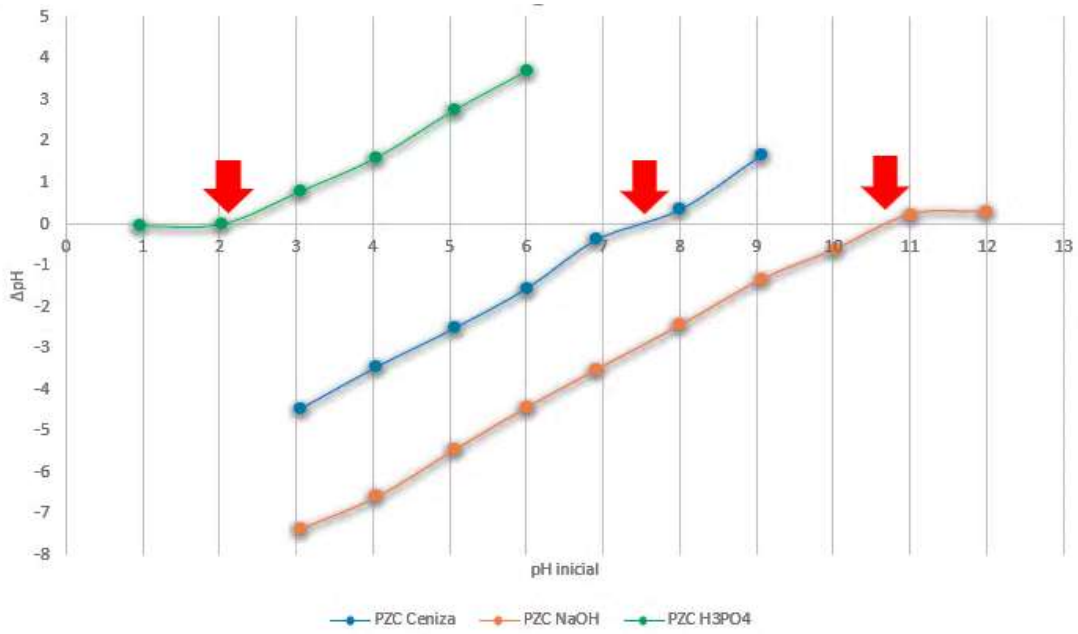


Figura 3. Intersección en el eje x (PZC) de cada uno de los materiales

Tabla 7. Resultado del PZC.

Cenizas sin tratamiento	Cenizas NaOH	Cenizas H_3PO_4
7.48	10.74	2.04

El punto de carga de cero indica el punto en el que el material tendrá una carga superficial nula, esto quiere decir que en dicho valor el material no será capaz de atraer iones positivos, así como iones negativos.
Sin embargo, valores de pH menores al PZC hacen que el material sea afín a la atracción de especies aniónicas, ya que esta tendrá una carga superficial positiva. Por otro lado, valores de pH mayores al PZC crean en el material una carga superficial negativa, por lo que será propensa a la adsorción de especies catiónicas [6].
Dicho esto, es de interés que el material tenga la mayor capacidad posible para atraer cationes contaminantes para el tratamiento de aguas residuales, por lo que es conveniente superar en cada muestra el valor obtenido en el PZC y mientras más alejados estemos a dicho punto, mayor será la capacidad de remoción de cationes por cada muestra de ceniza.

Método Boehm

Tabla 8. Resultados del método Boehm (mequiv-g/g).

Parámetro	Cenizas NaOH	Cenizas H_3PO_4
Moles ácidos	4.6875	7.65
Moles básicos	6.2875	1.3875

 ISSN: 2007 8102

Los resultados plasman que las cenizas activadas con hidróxido de sodio cuentan con un 57.28% de moles básicos y 42.71% de moles ácidos, predominando un carácter básico en la superficie del material, dicho porcentaje es respaldado con la técnica de PZC, donde se obtuvo un valor de 10.74.
En el caso de las cenizas activadas con ácido fosfórico se determinó que la concentración de moles ácidos es mucho mayor, constituyéndose de 84.64% con respeto a los moles básicos que cuentan con un pobre 15.35%, dichos datos confirman el carácter ácido de dichas cenizas, ya que se reportó un PZC de 2.04.

Determinación de grupos químicos por FTIR

Se realizó la técnica para grupos identificados en el espectro infrarrojo para los materiales antes y después de cada tratamiento fueron los siguiente: la muestra de ceniza mostró pocas señales debido a que no contiene variedad de grupos químicos en su superficie, de los grupos identificados y que se conservan después en ambos tratamientos químicos fueron los grupos a 970, 1000 y 1014 cm-1 correspondientes a vibraciones de C-O. Después del tratamiento químico, es posible observar la aparición de nuevas bandas iniciando a 3222 cm-1 en el tratamiento con hidróxido de sodio asignados a vibraciones de grupos hidroxilos – OH, seguido de la banda a 2928 cm-1 atribuida a estiramientos de grupos alifáticos CH. Por otro lado, en la modificación química para el tratamiento con hidróxido de sodio fueron identificados con en mayor intensidad grupos carbonilos en las bandas 1416 cm-1 y 1637 cm-1. Con este análisis se confirma la aparición de nuevos grupos funcionales en la superficie de los materiales después del tratamiento químicos, los cuales son de gran importancia debidos a su atribución en la capacidad de retención de diversos contaminantes. [7] [8]

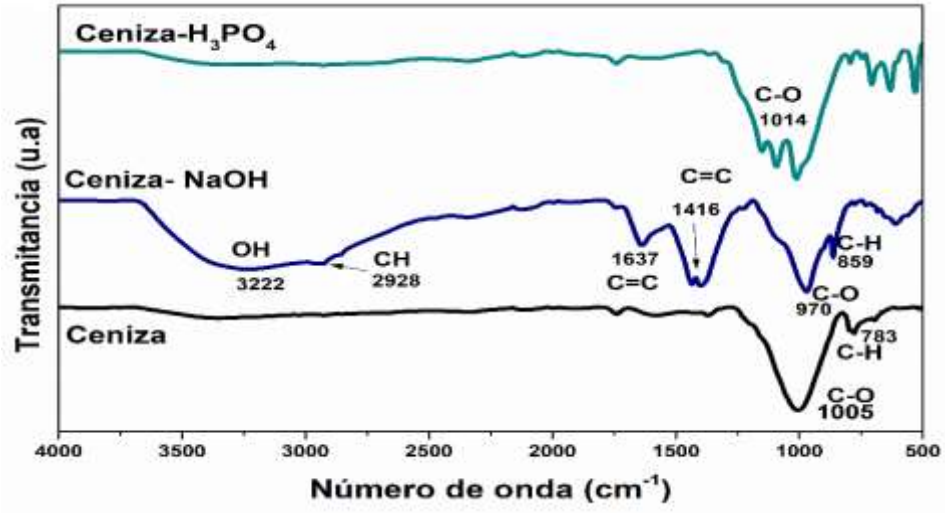


Figura 4. Espectro infrarrojo de los materiales antes y después del tratamiento químico

Trabajo a futuro

Se tienen en mente ejecutar un par de análisis más: potencial zeta y determinación del área superficial BET. Posterior a ello, el objetivo será someter el material con los resultados más favorables a pruebas de adsorción para evaluar el rendimiento del material por medio de su capacidad para la remoción de cationes para su futura aplicación en tratamiento de aguas residuales.

Conclusiones

Las cenizas producidas en la generación de electricidad mediante la quema del bagazo de caña de azúcar, fueron materia prima para la obtención de materiales carbonáceos que pueden ser utilizados para aplicaciones en remediaciones ambientales. Se estableció el proceso de modificación química bajo parámetros de activación física y química, empleando dos agentes activantes (NaOH y H_3PO_4) a temperatura de 500 °C, mostrando mejores resultados para los materiales activados con ácido fosfórico al 85% peso con respecto a su composición química y propiedades físicas; logrando obtener un 99% de carbono fijo y desarrollo de porosidad del 71.28 % para las cenizas modificadas con H_3PO_4. En el análisis de química superficial los materiales mostraron en su mayoría grupos tales como carbonilos, ácidos carboxílicos, grupos OH, los cuales le confieren la capacidad de adsorción

ISSN: 2007 8102

a estos materiales modificados. Del análisis de carga superficial, se determinó el punto carga cero para cada material, es importante mencionar que los materiales obtenidos pueden ser modificados en relación a sus valores de pH para su futura aplicación en remoción de contaminantes, de esta manera la superficie de los materiales puede estar protonada con afinidad a espacies como iones metálicos; por lo tanto los sitios activos en la superficie pueden cargarse negativamente al incrementar el valor pH, favoreciendo su futura aplicación en el intercambio iónico entre especies. Con este estudio, se concluye que la producción de materiales químicamente modificados a partir de residuos generados por la industria azucarera son materiales prometedores para aplicaciones de remediación ambientas para la eliminación de compuestos peligrosos presentes en agua.

Referencias

[1] Cisneros López MÁ. (2016).“Evaluación económica con opciones reales: biorefinería de etanol combustible de segunda generación en Veracruz, México,”.

[2] Arbeláez Pérez OF, Delgado Varela KA, Castañeda Mena JD. (2022). “Efecto de la incorporación de ceniza de bagazo de caña en las propiedades mecánicas y las emisiones de dióxido de carbono del hormigón preparado con residuos de vidrio,” *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio.*

[3] Guo Q, Chen M, Zhang J, Gao L, Xu L. (2022). “Microwave-assisted industrial wastes of fly ash and carbide slag as adsorbents for simultaneous desulfurization and denitrification,” *Separation and Purification Technology*; 303: 122176.

[4] Ahmaruzzaman M. (2009). “Role of Fly Ash in the Removal of Organic Pollutants from Wastewater,” *Energy & Fuels*; 23: 1494-1511.

[5] Ahmaruzzaman M. (2010). “A review on the utilization of fly ash,” *Progress in Energy and Combustion Science*; 36: 327-363.

[6] Moreno, A., Ríos, J. C., & Flores, S. E. (2021). “Carbón activado: generalidades y aplicaciones,” CienciAcierta, 88-114.

[7] Raut, E. R., Bedmohata, M. A., & Chaudhari, A. R. (2022). “Comparative study of preparation and characterization of activated carbon obtained from sugarcane bagasse and rice husk by using H3PO4 and ZnCl2,” *Materialstoday: Proceedings*, 1875-1884.

[8] Ge, J. C., Yoon, S. Y., & Choi, N. J. (2018). “Application of fly ash as an adsorbent for removal of air and water pollutants,” *Applied Sciences*, 1116.

 ISSN: 2007 8102

Adsorción del colorante azóico naranja de metilo mediante el uso de materiales tipo MOF derivados del ácido trimésico y nitrato de cadmio.

Katia Karina Cortes Diaz[1], Raul Colorado Peralta[1], María Elizabeth Márquez López[1], José María Rivera Villanueva[1], Lidia Elena Chiñas Rojas[1].*
[1]Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana Prolongación Oriente 6, No. 1009, Colonia Rafael Alvarado, CP 94340 Orizaba, Veracruz, México; gvivar@uv.mx
***Área de participación**: Ingenieria Quimica*

Resumen

En el presente trabajo de investigación, se sintetizó y caracterizó un nuevo material metal orgánico tipo MOF, llamado para efectos prácticos como MOF-ACD1, el cual fue obtenido mediante síntesis hidrotermal clásica con una temperatura por debajo de 100 ºC, a partir de la sal metálica nitrato de cadmio $Cd(NO_3)_2 \cdot H_2O$, usando como ligante orgánico el ácido trimésico ($C_6H_3(CO_2H)_3$) y cómo solvente agua (H_2O) más dimetilformamida DMF ($(CH_3)_2$-N-CHO),se obtuvo un material de forma cristalina [1].

Para probar la capacidad de adsorción del material se realizaron pruebas de remoción del colorante azoico naranja de metilo, se usaron diferentes concentraciones, en el intervalo de 100 ppm a 800 ppm de naranja de metilo, el proceso de adsorción fue evaluado mediante la construcción de isotermas de adsorción con resultados obtenidos en el espectrofotómetro Uv-Vis. Se realizó la caracterización por espectroscopía de infrarojo (IR), la caracterización por difracción de rayos-X (DRX) de polvos, así como la caracterización por el análisis termogravimétrico (TGA) para conocer de manera adecuada datos importantes sobre la descomposición del MOF-ACD1 [2].

Se obtuvieron resultados sobre la capacidad máxima de adsorción del NM en medio acuoso, así como las características y composición del MOF-ACD1, los cuales fueron comparados con los MOF ya reportados [3].

***Palabras clave**: adsorción, naranja de metilo, MOF-ACD1.*

Abstract

In the present research work, a new MOF-type organic metal material was synthesized and characterized, called for practical purposes as MOF-ACD1, which was obtained by classical hydrothermal synthesis with a temperature below 100 ºC, from the salt metallic cadmium nitrate $Cd(NO_3)_2\ H_2O$, using trimesic acid ($C_6H_3(CO_2H)_3$) as organic binder and water (H_2O) plus dimethylformamide DMF ($(CH_3)_2$-N-CHO) as solvent, a crystalline form material [1].

To test the adsorption capacity of the material, methyl orange azo dye removal tests were performed, different concentrations were used, in the range of 100 ppm to 800 ppm of methyl orange, the adsorption process was evaluated by building isotherms. adsorption with results obtained in the Uv-Vis spectrophotometer. The characterization by infrared (IR) spectroscopy, the characterization by X-ray diffraction (XRD) of powders, as well as the characterization by thermogravimetric analysis (TGA) were carried out to adequately know important data on the decomposition of MOF- ACD1 [2].

Results were obtained on the maximum adsorption capacity of the NM in the aqueous medium, as well as the characteristics and composition of the MOF-ACD1, which were compared with the MOFs already reported.

***Key words**: adsorption, methyl orange, MOF-ACD1 [3].*

Introducción

En los últimos años se han propuesto nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, muchos de esos métodos son microbiológicos, algunos otros son procesos físicos, pero se ha encontrado una problemática en la eliminación de los colorantes ya que estos se diseñan para ser altamente resistentes, incluso a la degradación microbiana, por lo que son difíciles de eliminar en las plantas de tratamiento convencionales. Más de diez mil diferentes tipos de pigmentos y colorantes sintéticos son usados en diferentes industrias como la textil, papelera, cosmética y farmacéutica, entre otras [4].

 ISSN: 2007 8102

Muchas actividades industriales liberan grandes cantidades de agua, contaminada con colorantes al ambiente. Alrededor del 10-15% del total de 800,000 toneladas de tintes consumidos llegan al medio ambiente anualmente. Se propone la implementación de un material metal-orgánico en sus siglas en inglés (MOF), para el tratamiento de aguas residuales contaminadas por colorantes, a partir del agregado metálico nitrato de cadmio ($Cd(NO_3)_2 \cdot H_2O$), usando como ligante orgánico el ácido trimésico ($C_6H_3(CO_2H)_3$) y como solvente agua (H_2O) más dimetilformamida (DMF) ($(CH_3)_2$-N-CHO) ,obtenido mediante síntesis hidrotermal clásica [5].

Los MOF son estructuras organometálicas compuestas por nodos metálicos y enlazadores orgánicos, los cuales tienen una capacidad de adsorción. Los MOF se pueden construir a partir de una gran cantidad de iones metálicos y/o grupos que contienen metales y ligantes orgánicos a través de diferentes métodos de síntesis. En este trabajo se desarrolló un material metal-orgánico, se obtuvo el MOF-ACD1, el cual presenta una estructura cristalina. Se realizaron pruebas de capacidad de absorción del MOF-ACD1, usando soluciones de 100 a 800 ppm del colorante azoico naranja de metilo [6].

el proceso de adsorción fue evaluado mediante la construcción de isotermas de adsorción, con resultados obtenidos en el espectrofotómetro Uv-Vis; se realizó la caracterización por espectrómetro (IR) del MOF-ACD1 puro y del MOF-ACD1 después de la remoción de naranja de metilo. Se realizó la caracterización del MOF-ACD1 mediante diferentes técnicas como son la difracción de rayos X (DRX) de polvos, tanto puro como del MOF-ACD1 después de la remoción de naranja de metilo, así como la caracterización por el análisis termogravimétrico (TGA) del MOF-ACD1 puro y del MOF-ACD1 después de la remoción de naranja de metilo y se compararon resultados con los MOF ya reportados [3].

Metodología

Materiales

Los reactivos y solventes utilizados para la síntesis del MOF-ACD1 fueron adquiridos de Sigma Aldrich Chemical Co ;El nitrato de cadmio ($Cd(NO_3)_2 \cdot H_2O$) con una apariencia de cristales blancos, higroscópico olor: inodoro, densidad 3600 kg/m³; 3,6 g/cm³, masa molar 236.42 g/mol, punto de fusión de 360 °C y punto de ebullición 132 °C ;El ácido trimésico ($C_6H_3(CO_2H)_3$) con una Masa molecular 210.140 g/mol, solubilidad en agua 2,4 g/l a 25 °C, temperatura de fusión 380°C;El agua destilada (H_2O), con una densidad: 997 kg/m³ masa molar: 18.01528 g/mol, Punto de fusión: 0 °C ;El DMF ($(CH_3)_2$-N-CHO) con una, densidad: 944 kg/m³, punto de ebullición: 153 °C, masa molar: 73.09 g/mol, punto de fusión: -61 °C [7].

Equipos

Los reactivos empleados para la síntesis se pesaron en una balanza RADWAG XA220 con un intervalo de 220 g a un mínimo de 10 mg. Para el calentamiento de la reacción se utilizó una parrilla eléctrica THERMO scientific con agitador magnético, el intervalo de temperatura es de 5 °C a 540 °C. El plato es de cerámica resistente a ácidos y disoluciones alcalinas. La agitación es variable con un rango de velocidad de 60 a 1200 rpm [5].

Síntesis del MOF-ACD1

Para la síntesis del material MOF-ACD1 se utilizó la síntesis hidrotermal clásica, iniciando una mezcla con 0.1 g de ácido trimésico ($C_6H_3(CO_2H)_3$) y 0.3 g de nitrato de cadmio ($Cd(NO_3)_2 \cdot H_2O$), pesados previamente en balanza analítica, y vertidos en un matraz Erlenmeyer de 50 ml Se utilizó como solvente 7.5 ml agua (H_2O) y 7.5 ml de DMF ($(CH_3)_2$-N-CHO), se agregó primero 7.5 ml de agua destilada medida con pipeta graduada de 10 ml al matraz Erlenmeyer con el ácido trimésico y el nitrato de cadmio, se agitó un poco para diluir los reactivos, posteriormente se agregó 7.5 ml de DMF medido con pipeta graduada de 10 ml al matraz Erlenmeyer con los reactivos [9].

Se agitó con la mano hasta disolución de los reactivos, una vez disueltos los reactivos se taparon los matraces con papel aluminio perforado con 3 agujeros, posteriormente se calentó la solución sobre una parrilla hasta alcanzar la temperatura de 80° C, se dejó el matraz sobre la parrilla a temperatura constante de 80 °C por 3 días sin moverlo, Se filtraron los cristales obtenidos del MOF-ACD1 en un embudo de cristal con papel filtro previamente pesado, se acomodó el papel filtro en un vaso de precipitado y posteriormente se procedió a secar en estufa durante 2 días a 120 °C [5].

Se obtuvo el material cristalino llamado tipo MOF-ACD1. En la figura 1 se observa el esquema de la reacción realizado mediante la herramienta de dibujo ChemDraw 17.0. en el que se representa la síntesis del MOF-ACD1 [8].

 ISSN: 2007 8102

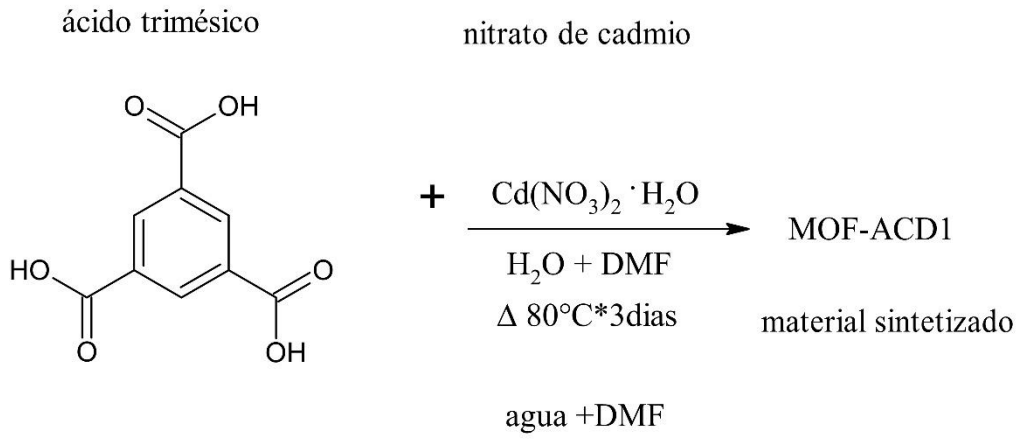


Figura 1. Esquema de la reacción de síntesis del MOF-ACD1

Pruebas de adsorción de NM

Para las pruebas de adsorción, se prepararon soluciones con concentraciones de 100,200,300,400 y 500 ppm de naranja de metilo, también se prepararon pruebas de adsorción con respecto al pH utilizando soluciones de 800 ppm a 4, 5 y 6 de pH, la concentración exacta de las soluciones de los colorantes se obtuvo mediante análisis en UV-vis leyendo sus absorbancias en sus respectivas longitudes de onda, mostradas en la curva de calibración de naranja de metilo. Las pruebas de adsorción se realizaron por lotes en matraces Erlenmeyer de 50 ml, en los cuales se agregaron aproximadamente 10 ml de solución y 10 mg del MOF-ACD1 [10].
Posteriormente se agitaron a una velocidad de 300 rpm a 1 hora de tiempo de contacto. Finalizada la agitación, las muestras se vertieron en tubos de centrifugar graduados y se centrifugaron a 3500 rpm durante 5 minutos. Para realizar las lecturas de absorbancia de los sobrenadantes se realizó una dilución con 1 ml de la solución centrifugada más 9 ml de agua, haciendo en un total de 10 ml de solución para posteriores cálculos de ppm totales. Para obtener la concentración del sobrenadante, se interpolaron los valores de absorbancia representados en la curva de calibración de naranja de metilo mediante la fórmula de interpolación lineal, la cual se representa en la ecuación 1 [11].

$$y = y1 + \frac{(y2-y1)}{(x2-x1)} * (x - x1) \quad (1)$$

Donde las coordenadas del eje “x” pertenecen a unidades de absorbancia y las coordenadas del eje “y” pertenecen a los valores de concentración en ppm de naranja de metilo Se realizo una curva de absorción de naranja de metilo con los valores obtenidos de los cálculos de la ecuación 1 en donde se tomaron en cuenta los valores obtenidos de la curva de calibración del naranja de metilo para poder determinar la concentración con respecto a la absorbancia; Representando como absorbancia promedio después de la absorción de naranja de metilo en el eje “x” y concentración de absorción de naranja de metilo en el eje “y “.
La eficiencia de remoción del MOF-ACD1 fue calculada por la ecuación 2 que se presenta a continuación:

$$\text{Eficiencia } \% = \frac{Co-Ct}{Co} * 100 \quad (2)$$

Donde: Co es la concentración inicial de la solución de naranja de metilo y Ct es la concentración final de la solución de naranja de metilo después de la adsorción con el MOF-ACD1 definidas en mg/L igual a ppm. Para obtener Ct se multiplicó el valor de la concentración de la solución después de la remoción de naranja de metilo.
La capacidad de adsorción del MOF-ACD1 fue calculada por la ecuación que se presenta a continuación:

$$Qt = \frac{(Co-Ct)V}{m} \quad (3)$$

Donde: Qt es la capacidad de adsorción con respecto al tiempo y está definida en mg/g, Co es la concentración inicial de la solución de naranja de metilo y Ct es la concentración final de la solución de naranja de metilo después

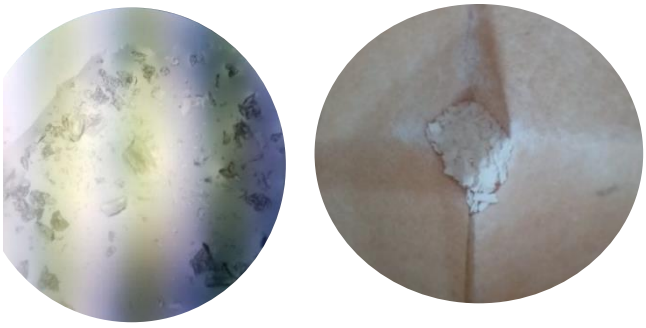
 ISSN: 2007 8102

de la adsorción con el MOF-ACD1 definidas en mg/L igual a ppm, V es el volumen de la solución utilizado definido en L y m es la masa del adsorbente utilizado definido en g [12].

Resultados y discusión

Caracterización del MOF-ACD1

Se obtuvo un sólido de color blanco altamente cristalino con formas geométricas, se obtuvo un rendimiento de la reacción de 74%, los cristales obtenidos de la síntesis del MOF-ACD1 se observan en la Figura 2 [1]



(a) (b)

Figura 2. (a)MOF-ACD1 sin secar, visto desde microscopio óptico con aumento de 30x y (b) MOF-ACD1 seco

Remoción de colorante NM

Para las pruebas de adsorción, se prepararon soluciones con concentraciones de 100,200,300,400 y 500 ppm de naranja de metilo de los cuales se tomaron aproximadamente 10 ml de solución y 10 mg del MOF-ACD1, posteriormente se agitaron a una velocidad de 300 rpm a 1 hora de tiempo de contacto, se representa en la Figura 3 ,como absorbancia promedio después de la absorción de naranja de metilo en el eje “x” y concentración de absorción de naranja de metilo en el eje “y “;La línea de tendencia es lineal y tiene un valor de $R^2 = 0.9988$ lo que indica que los valores de concentración obtenidos mediante los cálculos realizados con la ecuación 1 son lineales [13].

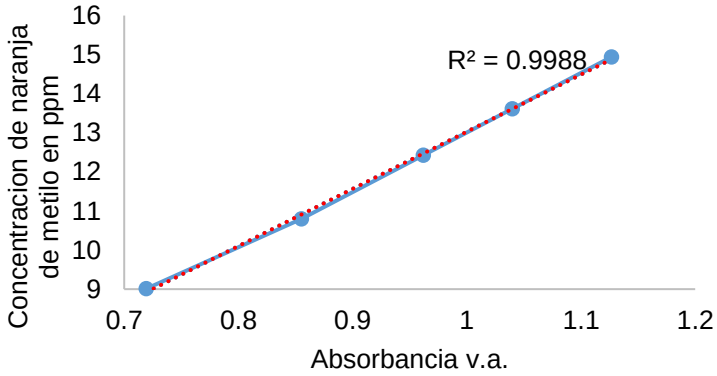


Figura 3. Pruebas de absorción de naranja de metilo.

La eficiencia de remoción del MOF-ACD1 fue calculada por la ecuación 2;Se realizó una curva de eficiencia de remoción de naranja de metilo con los valores calculados de la ecuación 2, eficiencia % en el eje “x” y Co que es la concentración inicial de la solución de naranja de metilo en el eje “y “, los valores se representan en la Figura 4 ;Se puede observar en la Figura 4 que la línea de tendencia tiende a ser polinómica de grado 2 ya que tiene con un valor de $R^2 = 0.9891$, lo que hacer ver una curva ascendiente

 ISSN: 2007 8102

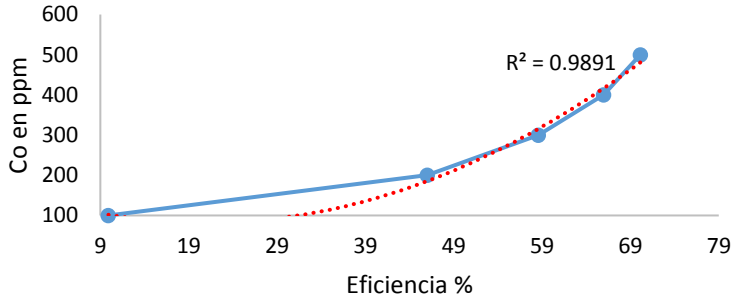


Figura 4. Eficiencia de adsorción de naranja de metilo.

La capacidad de adsorción del MOF-ACD1 fue calculada por la ecuación 3;Se realizo una curva de Qt que es la capacidad de adsorción con respecto al tiempo con los valores obtenidos de la ecuación 3; Capacidad de adsorción en el eje “x” y Co que es la concentración inicial de la solución de naranja de metilo en el eje “y “, los valores se representan en la Figura 5 ;Se observa que en la Figura 5, la línea de tendencia es lineal con un valor de $R^2 = 0.9998$ por lo que indica que la concentración inicial es lineal a la capacidad de absorción.

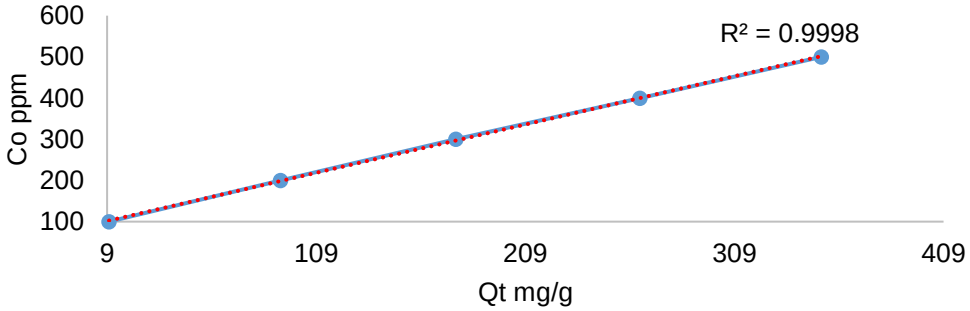


Figura 5. Capacidad de adsorción de naranja de metilo.

Para las pruebas de adsorción con respecto al pH, se prepararon soluciones con concentraciones de 800 ppm de naranja de metilo a diferentes pH: 4,5 y 6; Se realizo una curva de adsorción de naranja de metilo con concentración inicial de 800 ppm en el eje a diferentes pH “x“ y absorbancia promedio después de la remoción de naranja de metilo en el eje “y” , valores representados en la Figura 6;Se puede observar en la Figura 6 que hay una absorbancia menor en el pH 5 y mayor en pH 6.

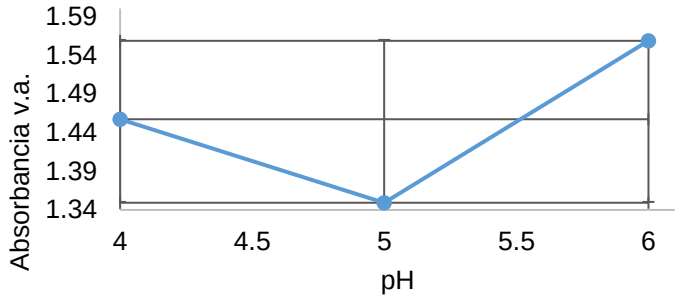


Figura 6. Pruebas de adsorción de naranja de metilo con respecto al pH.

Se realizo una curva de eficiencia de adsorción de naranja de metilo; El pH de las soluciones con concentración inicial de 800 ppm a diferentes pH en el eje “x “y el porcentaje de eficiencia de remoción de naranja de metilo en el eje “y “, los valores se representan en la Figura 7; Se puede observar en la Figura 7 que hay una eficiencia de absorción mayor en el pH 5 y menor en el pH 6.

 ISSN: 2007 8102

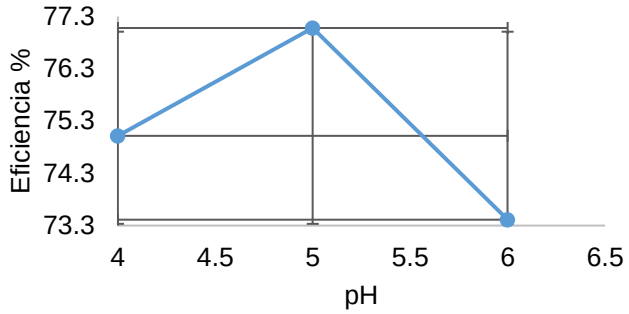


Figura 7. Eficiencia de adsorción de naranja de metilo con respecto al pH.

Se realizo una curva de Qt que es la capacidad de adsorción con respecto al tiempo; Con la capacidad de adsorción en el eje “x” y Co que es la concentración inicial de la solución de naranja de metilo en el eje “y “, los valores se representan en la Figura 8; Se puede observar en la Figura 8 que hay una capacidad de absorción mayor en el pH 5 y menor en el pH 6.

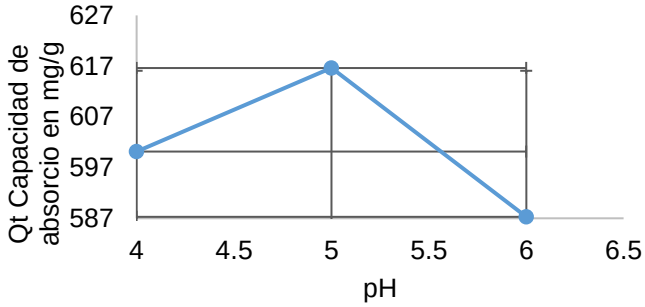


Figura 8. Capacidad de adsorción de naranja de metilo con respecto al pH.

Se realizó la caracterización del espectrómetro IR al MOF-ACD1, esto con el fin de poder determinar una huella dactilar de material; Se observan rangos de frecuencia en posición de 3300 a 2500 que indican enlaces O-H, rangos de frecuencia en posición de 1660-1610 que indican enlaces dobles C=C, rangos de frecuencia en posición 1870-1540 que indican enlaces C=O ,lo que indica una estructura única para el MOF-ACD1; A partir de la frecuencia en posición de 1400-4000 se puede determinar a qué grupo orgánico pertenece el material las frecuencias de posición menores a los 1400, determinan características muy específicas del material.
Se puede observar el rango de frecuencia en posición 1400-4000 marcado colores en la Figura 9 , se puede identificar con facilidad los enlaces que formo el material MOF-ACD1, por las frecuencias que arrojan en el rango de 1400.-4000 que indican el grupo orgánico para identificar el tipo de compuesto que es; Se observa un enlace O-H con rango de frecuencia en posición 3300-2500, C=C con rango de frecuencia en posición 1660-1610, C=O con rango de frecuencia en posición 1870-1540 lo que indica que conserva su naturaleza orgánica.

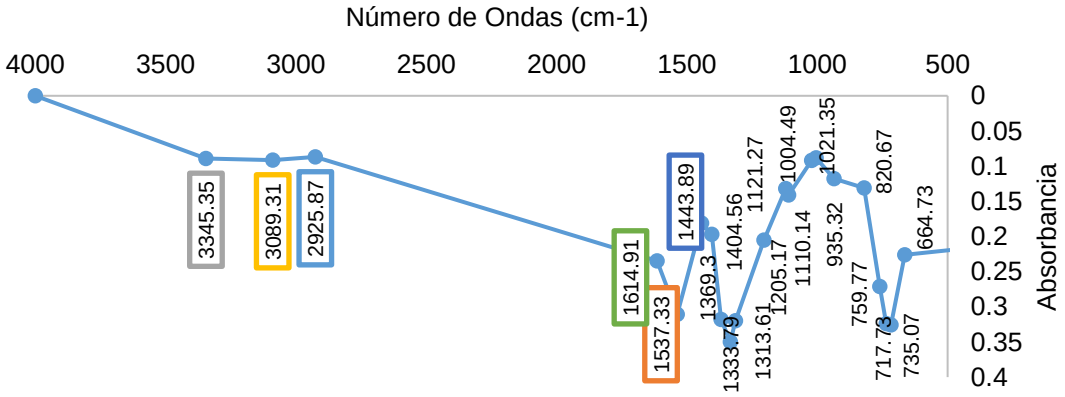


Figura 9. caracterización del espectrómetro IR al MOF-ACD1

 ISSN: 2007 8102

El análisis por difracción de rayos X (DRX) permitió identificar la estructura del MOF-ACD1, ya que se pueden apreciar los picos característicos del material MOF-ACD1, y esto servirá como base de datos para próximas investigaciones; Se puede observar en la Figura 10, que existe un pico en el rango de 9 a 11 thetha , esto indica que se forma una difracción muy fuerte en el material , el pico llega los 4000 counts .

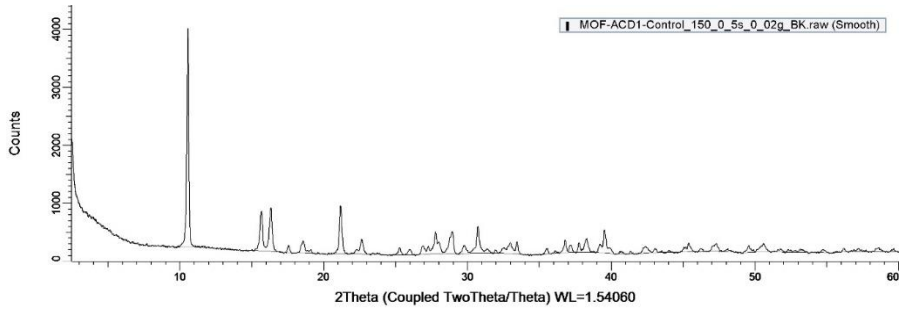


Figura 10. Difracción de rayos X (DRX) MOF-ACD1

Se realizo la caracterización por el análisis termogravimétrico (TGA) al MOF-ACD1 como se observa en la Figura 11 ,el MOF-ACD1 sufre una disminución en % Peso en un rango de temperatura de 402-442 °C , lo indica que a esas temperaturas el MOF-ACD1 sufre una reacción térmica que provoca la disminución en su peso , se observa que después de ese rango de temperatura vuelve a su peso original , pero se puede esperar que el material ya no conserve las mismas propiedades en sus enlaces ;Por lo tanto, el material no debe ser sometido a esas temperaturas para conservar sus propiedades iniciales.

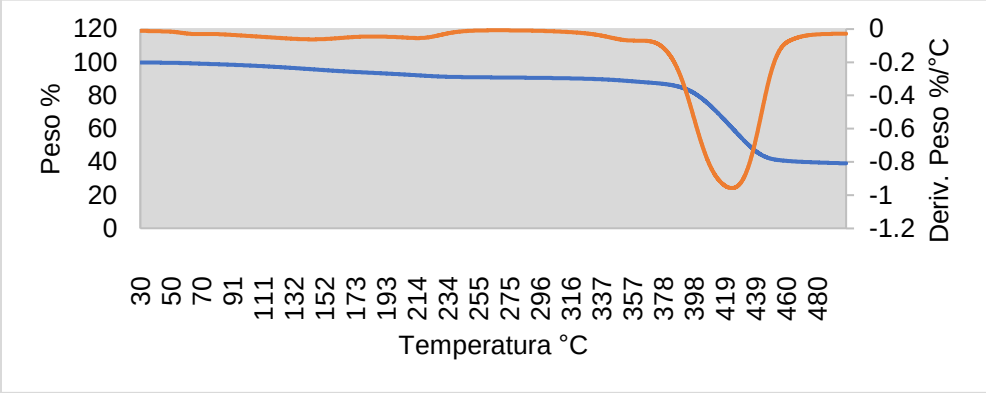


Figura 11. Análisis TGA MOF-ACD1

Trabajo a futuro

Evaluar el comportamiento del MOF-ACD1 en la adsorción de otra clase de colorantes, como catiónicos o no iónicos y aguas residuales; Se puede realizar una funcionalización post-síntesis puede ser coordinativa, covalente, no covalente y de modificación externa del MOF posteriormente, realizar experimentos con otros tipos de colorantes e incluso metales pesados y agua residual industrial.

Conclusiones

Como conclusión el MOF-ACD1 cumple con las características de un material metal orgánico (MOF), la capacidad que tiene de adsorción de NM en un rango de 100 a 500 ppm es lineal con respecto a la concentración, entre más concentración del NM mayor eficiencia en la adsorción. En el caso de las pruebas de adsorción con respecto

al pH se pudo observar un mejor rendimiento en la adsorción en un pH ácido de 5, indicando que el material funciona mejor en medios que tienen acidez.
Con respecto al análisis del espectro IR se pudo observar que el material aquí presentado conserva su naturaleza orgánica en sus enlaces y que estos cambian después de la adsorción de naranja de metilo, lo que indica interacciones de fisisorción del naranja de metilo con el MOF-ACD1.
Con el análisis de difracción de rayos x DRX de polvos se pudo comprobar la estructura cristalina del material además de la pérdida de cristalinidad que sufre el material, debido a las interacciones entre el MOF-ACD1 y el NM en medio acuoso. En el análisis TGA se pudo observar que ocurre una reacción térmica en el rango de temperatura de 402-442° C que implica la descomposición total del MOF.
Este material funciona muy bien para la adsorción de altas concentraciones de colorante naranja de metilo con un pH 5 a temperaturas menores a 398-438 °C para su eficiencia en la adsorción. Lo que contribuye a una nueva tecnología para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con colorantes.

Agradecimientos

Gracias al Dr. Rivera por ser mi asesor en esta investigación y darme la oportunidad de trabajar en su laboratorio, de la mano de los otros investigadores que aportaron sus conocimientos para la creación de este artículo y a mi familia por apoyarme en mis proyectos .

Referencias

[1] Aamod V. Desai;Shivani Sharma y Sujit K. Ghosh , (2019), ELSEVIER,Metal-Organic Frameworks (MOFs) for Environmental Applications , páginas 95-140
[2] Ali A. kbar razavi;Mohammad Yaser Masoomi; y Ali Morsali , (2018), Inorganic chemistry , Host−Guest Interaction Optimization through Cavity Functionalization for Ultra-Fast and Eficient Water Purification by a Metal−Organic Framework, paginas 1-2.
[3] Villegas-Fernández; M. Carpio-Granillo,in;E. Vargas-Hernández;F. J. Zuno-Cruza y G. Sánchez-Cabrera ,2021, Una revisión general de las estructuras metal-orgánicas (MOF) dentro de la química inorgánica, Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, Publicación Semestral Pädi Vol. 8 No. 16 ,paginas 18-29.
[4] Ranganathan K., Jeyapaul S. y Sharma D., 2007. Assessment of water pollution in different bleaching based paper manufacturing and textile dyeing industries in india. Environ. Monit. Assess., Paginas 134, 363–372.
[5] Cheng, M. A. Khan e R. P. Houser, Coordination polymers composed of copper (II), trimesic acid, and imidazole: 3D architecture stabilized by hydrogen bonding, in Inorg. Chem., vol. 40, n. 27, 2001, pp. 6858-6859, DOI:10.1021/ic015609v.
[6] Rizo;Lucia F. Cano Salazar,in;Tirso E. Flores-Guia y Denis A. Cabrera-Munguia,(2021), Estructuras metal-orgánicas (MOFs) nanoestructuradas para la liberación controlada de fármacosMundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología (https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-56912021000100008).
[7] Mason, J. A., Oktawiec, J., Taylor, M. K., Hudson, M. E., Rodriguez, J., Bachman, J. E., Gonzalez, M. I., Cervellino, A., Guagliardi, A., Brown, C. M., Llewellyn, P. L., Masciocchi, N., & Long, J. R. (2015). Methane storage in flexible metal–organic frameworks with intrinsic thermal management. Nature, 527(7578), 357-361. https://doi.org/10.1038/nature15732 [8] J.-H. Cao, B.-K. Zhu, G.-L. Ji, and Y.-Y. Xu, "Preparation and characterization of PVDF–HFP microporous flat membranes by supercritical CO2 induced phase separation," *Journal of Membrane Science,* vol. 266, no. 1, pp. 102-109, 2005/12/01/ 2005.
[8] Chang, L., Li, Q., Weidler, P. G., Gu, Z., Wöll, C., & Zhang, J. (2022). Surface-Oriented Assembly of Cyclodextrin Metal–Organic Framework Film for Enhanced Peptide-Enantiomers Sensing. CCS Chemistry, 4(11), 3472-3481. https://doi.org/10.31635/ccschem.022.202101708Adams, J., Pendlebury, D. (2011): Global Research Report: Materials Science and Technology. Evidence, Leeds LS2 9DF, UK.
[9] Adams, J., Pendlebury, D. (2011): Global Research Report: Materials Science and Technology. Evidence, Leeds LS2 9DF, UK.
[10] Atkins, P. W.; De Paula, Julio; Keeler, James (2018). Atkins' Physical chemistry (Eleventh edición). Oxford, United Kingdom. ISBN 978-0-19-876986-6. OCLC 1020028162
[11] Czelej, K.; Cwieka, K.; Colmenares, J.C.; Kurzydlowski, K.J. (2016). «Insight on the Interaction of Methanol-Selective Oxidation Intermediates with Au- or/and Pd-Containing Monometallic and Bimetallic

 ISSN: 2007 8102

Core@Shell Catalysts». Langmuir 32 (30): 7493-7502. PMID 27373791. doi:10.1021/acs.langmuir.6b01906

[12] Tan, C., Yang, S., Champness, N., Lin, X., Blake, A., Lewis, W., Schröder, M. (2011). High Capacity Gas Storage by a 4,8-Connected Metal–Organic Polyhedral Framework. Chemistry Communications 47, 4487–4489. https://doi.org/10.1039/C1CC10378D

[13] Ferrari, L.; Kaufmann, J.; Winnefeld, F.; Plank, J. (2010). «Interaction of cement model systems with superplasticizers investigated by atomic force microscopy, zeta potential, and adsorption measurements». J. Colloid Interface Sci. 347 (1): 15-24. Bibcode:2010JCIS..347...15F. PMID 20356605. doi:10.1016/j.jcis.2010.03.005

 ISSN: 2007 8102

Diseño y construcción de una cocina solar utilizando materiales reciclados

Juan Antonio Temich Martínez[1], María de los Ángeles Cruz Benitez[1], Asunción Aguilar Méndez[1], Lizeth Rojas Blanco[1], Marcela del Carmen Arellano Cortaza[1]*
[1]Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Avenida Universidad s/n Zona de la Cultura, Colonia Magisterial CP 86690 Villahermosa Centro Tabasco México
marce.are@gmail.com

***Área de participación**: Ingeniería química*

Resumen

En el presente trabajo se diseñó y construyó una cocina solar de concentración térmica, a partir de materiales reciclados. El soporte del sistema y del recipiente se construyó en forma de caballete, se utilizó papel aluminio y mylar como recubrimiento del plato parabólico, se emplearon tubos galvanizados y una malla de 20.5 x 21.3. Se utilizó la metodología de Paul Funk para determinar la radiación solar, velocidad del viento, temperatura, humedad y potencia. Se realizaron seis pruebas para la investigación, en las cuales la temperatura osciló entre los 30 °C-79 °C. Las pruebas revelaron que el papel mylar proporcionó mejor reflectividad y rendimiento térmico que el aluminio utilizado; además, se observó que al pintar de color negro mate el recipiente de cocción y la parrilla el rendimiento térmico mejoró.

***Palabras clave**: Cocinas solares; concentrador solar; energías renovables; energía térmica.*

Abstract

In this work, a thermal-concentration solar cooker was designed and built from recycled materials. The support of the system and the container was built in the form of a trestle, aluminum foil and mylar were used as a coating for the parabolic dish, and galvanized tubes and a 20.5 x 21.3 mesh were used. Paul Funk's methodology was used to determine solar radiation, wind speed, temperature, humidity, and power. Six tests were carried out for the investigation, in which the temperature ranged between 30 °C-79 °C. Testing revealed that the mylar paper provided better reflectivity and thermal performance than the aluminum used; In addition, it was observed that by painting the cooking container and the grill matte black, the thermal performance improved.

***Keywords**: Solar cookers; solar concentrators; renewable energy; thermal energy.*

Introducción

Según el informe Perspectivas de la Población Mundial, de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) [1], actualmente en el planeta hay cerca de 8000 millones de habitantes, por lo tanto, ha surgido la necesidad de desarrollar tecnologías más amigables con el medio ambiente, que permitan obtener resultados favorables para el hombre. Esto ha provocado que durante los últimos años se fomente el uso de las energías renovables, de las cuales, la energía solar destaca debido a que se puede aprovechar en una amplia variedad de aplicaciones: energía fotovoltaica y energía térmica solar; la primera aprovecha la luz solar para producir energía mediante celdas fotovoltaicas, y la segunda absorbe la energía solar y la transforma en calor [2].

La energía térmica solar se puede aprovechar en aplicaciones domésticas y comerciales, como secados, calefacción, refrigeración, cocción, etc [3]. En los últimos años las cocinas solares han atraído la atención debido a que la energía requerida para cocinar representa aproximadamente el 36 % de la energía primaria consumida a nivel mundial. Por lo tanto, las cocinas solares tienen un gran potencial en el sector doméstico [4].

Una cocina solar es un dispositivo que absorbe la radiación solar, la retiene, transmite y transfiere el calor a los alimentos a través de las paredes del recipiente de cocción, esto puede usarse para calentar o cocinar alimentos o bebidas, y procesos vitales como la pasteurización y la esterilización [5].

Una de las grandes ventajas de la cocina solar es que debido a que utiliza energía solar, se reducen los riesgos para la salud asociados con la quema de madera, estiércol y queroseno en los hogares rurales y reducir la

 ISSN: 2007 8102

deforestación [6]. En el 2018 en México se reportó que más de 9,154 muertes se asocian anualmente con el riesgo de contaminación del aire dentro del hogar, cifra equivalente a una muerte por hora [7].

Las cocinas solares se pueden dividir en tres categorías principales [8]:

- Cocinas de paneles solares; son los diseños más comunes debido a su bajo costo, fácil de construir y portabilidad. El diseño es ideal para personas que viajan o viven solas, sin embargo, estas cocinas proporcionan una potencia de cocción limitada, que no es apropiada para alimentos difíciles de cocinar.
- Cocinas de caja; estas cocinas consisten en un diseño en forma de caja aislada en donde se realiza la cocción, acristalamiento transparente para el aislamiento térmico y transmisor de luz solar sobre el área de cocción.
- Cocinas parabólicas; difieren de los otros dos tipos en termino de rendimiento térmico, debido a la energía que concentra puede alcanzar temperaturas más altas.

En Latinoamérica se registran los primeros experimentos con cocción solar en 1940. El equipo de trabajo de María Telkes diseñó innovadores modelos para hornos solares entre 1950 y 1970, que inspiraron a decenas de investigadores en todo el mundo [9]. El año pasado, Komolafe [10] en su trabajo: “Design, Fabrication, and Thermal Evaluation of a Solar Cooking System Integrated With Tracking Device and Sensible Heat Storage Material”, expuso que existe una necesidad urgente de innovar las técnicas de fabricación y utilización de las cocinas solares debido al calentamiento global derivado del uso de combustibles fósiles, tanto en las zonas rurales como en las urbanas. El grupo de trabajo de Sagade [11] indicó que la relación optotérmica de la cocina solar, es decir, que las geometrías y áreas diferentes actúan como parámetros de rendimiento térmico. Entonces, actualmente, el desarrollo y empleo de estos equipos es fundamental para implementar o mejorar el uso de las energías renovables [12].

Por lo anterior, en este proyecto se diseñó y construyó un concentrador solar con geometría parabólica, empleando materiales reciclados, para la aplicación en cocinas solares. El diseño del concentrador se dividió en tres partes, punto focal, plato parabólico y una estructura metálica de soporte del sistema. Se reutilizó un plato de antena parabólica adaptándolo a las dimensiones del diseño, la estructura metálica de soporte se fabricó en forma de caballete, y se utilizaron tubos galvanizados para su construcción y así obtener mejor fijación del plato parabólico y facilitar su manejo.

Metodología

Para el diseño del concentrador solar se utilizó el software de AutoCAD versión 2015. Se incorporó un tramo de tubo galvanizado en la parte céntrica de la pieza trapezoidal ayudando a sujetar la parrilla y de esta manera se consiguió la altura del punto focal donde se colocó el recipiente de cocción. Para la parrilla se utilizó una malla metálica desplegable (**Figura 1**).

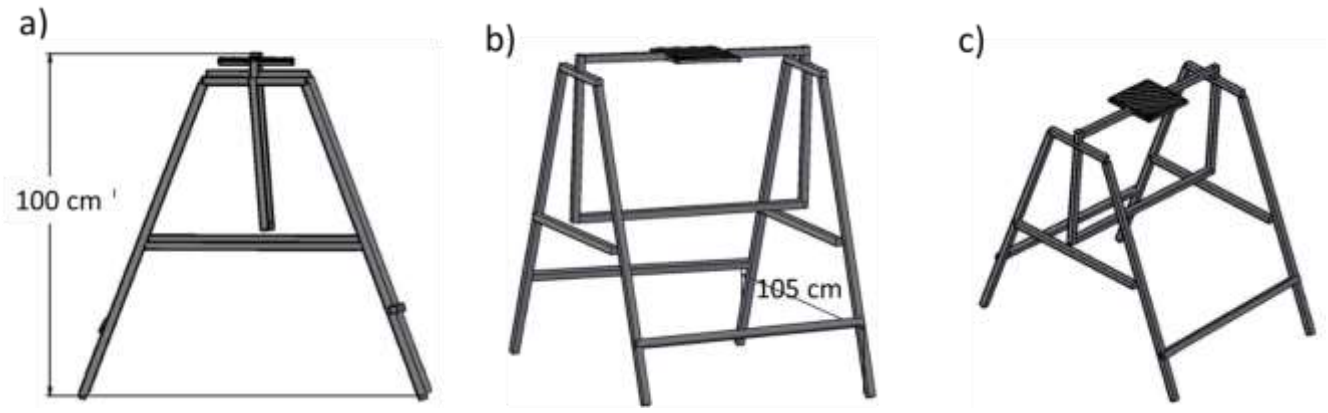


Figura 1. Diseño general del concentrador solar: a) Lado izquierdo del equipo, b) Lado esquinal izquierdo del sistema de soporte del equipo y c) Vista superior del equipo.

 ISSN: 2007 8102

Las pruebas se realizaron siguiendo la metodología de Paul Funk [13], esta metodología se aplica a concentradores solares de concentración de energía, con una cocina solar de tipo concentrador parabólico con un diámetro de apertura de 66 cm y una distancia focal de 50.5 cm y una profundidad de 5 cm. Se utilizó un recipiente de aluminio con un diámetro 20 cm, una altura de 10 cm y una masa de 0.595 kg, como utensilio de cocina. Los experimentos seleccionados se realizaron bajo condiciones de prueba de calentamiento, con diferentes condiciones de carga que varían de 1 kg a 2.5 kg.

Los experimentos se llevaron a cabo en el Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología Aplicada de Tabasco (CICTAT) (18°04’32.4” N 93°10’10.6” W), durante 3 días. Los registros de los parámetros climáticos, tiempo, radiación solar, velocidad del viento, masa del agua y del recipiente de cocina, así como la temperatura del agua y la temperatura ambiente se realizaron de forma manual.

Para la obtención de los datos la cocina fue operada en días soleados y parcialmente soleados, del mes de marzo, en un horario de 9:00-16:00 horas, ya que la radiación solar es mayor y la velocidad de viento baja. Las pruebas se realizaron al aire libre, se utilizó papel mylar y aluminio para el recubriendo del plato parabólico. Se registró el tiempo con intervalos de 10 minutos, la temperatura dentro del recipiente con agua, la temperatura de la parrilla, radiación solar y velocidad del viento.

La metodología de Paul Funk se caracteriza por ser de un estándar sencillo en los cálculos, pero muy importante en la realización de las prácticas comparativas, debido que, al realizar las pruebas se tiene que cumplir con un procedimiento especifico, ya que, que se invalida si es realizado en vientos mayores de 2.5 m/s, baja insolación y temperatura ambiente [13].

Las especificaciones técnicas de la instrumentación que se utilizó para la medición de varios parámetros asociados se muestran en la **Tabla 1.**

Tabla 1. Equipos utilizados en la realización de pruebas

Parámetro	Equipo	Tipo/marca
Radiación solar	Piranómetro	Kipp y Zonen, CMP 3 Serie N°: 141595.
Velocidad del viento	Anemómetro	Mastech
Temperatura ambiente, parrilla y recipiente	Termómetro infrarrojo	Helect
Peso del recipiente y agua	Balanza	Maigas
Tiempo de prueba	Cronómetro	Comercial

Diseño y construcción del concentrador solar

- Construcción del soporte del sistema: el soporte del dispositivo se realizó en forma de caballete, se construyeron 2 piezas en forma de trapecio y 2 piezas horizontales, estas piezas se ajustaban a los extremos de las piezas en forma de trapecio y fueron sujetadas con tornillos (**Figura 2 a-e**). Se utilizaron tubos galvanizados de ½ pulgada, soldadura eléctrica con electrodos de 1/8, tornillos de 3 pulgadas como se muestra en la **Figura 2-f)**. El soporte se construyó con la finalidad de que fuera portátil, de fácil armado, excelente estabilidad y que fuera capaz de soportar mayor carga.

- Construcción del soporte del recipiente o parrilla: este soporte se unió a dos tramos de tubos galvanizados de ½ pulgada, esta unión se hizo a los costados de la parrilla. La parrilla se construyó con malla de metal desplegado, la cual se soldó con soldadura eléctrica con electrodos de 1/8, además, la parrilla se sostuvo al

 ISSN: 2007 8102

soporte del dispositivo en las partes superiores de las piezas trapezoidales con tornillos de 3 pulgadas (ver **Figura 2**).

- Construcción del disco parabólico: se utilizó el diseño de las antenas de servicio satelital de forma parabólica, se le ajustó un soporte en forma rectangular que se construyó con tubos galvanizados de ½ pulgada y que fueron soldados con electrodos de 1/8, lo que ayudó a mantener sujeto el disco.

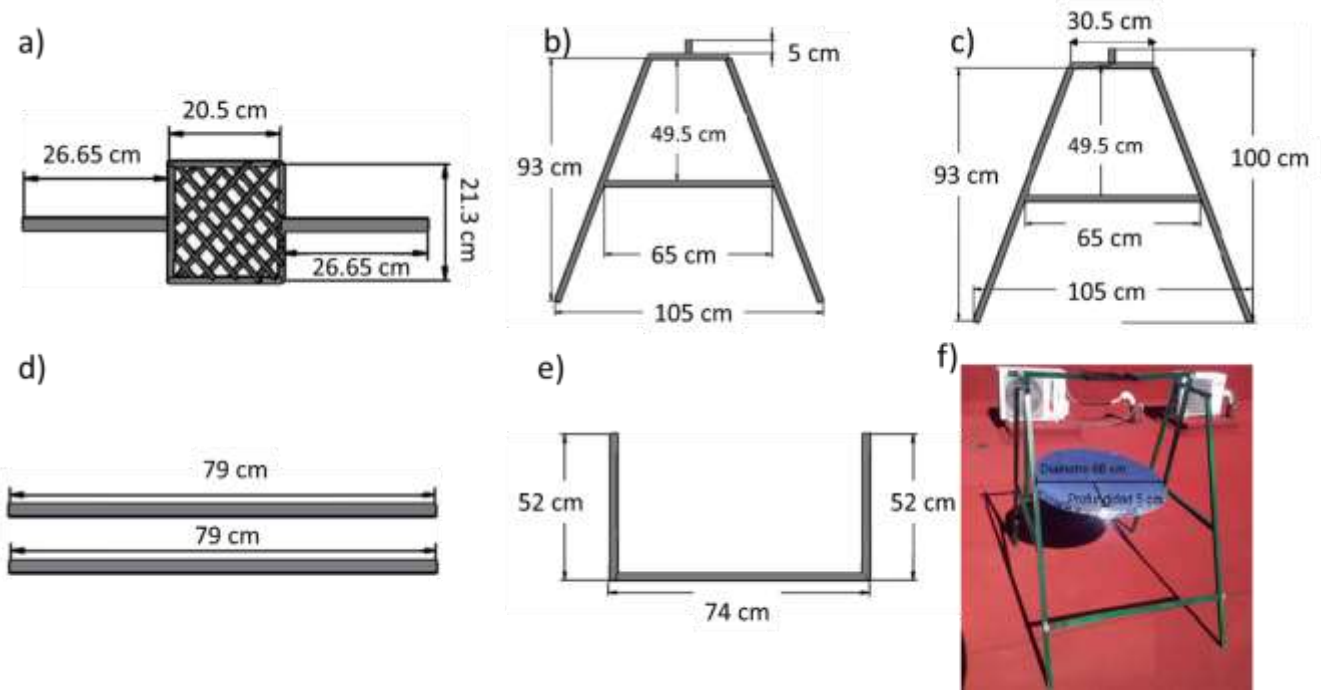


Figura 2. Diseño de las piezas que conforman el dispositivo: a) Parrilla o punto focal, b) Pieza 1, en forma de trapecio del sistema de soporte del equipo, c) Pieza 2, en forma de trapecio del sistema de soporte del equipo, d) Piezas horizontales, e) Soporte del plato en forma rectangular y f) Plato parabólico.

En general, se creó un sistema de movimiento, que mantuvo la orientación hacia el sol y la radiación concentrada hacia el punto focal (soporte del recipiente). El disco parabólico se pintó con pintura de aerosol con acabado cromo, se cubrió con una capa de 0.05 mm de espesor de pegamento cola blanca rápida, este pegamento presentó secado rápido. Para el recubrimiento se empleó papel aluminio y mylar de 0.2 mm de espesor, estos materiales tienen una reflectividad mayor al 70%, buena resistencia y soportan temperaturas mayores a los 100 °C.

Protocolo de prueba.

El rendimiento de las cocinas se caracteriza en términos de dos parámetros de rendimiento: la potencia de cocción y el coeficiente de pérdida de calor. La potencia de cocción ajustada se determinó a partir de la potencia de cocción estandarizada de la cocina solar [14].

A continuación, se indica la metodología que se siguió para el cálculo de la potencia de los concentradores solares [15]:

1. Se registró la temperatura promedio del agua en el recipiente dentro del dispositivo, se realizó en intervalos de 5 o 10 min.

2. Se calculó la potencia de cocción (Pc). La variación en la temperatura del agua se multiplicó por la masa (kg) y calor especifico del agua, 4186 J/Kg°C, contenida en el recipiente, luego este producto se dividió por 300 o 600 segundos.

 ISSN: 2007 8102

$$Pc = \frac{mCpdT}{dt} \qquad (1)$$

$$Pc = \frac{mCp(T - Ti)}{t} \qquad (2)$$

3. Se registró el promedio de insolación temperatura ambiente y temperatura del contenido del recipiente en cada intervalo.

4. Se corrigió la estandarización de la potencia de cocción o potencia de cocción ajustada (Ps), por una insolación estándar de 700 W/m^2.

$$Ps = \frac{Pc\ 700}{I} \qquad (3)$$

5. Se registró la temperatura para cada intervalo, como el promedio de la temperatura del contenido del recipiente.

6. Se graficó la potencia estándar *vs* diferencia de temperatura para cada intervalo.

7. Se realizó una regresión en el gráfico para encontrar una relación entre la potencial de cocción y la diferencia de temperatura.

8. Se realizó la medida del funcionamiento para el valor estándar de la potencia de cocción, para lo cual se registró la diferencia de temperaturas entre el agua y el ambiente, con esto se obtuvo la potencia de cocción para el concentrador solar.

9. Se graficó la relación entre potencia de cocción estándar y la diferencia de temperatura entre el agua y el ambiente

Resultados y discusión

Las pruebas se trabajaron con una olla de aluminio, una tapa de vidrio pintada de negro mate, a diferentes volúmenes de agua:

- 1 litro de agua que equivale 1 kg con el recipiente tapado.
- 2 litros de agua que equivale 2 kg con el recipiente tapado.
- 2.5 litros de agua que equivale 2.5 kg con el recipiente tapado.

En las pruebas se observó que al momento de colocar la olla de cocción con diferentes masas de agua con los dos materiales utilizados, papel mylar y aluminio, se obtuvieron temperaturas en el mismo rango. Este hecho indicó que el sistema puede acceder fácilmente a mayores temperaturas.

Temperatura del agua dentro del recipiente y ambiente

En el concentrador solar de mylar (CSM), se trabajó bajo las siguientes condiciones de operación: plato con recubrimiento de papel mylar, a una altura focal de 50.5 cm, con una olla de aluminio con una masa de 0.467 kg y una tapa de vidrio con una masa de 0.125 kg, durante un periodo de 5 horas y una temperatura ambiente entre los 28 y 35 °C. Transcurrido el día 1, la parrilla presentó una temperatura máxima de 105.2 °C y para el recipiente fue de 78.9 °C; durante los primeros 3 días se apreció una disminución en la temperatura del concentrador y el recipiente, provocando con ello una disminución de temperatura y de igual manera una cocción lenta, dicho comportamiento es común en días nublados, ya que durante este lapso la irradiación es difusa y los rayos de luz proporcionados no son intensos y conforme pasan los días el sistema tiende a alcanzar un estado de temperatura

ISSN: 2007 8102

mayor de 30°C. La temperatura se mantuvo en un rango de 30 a 78.9 °C, pero para el día 2 se alcanzó un máximo de 75 °C, en el día 3 se obtuvieron temperaturas de 32 a 65.6 °C, debido a que las pruebas se realizaron en un día parcialmente soleado.

Para el concentrador solar con papel aluminio (CSA), las características de operación fueron las mismas que en prueba anterior, CSM. Para el día 1 se obtuvo una temperatura máxima de 70 °C, el día 2: 68.4 °C y para el 3er día fue de 61.9 °C. En comparación al papel mylar se obtuvieron temperaturas promedio de 60 ºC, debido a que el papel de aluminio es un material sensible y al colocarlo en el plato se crearon pequeñas deformaciones que perjudicaron a los rayos del sol, ya que provocó que los rayos procedentes del sol se dispersaran en diferentes direcciones y no en el punto focal.

Radiación solar, velocidad de viento

La radiación solar después del día 1 fue de 958 W/m^2, presentando velocidad de viento de 0.139 a 4.11 m/s, esto fue consecuencia del estado climático que afectó la concentración del haz de luz para obtener temperaturas altas. Para el 2do día la radiación solar alcanzó 889 W/m^2 y para el 3er día fue de 1032 W/m^2.

Este concentrador también se colocó entre los rangos estables de radiación de 600 a 950 W/m^2, por lo que se contó con generación de calor a partir del día 1, porque logró temperaturas de 78.9 °C en el recipiente de cocción y 105.2 °C en la parrilla. La velocidad del viento se mantuvo menores de 2 m/s la mayor parte del tiempo.

Debido al mal estado climático se tuvieron afectaciones en la realización de las pruebas provocando temperaturas bajas que no satisfacen los parámetros que se deseaban para obtener temperaturas altas en menor tiempo. La radiación difusa causo que la cantidad de rayos solares fuese baja. La intensidad de radiación que cae sobre los sistemas solares se ve afectado por la estación de la tierra. En consecuencia, la cantidad de energía producida por estos sistemas depende directamente de la cantidad de radiación solar [16]. Dependiendo de la geometría de la superficie, la luz del sol se puede concentrar en varios órdenes de magnitud y producir temperaturas mayores de los 65°C [17].

Potencias y diferencia de temperatura

Utilizando la ecuación 1, se obtuvieron los valores de potencia de cocción de las pruebas durante los intervalos de tiempo y las temperaturas trabajadas, los cuales se resumen en la **Tabla 2**. Los valores de potencia negativos obtenidos representan la perdida de calor y la disminución de la temperatura que se observó durante la realización de las pruebas, que se atribuyen a las condiciones climáticas y a la orientación de la cocina solar. Funk menciona en su metodología que la potencia de cocción para cada intervalo debe corregirse a una insolación estándar de 700 W/m, utilizando la ecuación 3.

Tabla 2. Valores de Potencia de cocción calculados por día y material utilizado, empleando regresión lineal.

Día	Mylar	Aluminio
1	-0.95	-0.16
2	-0.95	-0.93
3	0.13	0.03

En la **Figura 3** se presenta el método de regresión lineal para encontrar la relación entre la potencia estándar y la diferencia de temperatura de los experimentos realizados. Se hicieron 6 pruebas usando equipos precisos que ayudaron a conocer las variables de interés. Los resultados no fueron los esperados, debido a diferentes factores como; condiciones meteorológicas, la velocidad de viento, el recipiente de cocción, orientación del plato, los materiales de construcción, obtención de los datos y la deformación del material al colocarlo en el plato, ya que si el material recibe deformaciones esto provoca que los rayos de luz se dispersen y no se concentren en la parrilla.

 ISSN: 2007 8102

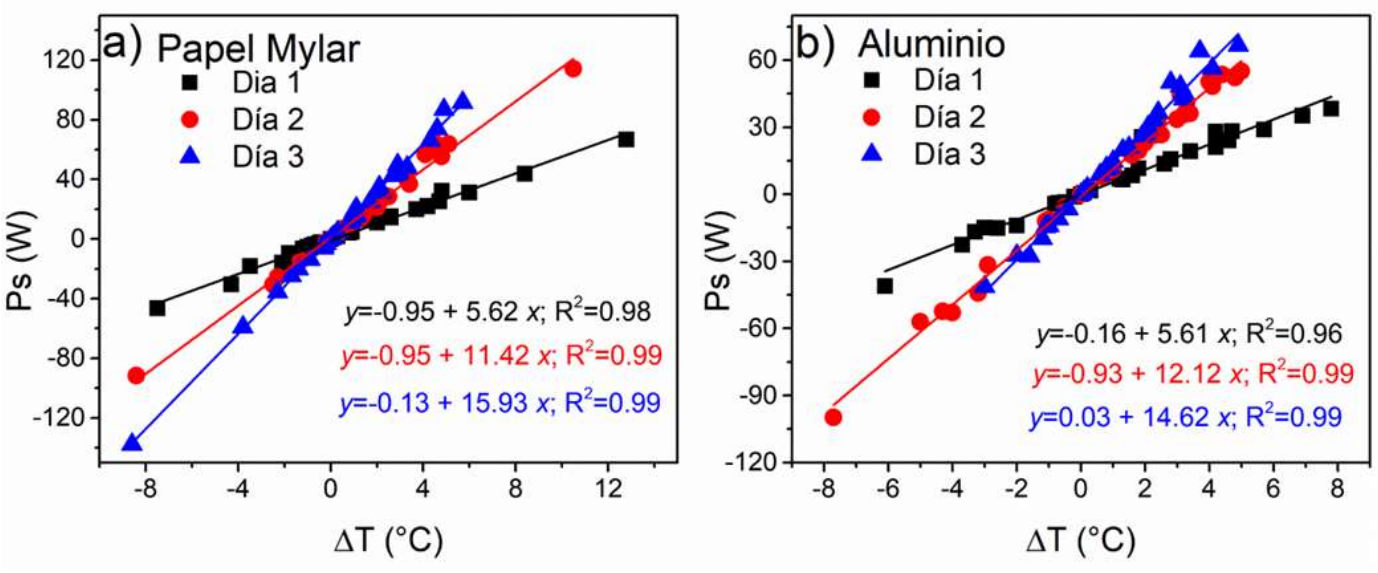


Figura 1. Regresión lineal de potencia vs diferencia de temperatura de los tres días de pruebas utilizando a) papel mylar y b) aluminio.

Cabe mencionar que la inclinación u orientación que se le proporcionó al plato fue de gran importancia, debido a que el reflector parabólico ve mermada su eficiencia debido a errores de inclinación [18].

Trabajo a futuro

Realizar las pruebas en los meses de abril y mayo, en un horario de 9-16 horas, ya que son los meses del año en que los días son menos nublados. Además, con la intención de mejorar el rendimiento térmico se pueden hacer modificaciones en los experimentos y tener otros parámetros a considerar como: el pintar el recipiente de aluminio de negro mate, automatizar el proceso de obtención de datos, uso de sensores de temperatura, utilizar papel aluminio más reflejante.

Conclusiones

Se trabajó en el diseño y construcción de un concentrador solar con materiales reciclados, con fines de uso doméstico para reducir los gases de efecto invernadero, que tanto aquejan al planeta. El armado, transporte y uso del concentrador solar fue fácil de realizar. En este dispositivo se alcanzaron temperaturas de hasta 105°C, lo que resulta prometedor para estas tecnologías, sin embargo, el concentrador se vio afectado por la nubosidad y la velocidad del viento. Se observó que el material que se empleó para recubrir el recipiente que se utilizó para preparar los alimentos afectó el rendimiento de este. Para las condiciones climáticas del sur-sureste del país, se recomienda utilizarlo de 10 de la mañana a 4 de la tarde. Bajo las condiciones de operación el papel mylar proporcionó mejor reflectividad y rendimiento térmico del dispositivo.

Referencias

[1] Naciones Unidas, “La población mundial llegará a 8000 millones en 2022,” Jul. 2022. https://news.un.org/es/story/2022/07/1511502 (accessed May 24, 2023).

[2] Y. Pathak, N. P. Salunke, and P. G. Damle, “Effect of nano materials for the nano fluids in solar thermal energy: A review on applications in solar collector,” *Mater Today Proc*, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.344.

[3] E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A. A. Adelodun, and K.-H. Kim, “Solar energy: Potential and future prospects,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 894–900, 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094.

 ISSN: 2007 8102

[4] H. M. Wassie, M. Z. Getie, M. S. Alem, T. B. Kotu, and Z. M. Salehdress, “Experimental investigation of the effect of reflectors on thermal performance of box type solar cooker,” *Heliyon*, vol. 8, no. 12, p. e12324, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12324.

[5] A. Herez, M. Ramadan, and M. Khaled, “Review on solar cooker systems: Economic and environmental study for different Lebanese scenarios,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 421–432, 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.021.

[6] I. Edmonds, “Low cost realisation of a high temperature solar cooker,” *Renew Energy*, vol. 121, pp. 94–101, 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.010.

[7] M. González-Avilés, O. R. Urrieta, I. Ruiz, and O. M. Cerutti, “Design, manufacturing, thermal characterization of a solar cooker with compound parabolic concentrator and assessment of an integrated stove use monitoring mechanism,” *Energy for Sustainable Development*, vol. 45, pp. 135–141, 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.05.006.

[8] P. M. Cuce, “Box type solar cookers with sensible thermal energy storage medium: A comparative experimental investigation and thermodynamic analysis,” *Solar Energy*, vol. 166, pp. 432–440, 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.03.077.

[9] Edurne Gaston Estanga, “Vidas Científicas: Mária Telkes, pionera de la energía solar,” Dec. 29, 2022. https://mujeresconciencia.com/2022/12/29/maria-telkes-pionera-de-la-energia-solar/ (accessed May 24, 2023).

[10] C. A. Komolafe and C. E. Okonkwo, “Design, Fabrication, and Thermal Evaluation of a Solar Cooking System Integrated With Tracking Device and Sensible Heat Storage Materials,” *Front Energy Res*, vol. 10, Mar. 2022, doi: 10.3389/fenrg.2022.821098.

[11] A. A. Sagade, X. Apaolaza-Pagoaga, C. R. Ruivo, and A. Carrillo-Andrés, “Concentrating solar cookers in urban areas: Establishing usefulness through realistic intermediate temperature rating and grading,” *Solar Energy*, vol. 241, pp. 157–166, 2022.

[12] A. Aquilanti, S. Tomassetti, G. Coccia, M. Muccioli, and G. Di Nicola, “Experimental characterization and performance comparison of four prototypes of panel solar cooker for low to high sun elevations,” *J Clean Prod*, vol. 390, p. 136158, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136158.

[13] S. Talbi, K. Kassmi, O. Deblecker, and N. Bachiri, “Thermal heating by photovoltaic solar energy,” *Mater Today Proc*, vol. 13, pp. 1125–1133, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.04.080.

[14] X. Apaolaza-Pagoaga, A. A. Sagade, C. Rodrigues Ruivo, and A. Carrillo-Andrés, “Performance of solar funnel cookers using intermediate temperature test load under low sun elevation,” *Solar Energy*, vol. 225, pp. 978–1000, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.08.006.

[15] F. Cano Ardila, J. D. Giraldo Quintero, and S. Agudelo Flórez, “Performance and determination of Concentration Ratio for a parabolic solar concentrator using a thermographic technique,” *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, no. 100, pp. 133–141, 2021.

[16] G. M. Moelich, J. E. van Zyl, N. Rabie, and R. Combrinck, “The influence of solar radiation on plastic shrinkage cracking in concrete,” *Cem Concr Compos*, vol. 123, p. 104182, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104182.

[17] A. Mohammadi and M. Mehrpooya, “A comprehensive review on coupling different types of electrolyzer to renewable energy sources,” *Energy*, vol. 158, pp. 632–655, 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.073.

[18] S. Sasidharan and P. Dutta, “Optical characterization of a fixed focus Scheffler reflector for pressurized solar receiver testing,” *Solar Energy*, vol. 227, pp. 89–100, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.08.078.

 ISSN: 2007 8102

Desarrollo de biopelículas de almidón como empaques de alimentos reforzadas con nanopartículas de grafeno

Marlene Jiménez Rosas[1], José Amir González Calderón[2], Eusebio Bolaños Reynoso[1], Leticia López Zamora[1*],
[1]*División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba.*
leticia.lz@orizaba.tecnm.mx
[2]*Instituto de Física, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.* amir@uaslp.mx

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

El almidón es el polisacárido vegetal más popular que se ha utilizado ampliamente para el desarrollo de recubrimiento de alimentos debido a su abundancia, bajo costo y versatilidad. Las propiedades de las películas a base de almidón pueden verse influenciadas por muchos factores, incluido el tipo de almidón, la temperatura y el tiempo durante la formación de la película, los plastificantes y las condiciones de almacenamiento. Sin embargo, las limitaciones de rendimiento, como menor resistencia mecánica y menores propiedades de barrera, limitan la aplicación del almidón en la industria del envasado, por lo cual, las propiedades de las películas a base de almidón se pueden mejorar agregando grupos de refuerzo como nanopartículas de grafeno. Este trabajo se centra en el almidón como material de recubrimiento y se determinan las combinaciones óptimas de almidón de maíz, papa y yuca con nanopartículas funcionalizadas, analizando los efectos principales de la adición de nanopartículas en las propiedades de las películas.

***Palabras clave**: Biopelículas, almidón, grafeno, nanotecnología.*

Abstract

Starch is the most popular plant polysaccharide that has been widely used for food coating development due to its abundance, low cost, and versatility. The properties of starch-based films can be influenced by many factors, including starch type, temperature and time during film formation, plasticizers, and storage conditions. However, performance limitations, such as lower mechanical strength and lower barrier properties, limit the application of starch in the packaging industry, therefore, the properties of starch-based films can be improved by adding reinforcing groups such as graphene nanoparticles. This work focuses on starch as a coating material and the optimal combinations of corn, potato, and cassava starch with functionalized nanoparticles are determined, analyzing the main effects of nanoparticle addition on film properties.

***Keywords**: Biofilms, starch, graphene, nanotechnology.*

Introducción

La producción de plásticos excesiva durante los últimos años es una preocupación importante, al provenir principalmente de la ingeniería petroquímica, que depende en gran medida de los recursos de petróleo no renovables, provoca una grave contaminación al medio ambiente mundial al igual que acelera el agotamiento de los recursos petroleros la producción masiva de plástico. Es por esa razón que el desarrollo de los materiales de empaque de alimentos se encuentra en rápido desarrollo, a partir del almidón pueden desarrollarse alternativas de empaques biodegradables y que puedan sustituir los materiales plásticos que tardan años en degradarse por aquellos que sean renovables.

El motivo principal de esta investigación es obtener materiales de empaques biodegradables derivados de recursos renovables como lo es el almidón y la maltodextrina, incrementando su resistencia térmica y mecánica

 ISSN: 2007 8102

mediante la incorporación de nanoaditivos a la matriz de los polímeros. Se han elegido estos materiales dadas sus atractivas características tales como: disponibilidad, bajo costo, comportamiento termoplástico, es renovable, comestible, abundante y biodegradable. Sin embargo, su uso ha sido restringido por algunas limitaciones en aplicaciones específicas debido a su solubilidad en agua y fragilidad [1, 2].

Por otro lado, la nanotecnología ha tenido gran impacto en la industria alimentaria, mediante el uso de nanopartículas se ha transformado la forma de procesar, conservar y envasar los alimentos al modificar la estructura del polímero. La introducción de partículas nanométricas en una matriz polimérica es una estrategia bastante utilizada para producir materiales híbridos con propiedades específicas, especialmente para solucionar la baja resistencia mecánica de polímeros obtenidos de fuentes naturales [2, 3].

El grafeno como material de refuerzo, ha sido una de aplicaciones más prometedoras que han surgido del estudio de este extraordinario material en los últimos años. Los envases para alimentos basados en nanopartículas de grafeno han hecho posible el transporte seguro sin que cambie el sabor, las propiedades y la calidad de estos. Además, también previene la contaminación y mantiene las propiedades mecánicas, fisiológicas, físicas y químicas de los alimentos teniendo valores bajos de toxicidad según algunos estudios que se han realizado [3, 4, 5] y representando una barrera biológica que controla el crecimiento microbiano y el intercambio de gases y brinda protección contra la humedad conservando una apariencia fresca, brillo y color que son las propiedades que demuestran que un alimento se encuentra en buen estado. Estas modificaciones en los materiales pueden significar aumentos en el almacenamiento tiempo del producto, menos pérdida de químicos, físicos y características organolépticas, además de facilitar el transporte [5, 6].

Metodología

Modificación de las Nanopartículas de Grafeno

La modificación de las nanopartículas se realizó agregando grupos amino ($-NH_2$) con el fin de mejorar significativamente las propiedades del material. Para el grafeno silanizado se incorporó del agente de acoplamiento 3-Aminopropiltrietoxisilano (APTES) de manera superficial en el grafeno. Se incorporó intercalando agitación con sonicado, se agregó 1 mL del APTES y 1 mL de agua para promover la hidrólisis en la reacción.

Para el proceso de acidificación se disolvieron 250 mg de nanopartículas de grafeno en 150 ml de una solución acuosa desionizada de HNO_3 en proporción 1:1 (v/v). El sistema se colocó a reflujo durante 72 h a 140 °C para producir defectos en las superficies de las nanopartículas de grafeno debido al proceso oxidativo. Posteriormente, la solución resultante se filtró y se lavó con agua desionizada para eliminar los ácidos restantes.

Elaboración de las biopelículas

Para preparar la solución formadora de películas (SFP) se disolvieron 2.5 g (5% w/v) de almidón de maíz, papa o yuca en 50 mL de agua destilada y 0.5 g de maltodextrina (1% w/v) manteniendo en una parrilla de agitación con calentamiento a 280 rpm, se añadió como plastificante 0.75 mL (1.5% v/v) de glicerol justo 5°C antes de llegar al punto de gelatinización sin grafeno (SG). La solución se mantuvo en calentamiento y se detuvo una vez que se alcanzó el punto de gelatinización. Las películas reforzadas se realizaron agregando una solución de 0.0035% w/v de las nanopartículas de grafeno puro (GB), grafeno silanizado (GS) y grafeno acidificado (GA) con el fin de caracterizarlas y determinar las combinaciones óptimas de nanopartículas de grafeno para validar las películas como empaques en productos alimenticios [7, 8].

Caracterización de las biopelículas

Mediante las técnicas de caracterización de materiales, se empleó la Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para confirmar la formación de enlaces químicos entre las partículas modificadas y el polímero y pruebas mecánicas para determinar los cambios ocurridos en la estructura. Se realizaron pruebas de colorimetría y solubilidad en agua y permeabilidad al vapor de agua para validar la aplicación de las biopelículas como recubrimiento de alimentos.

 ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

FTIR

El análisis de los espectros se realizó en modo transmitancia en un rango de 4000 a 450 cm^{-1} y un escaneo de 80 barridos por espectro. En la Figura 1, se presentan los espectros FTIR obtenidos para las muestras de almidón de maíz, yuca y papa, mostrando una mayor longitud de banda en 3500 cm^{-1} en las películas de yuca indicando un incremento en los grupos –OH, lo que tiene relación con los valores mayores que se presentaron de solubilidad en estas biopelículas. Se puede observar la correcta interacción entre los componentes, al insertar los grupos funcionales activos en la superficie de las partículas y aumentando la posibilidad de formar enlaces químicos entre las nanopartículas modificadas y la estructura del polímero, logrando una mejor fuerza de adhesión. En las películas de maíz y papa la flexión C-O asociada con el grupo OH provocó un pico de absorbancia de alrededor de 1647 cm^{-1}, que confirma el alto grado de gelatinización.

Solubilidad en agua

Es importante reducir la solubilidad en agua para mejorar la aplicación de las películas a base de almidón como material de envasado biodegradable. En la Tabla 1 se muestra el porcentaje de solubilidad de las películas elaboradas con almidón de maíz, papa y yuca adicionadas con nanopartículas de grafeno funcionalizado. Los mejores resultados se presentaron en las películas MGB (7.12%) y PGA (7.52 %), obteniendo una mejora al comparar con los resultados que presentan Datta y Halder con valores de 40.26 % en películas de maíz y 15.64 % para películas a base de papa [9].

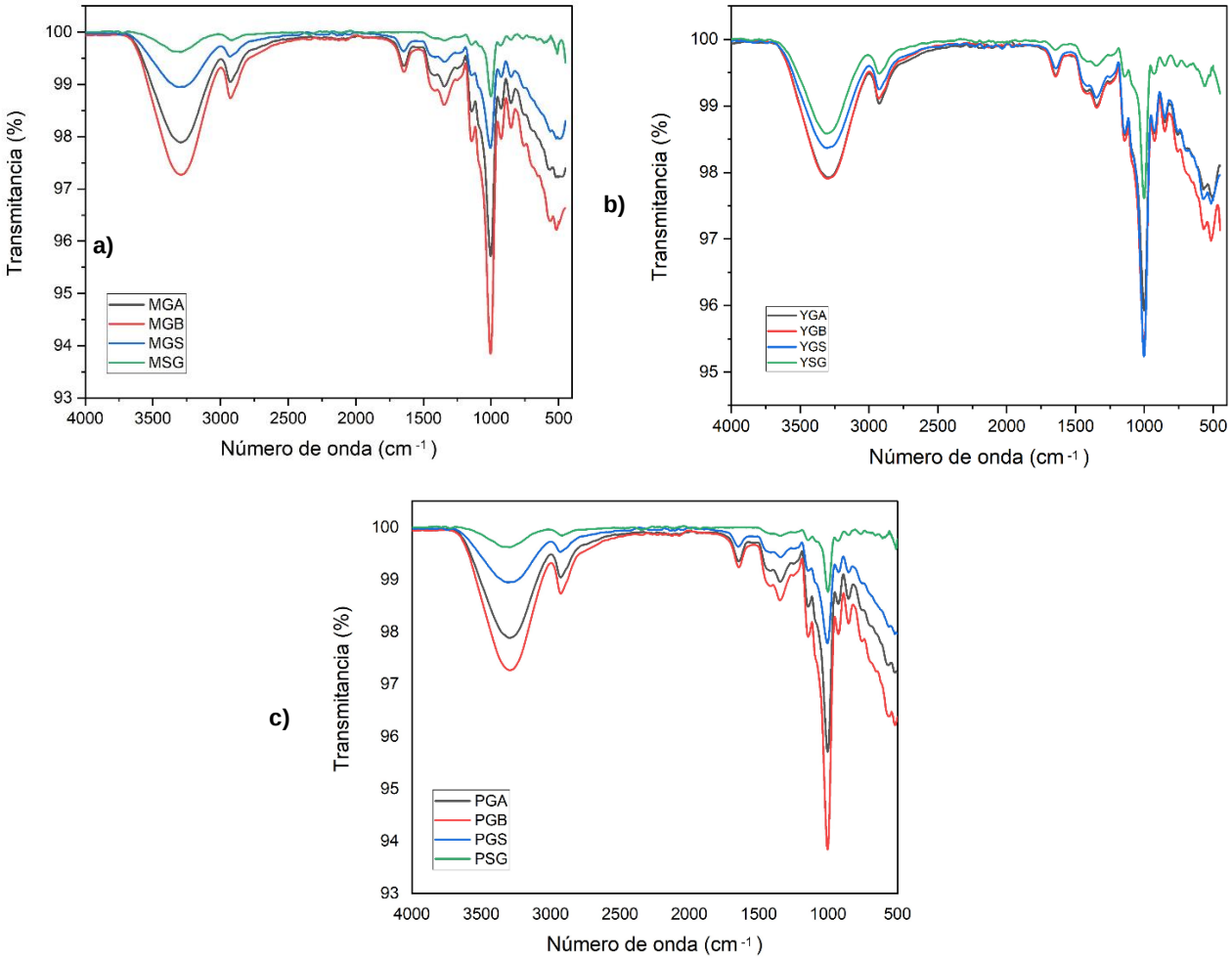


Figura 1. Espectro FTIR de biopelículas de (a) almidón de maíz (b) almidón de yuca (c) almidón de papa

 ISSN: 2007 8102

Las películas YGS presentaron la mayor solubilidad con un 13.54 % seguido de las películas YGA con 13.42 %. Se requiere la necesidad de reducción de la solubilidad en agua para mejorar la aplicación potencial de las películas a base de almidón como material de envasado biodegradable. Estos valores obtenidos concuerdan con los resultados de FTIR, en donde se observa un incremento en la banda de 3000 cm^{-1} a 3500 cm^{-1}, que representa el incremento de los grupos -OH, lo que quiere decir que presentan mayor solubilidad en agua [10].

Tabla 1. Resultados de solubilidad en agua de películas de maíz, yuca y papa.

Almidón de Maíz	Solubilidad (%)	Almidón de Yuca	Solubilidad (%)	Almidón de Papa	Solubilidad (%)
MSG	4.34	YSG	5.98	PSG	4.22
MGB	7.12	YGB	11.23	PGB	8.13
MGS	12.65	YGS	13.54	PGS	13.35
MGA	8.27	YGA	13.42	PGA	7.52

Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

La permeabilidad al vapor de agua (WVP) es una propiedad de barrera de la película para demostrar la capacidad de las películas para retener el vapor de agua fuera del alimento. Se espera que la película no transmita fácilmente el vapor de agua del entorno [11].

El mayor valor de WVP indica que la película, en su aplicación como material de empaque, será una barrera insuficiente, ya que la humedad podría penetrar en la película y provocar el daño del producto en el empaque. Se han realizado estudios sobre la adición de nanopartículas en la formación de películas de almidón y se encontró que el grado de dispersión de las nanopartículas a lo largo de la matriz biopolimérica puede estar relacionado con la mejora de la propiedad de barrera al vapor de agua de la biopelícula original [11, 12].

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2 en donde se observa que la adición de nanopartículas de grafeno funcionalizado permitió disminuir la permeabilidad al vapor de agua de las películas. El agregado de plastificante fue necesario para mejorar las propiedades mecánicas y contribuyó además a disminuir la permeabilidad del vapor de agua, siendo la concentración óptima de glicerol 1.5 %.

Tabla 2. Permeabilidad al vapor de agua de películas de almidón de maíz, yuca y papa.

Almidón de Maíz	PVA (%)	Almidón de Yuca	PVA (%)	Almidón de Papa	PVA (%)
MSG	5.1233	YSG	3.9697	PSG	3.6574
MGB	4.8750	YGB	4.0156	PGB	4.7644
MGS	4.3872	YGS	3.5433	PGS	3.9842
MGA	3.9468	YGA	2.9876	PGA	2.7246

Los mejores resultados se presentan en las películas PGA y YGA con valores de 2.72 % y 2.98 % respectivamente, con una diferencia del 22.96% para almidón de papa y 24.93 % en comparación con las películas sin grafeno. Al comparar los resultados, estos coinciden con los presentados por Montero *et al*. y Warsiki *et al*. en donde indican que, la presencia predominante de amilopectina en la composición del almidón de yuca y papa hacen su estructura semicristalina y baja hidrofilia y que el factor principal para disminuir la permeabilidad es la modificación del almidón. Esta propiedad es crítica en el desarrollo de envases para alimentos ya que una de las principales funciones de éstos es disminuir la transferencia de humedad entre el alimento y la atmósfera que lo rodea.

 ISSN: 2007 8102

Pruebas de cambio de color

La medición del color en los alimentos es un parámetro muy importante, ya que esta característica determina la aceptación o rechazo del producto para su consumo [13]. Las pruebas aplicadas a las biopelículas revelaron diferencias significativas para cada parámetro de color CIELa*b* (L*, a* y b*) en relación con el tipo de nanopartículas utilizadas que se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de los parámetros CIELa*b*.

ID	L	a	B	DE*	DC*	DH*
PSG	15.91	0.02	-0.13			
PGB	12.33	-0.13	0.74	5.62	1.31	-1.21
PGS	11.64	-0.19	0.72	6.66	1.33	-1.22
PGA	17.24	-0.02	0.44	2.13	0.56	0.87
MSG	11.33	0	-2.4			
MGB	16.68	0.04	-1.62	8.16	-1.69	0.07
MGS	11.31	0.03	-2.16	0.41	-0.41	0.06
MGA	10.88	0.23	-0.89	2.85	-2.66	-0.75
YSG	10.9	-0.16	1.17			
YGB	11.8	-0.2	0.57	6.34	1.01	-1.08
YGS	12.08	-0.08	0.24	7.36	0.39	-0.75
YGA	11.9	0.34	0.38	6.79	0.14	0.3

Las muestras con nanopartículas de grafeno experimentaron variaciones perceptibles en comparación con las que no contenían nanopartículas presentando un 25 % de mayor luminosidad las películas MGS, 10.82 % las películas YGS y 26.83 % en las PGS en comparación con las MSG, YSG y PSG respectivamente. Las películas de almidón de maíz y papa son brillantes mientras que las películas de almidón de yuca son más transparentes al contener más lípidos como también observaron en investigaciones previas [13, 14].

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede determinar que el parámetro de luminosidad se encuentra muy cerca del estándar blanco con valores mayores en las películas de papa, alcanzando valores de hasta 17.24, mientras que las películas a base de yuca presentan valores hasta de 10.9, lo cual quiere decir que son mas opacas mostrando una diferencia del 58.16 %. Tanto para el almidón de yuca como el de papa se encontraron valores similares en los parámetros a (rojo) y b (amarillo). Sin embargo, las películas de maíz tenían un parámetro a (verde) y b (azul), los mismos resultados han obtenido en trabajos anteriores [14, 15].

Pruebas mecánicas

Las películas biodegradables deben resistir el estrés normal que se encuentra durante su aplicación y manipulación de los alimentos para mantener su integridad, así como sus propiedades de barrera y se caracterizan a través de un estudio de textura. Durante las pruebas realizadas se determinaron las combinaciones óptimas de nanopartículas de grafeno funcionalizadas y puras para mejorar las propiedades mecánicas, tales como módulo de Young, resistencia a la elongación y a la tensión. En la Tabla 4 se encuentran los datos obtenidos de las propiedades mecánicas de las biopelículas de almidón de maíz adicionadas con nanopartículas de grafeno puro y funcionalizadas.

Al observar los resultados de la fuerza de tracción, en la comparación de todas las películas se distingue un cambio notable durante la adición de nanopartículas, observando que los valores más altos se presentan en las películas reforzadas con las partículas funcionalizadas. Diferentes informes han documentado la mejora de la respuesta mecánica de las biopelículas de almidón al agregarles nanopartículas.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 4. Propiedades mecánicas para biopelículas elaboradas con almidón mezclado con nanopartículas de grafeno.

Muestra	Fuerza de Tensión (Mpa)	% Elongación	Módulo de Young (MPa)
MSG	2.3269	10.4	0.3342
MGB	3.1026	11.76	0.2815
MGS	3.7560	8.24	0.5648
MGA	2.1952	8.87	0.3658
YSG	0.0034	9.23	0.2492
YGB	3.2945	6.98	0.1892
YGS	3.1742	7.65	0.3674
YGA	0.0002	6.23	0.1793
PSG	2.2321	9.37	0.4590
PGB	5.9524	9.72	0.1105
PGS	6.2240	7.18	0.4926
PGA	0.0002	7.65	0.2313

Se observa que las nanopartículas de grafeno aumentaron la elongación a la ruptura de las películas. Las películas de maíz presentan mejores resultados en la elongación a la ruptura en comparación con las muestras de yuca, con una diferencia de 11.25 % para las muestras SG, 40.64 % en GB, 7.16 % en GS y 42.37 % en GA, obteniendo valores notablemente más bajos en el almidón de yuca, lo que indica que tienen menor flexibilidad.

Santana *et al.* indican que, al adicionar nanopartículas en películas a base de almidón aumenta la resistencia a la tracción y el alargamiento a la ruptura. Para las muestras con papa se observa una gran diferencia en los valores obtenidos al comparar con las muestras sin grafeno, en PGB 11.59 %, en PGS 64.13 % y en PGA 62.52 %. Estos resultados sugieren que, la mejora en la respuesta mecánica de las películas de nanocompuestos es consecuencia de la interacción entre las nanopartículas y las cadenas de almidón respaldando la aplicación de nanotecnología para el desarrollo de materiales biodegradables [16, 17].

En general, al incorporar nanopartículas de grafeno silanizado se reportó un incremento en los valores de elongación, lo que indica que se obtuvieron películas con una alta flexibilidad y capacidad de estiramiento antes de que se rompa la película. Se encontró que la resistencia máxima a la tracción de los bioplásticos se encuentra en MGS (0.5648 MPa) y YGS (0.4926 MPa), coincidiendo con otras investigaciones realizadas por Palma-Rodríguez *et al.* y Cao *et al.* que muestran que los nanocompuestos modificados con agentes silanos presentan un aumento en la rigidez y la resistencia en comparación con los polímeros puros, siendo resultados óptimos para que los bioplásticos se pueden usar como materiales de empaque, lo que amplía la aplicación del almidón en los envases de alimentos [18].

Trabajo a futuro

Para futuras investigaciones se recomienda evaluar la actividad microbiana en las biopelículas al aplicarlas sobre los alimentos e identificar cuál de las funcionalizaciones a los nanomateriales de grafeno podría ser la más viable para su aplicación en alimentos.

Conclusiones

La adición de nanopartículas de grafeno funcionalizado en el envasado de alimentos aumentó la resistencia mecánica, las propiedades de barrera y los porcentajes de solubilidad, mejorando la vida útil de los compuestos a base de almidón-maltodextrina. En general, la incorporación del grafeno reportó un incremento en la capacidad de flexibilidad y capacidad de estiramiento antes de que se rompa la película al igual que, produce biopelículas incoloras, inodoras y transparentes, que son características de los buenos materiales de empaque. La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier confirmó una correcta interacción entre los componentes, al insertar los grupos funcionales activos en la superficie de las partículas se aumentó la posibilidad de formar enlaces químicos entre las partículas modificadas y los tejidos, mejorando así su fuerza de adhesión, concluyendo que de acuerdo con los cambios obtenidos en la estructura, las biopelículas son aptas para aplicarlas como recubrimiento de alimentos y van a brindar protección a los alimentos durante el tiempo de almacenamiento y transporte.

 ISSN: 2007 8102

Entre las ventajas que presentan estas biopelículas es que pueden aumentar el tiempo de almacenamiento del producto, presentar menos pérdida de propiedades físicas y químicas y las características organolépticas, además de facilitar el transporte. Los recubrimientos comestibles a base de almidón han mostrado un gran potencial para la conservación de productos frescos, sin embargo, sus propiedades de película todavía tienen limitaciones, el grafeno al ser un material que se ha investigado recientemente, desafía su aplicación a gran escala desde el efecto en el ecosistema hasta la salud humana. La optimización de estos factores puede producir películas a base de almidón con buenas propiedades, que cumplen con los requisitos para cada tipo de producto. El objetivo actual es reducir la brecha entre las aplicaciones de las películas y los estudios relacionados sobre la salud humana y los riesgos para los ecosistemas a través de métodos de ensayo correctos, procedimientos de administración válidos, pruebas a largo plazo y suficientes datos significativos.

Referencias

[1] H. Kargarzadeh, N. Johar and I. Ahmad, “Starch biocomposite film reinforced by multiscale rice husk fiber”, *Composites Science and Technology,* Vol. 233, No. 151, pp.147-155, 2017.

[2] N. Chausali, J. Saxena and R. Prasad, “Recent trends in nanotechnology applications of bio-based packaging”, *Journal of Agriculture and Food Research*, Vol. 7, pp.100-257, 2022.

[3] T. P. Dasari Shareena, D. McShan, A. K. Dasmahapatra and P. B. Tchounwou, “A Review on Graphene-Based Nanomaterials in Biomedical Applications and Risks in Environment and Health”. *Nano-Micro Letters,* Vol. 10, pp. 10-53, 2018.

[4] X. Ding, Y. Pu, M. Tang and T. Zhang, “Environmental and health effects of graphene-family nanomaterials: potential release pathways, transformation, environmental fate and health risks”, *Nano Today*, Vol. 42, pp. 79-101, 2022.

[5] R. Arvidsson, S. Molander and B. A. Sandén, “Review of Potential Environmental and Health Risks of the Nanomaterial Graphene”, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, Vol. 19 No. 4, pp. 873–887, 2013.

[6] N. Chausali, J. Saxena, R. Prasad, “Recent trends in nanotechnology applications of bio-based packaging”, *Journal of Agriculture and Food Research*, Vol. 7, pp. 100-257, 2022.

[7] J.A. Gonzalez-Calderon, J. Vallejo-Montesinos, H.N. Martínez-Martínez, R. Cerecero-Enríquez and L. López-Zamora, “Effect of chemical modification of titanium dioxide particles via silanization under properties of chitosan/potato-starch film” *Revista Mexicana de Ingeniería Química.* Vol. 18, 1130–1134, 2019.

[8] L. López-Zamora, H.N. Martínez-Martínez, R. Cerecero-Enríquez, “Improvement of the colloidal stability of titanium dioxide particles in water through silicon based coupling agent”, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 217, pp. 285–290, 2018.

[9] D. Datta and G. Halder, “Effect of media on degradability, physico-mechanical and optical properties of synthesized polyolefinic and PLA film in comparison with casted potato/corn starch biofilm”. *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 124, pp. 39–62, 2019.

[10] E. Basiak, A. Lenart, F. Debeaufort, “Effect of starch type on the physicochemical properties of edible films”. *International Journal of Biological Macromolecules,* Vol. 98, pp. 348–356, 2017.

[11] M. K. S. Monteiro, V. R. L. Oliveira, F. K. G. Santos, E. L. Barros Neto, R. H. L. Leite, E. M. M. Aroucha, K. N. O. Silva, “Incorporation of bentonite clay in cassava starch films for the reduction of water vapor permeability”. *Food Research International*, Vol. 105, pp. 637–644, 2018.

[12] E. Warsiki, and J. T. Bawardi, “Assessing mechanical properties and antimicrobial activity of zinc oxide-starch biofilm”. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 209, pp. 2001-2003, 2018.

[13] M. Lescano, N. Vásquez, S. Tarrillo, F. F. Velásquez-Barreto, “Development and Optimization of Biofilms Made from Potato or Arracacha Starch”. *Starch Journal*. Vol. 73, pp. 210-275, 2021.

[14] E. Basiak, A. Lenart and F. Debeaufort, “How Glycerol and Water Contents Affect the Structural and Functional Properties of Starch-Based Edible Films”. *Polymers,* Vol. 10, No. 4, pp. 412-417, 2018.

[15] D. Muscat, R. Adhikari, S. McKnight, Q. Guo and B. Adhikari, “The physicochemical characteristics and hydrophobicity of high amylose starch–glycerol films in the presence of three natural waxes”. *Journal of Food Engineering, Vol.* 119, No. 2, pp. 205–219, 2013.

[16] J. S. Santana, É. K. de Carvalho Costa, P. R. Rodrigues, P. R. C. Correia, R. S. Cruz and J. I. Druzian, “Morphological, barrier, and mechanical properties of cassava starch films reinforced with cellulose and starch nanoparticles”. *Journal of Applied Polymer Science,* pp. 470, 2018.

ISSN: 2007 8102

[17] H. Palma-Rodríguez, R. Salgado-Delgado, D. Páramo-Calderón, A. VargasTorres and M. Meza-Nieto, “Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche”. *Acta Universitaria*, Vol. 27. No. 1, pp. 26-33, 2017.

[18] C. Cao, Y. Wang, S. Zheng, J. Zhang, W. Li, B. Li and J. Yu, “Poly (butylene adipate-co-terephthalate)/titanium dioxide/silver composite biofilms for food packaging application”. *LWT*, pp. 109, 2020.

 ISSN: 2007 8102

Evaluación fisicoquímica y microbiológica de una bebida de pitaya-quinoa fermentada con *Lactobacillus plantarum*

Miriam de Lourdes Martínez-Morán[1], Ernestina Paz-Gamboa[1], Araceli Pérez-Silva[1], María de los Ángeles Vivar-Vera[1]*

Departamento de Ingeniería Bioquímica, TecNM/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Av. Dr. Víctor Bravo Ahuja No. 561, Col. Predio el Paraíso, C.P.68350, San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México.

**ernestina.pg@tuxtepec.tecnm.mx*

***Área de participación**: Ingeniería química*

Resumen

En esta investigación se evaluaron las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de una bebida funcional de jugo de pitaya-extracto acuoso de quinoa (1:1, 1:2 y 2:1) fermentada con *Lactobacillus plantarum* (0.5 y 1.0%). Se realizaron seis bebidas con diferentes concentraciones de jugo, extracto y probiótico, así como cuatro controles. Durante la fermentación (37 ºC/6 h) los tratamientos con 1.0% de *L. plantarum* presentaron mayor crecimiento poblacional, el pH final de las bebidas se encontró entre 3.7-4.0. Durante el almacenamiento (21 días/4 ºC) las bebidas reportaron entre 9.95-10.65 ºBx, 5.98-10.37% de azúcares reductores, 4.05-3.65 pH y 0.08-0.18% de acidez. Se encontró que en el día 0 las bebidas presentaron una viabilidad del probiótico de 8.19-8.77 Log UFC/mL, disminuyendo aproximadamente 2 ciclos logarítmicos a los 21 días, presentando entre 6.15-7.38 Log UFC/mL. Se concluye que las bebidas evaluadas cuentan con mayor viabilidad de *Lactobacillus plantarum* recomendadas para la denominación de un producto probiótico.

***Palabras clave**: pitaya, quinoa, fermentación, Lactobacillus plantarum.*

Abstract

The objective of this research was to evaluate the physicochemical and microbiological properties of a functional beverage made from pitaya juice-aqueous extract of quinoa (1:1, 1:2 and 2:1) fermented with Lactobacillus plantarum (0.5 and 1.0%). Six beverages were made with different concentrations of juice, extract and probiotic, as well as four controls. During the fermentation (37 ºC/6 h) the treatments with 1.0% of L. plantarum presented higher population growth, the final pH of the beverages was between 3.7-4.0. During storage (21 days/4 ºC) the beverages reported between 9.95-10.65 ºBx, 5.98-10.37% reducing sugars, 4.05-3.65 pH and 0.08-0.18% acidity. It was found that on day 0 the beverages presented a viability of the probiotic of 8.19-8.77 Log CFU/mL, decreasing approximately 2 logarithmic cycles at 21 days, presenting between 6.15-7.38 Log CFU/mL. It is concluded that the evaluated beverages have greater viability of Lactobacillus plantarum recommended for the designation of a probiotic product.

***Key words**: pitaya, quinoa, fermentation, Lactobacillus plantarum.*

Introducción

Hoy en día en la tendencia en la alimentación es aumentar el consumo de productos naturales, sobre todo que tengan un aporte nutritivo y coadyuven al control de enfermedades, en este contexto se encuentran los alimentos funcionales, que de todas las categorías las bebidas son las más emergentes. Una bebida funcional es aquella que ofrece beneficios al consumidor más allá de su aporte nutritivo, contiene en su formulación uno o más ingredientes funcionales, además de ser considerada alimentos listos para consumirse, adicionan valores agregados a los ingredientes a utilizar [1].

Entre los frutos que se pueden considerar para la elaboración de bebidas funcionales, se encuentran los frutos endémicos como la pitaya que por ser una fuente importante de betalaínas se consideran alimentos con actividad antioxidante. Las pitayas son frutos de las cactáceas del género *Stenocereus*, están cubiertos con espinas deciduosas, las cuales se desprenden cuando el fruto madura. La vida postcosecha es de 4-5 días a temperatura

 ISSN: 2007 8102

ambiente, debido a su alto contenido de humedad, por lo que es necesario utilizar tecnologías que incrementen la vida de anaquel [2]. En 2015, se reportó en México una producción de 4,077.54 toneladas de pitaya, lo que significó un valor económico de 54,958.75 miles de millones de pesos. Los principales estados productores de este fruto fueron: Oaxaca, Jalisco y Puebla, quienes tienen más del 97% de la superficie total sembrada, destacando Oaxaca como principal productor con 42.9% del total [3]. En Oaxaca, las regiones productoras de pitaya son la Mixteca y la Cañada. En Puebla, la pitaya se produce principalmente en las regiones de la Mixteca y de Tehuacán.

Por otro lado, los pseudocereales son una opción para la elaboración de bebidas funcionales, como la quínoa que aporta un alto valor nutricional, es considerada como una excelente opción para garantizar una alimentación natural y saludable, contienen un alto contenido de compuestos bioactivos y proteínas, además es un alimento libre de gluten [4]. El SIAP publicó en 2016 la producción de quinoa en Aguascalientes, donde el municipio de Rincón de Ramos generó 30.8 toneladas, alcanzando un valor de la producción de 924 mil pesos. El cultivo de este producto es muy noble, toda vez que se adapta con facilidad a cualquier clima y tipo de suelo, sumado a su bajo costo de producción.

Entre los compuestos que pueden estar disponibles en una bebida funcional se encuentran diversos fitoquímicos, fibra dietaria, vitaminas, minerales, ácidos grasos y probióticos, estos últimos son un grupo de microorganismos vivos que confieren beneficios para la salud a los receptores cuando se ingieren cantidades suficientes de células vivas [5]. Entre ellos se encuentra el *Lactobacillus plantarum* que es una bacteria acido láctica gram positiva, heterofermentativa que permite un equilibrio microbiano y también ayuda a la estabilidad de enzimas digestivas. Se usa con frecuencia para la fermentación de vegetales y frutas. Algunas cepas seleccionadas de *L. plantarum* también se utilizan para desarrollar bebidas funcionales [6].

Por lo que el presente estudio tuvo como objetivo desarrollar una bebida funcional fermentada con *Lactobacillus plantarum* a base de jugo de pitaya (*Stenocereus stellatus*) y extracto acuoso de quínoa (*Chenopodium quinoa*) y evaluar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas.

Metodología

Materiales

Las pitayas (*Stenocereus stellatus*) fueron proporcionadas por los productores del municipio de Totoltepec de Guerrero, Puebla. La quínoa originaria del estado de Aguascalientes se adquirió de la distribuidora de productos orgánicos “Vida sustentable”. La cepa probiótica *Lactobacillus plantarum* LP115 se obtuvo de la casa Danisco Cultor.

Obtención de la pulpa de pitaya

Se siguió bajo la metodología descrita por Sosa-Reyes [7], a las pitayas recolectadas se les retiró manualmente las espinas utilizando guantes de protección para evitar lesiones, posteriormente los frutos fueron lavados con una solución de hipoclorito de sodio al 1%. Se seleccionaron aquellos frutos que tuvieron entren 9-11 ºBrix. Para la obtención de la pulpa los frutos se cortaron por la mitad para retirar la cáscara y se empacaron en bolsas para sellar al vacío, se les realizó un escaldado en autoclave a 75 ºC/5 min. Finalmente, la pulpa fue almacenada en refrigeración a -18 ºC hasta su utilización.

Proceso de obtención del jugo de pitaya

Para obtener el jugo de pitaya se utilizó la pulpa congelada la cual se descongeló en refrigeración a una temperatura de 4 ± 1 °C durante 12 horas, por último, se filtró en una manta cielo obteniendo un jugo filtrado.

Preparación del extracto acuoso de quínoa

Se siguió la metodología descrita por Chilo-Ramos [8], por cada 1 kg de quinoa se usaron 3 L de agua para remojar el grano, acorde a la relación (1:3) durante 24 horas, realizando un recambio de agua cada ocho horas, proceso que permitió facilitar el retiro de las saponinas presentes en las semillas de quinoa. Finalizando el tiempo de remojo se lavaron con abundante agua los granos de quinoa y se llevaron a escurrido durante 10 min. Se llevaron a precocción en relación 1:3 (p/v) los granos de quinoa por 5 minutos a 70 ºC, para ablandar y facilitar el proceso de trituración. Los granos de quinoa precocidos fueron sometidos a licuado por 1 min. en una licuadora convencional marca Oster® y posteriormente a filtrado en una manta cielo para retirar los residuos no solubles.

Obtención del paquete celular de *Lactobacillus plantarum*

Para la activación del *L. plantarum* se prepararon tubos con 9 mL de agar MRS, se procedió a inocular los tubos con agar en posición inclinada, utilizando dos asadas de la cepa de *L. plantarum*, las asadas se distribuyeron por

 ISSN: 2007 8102

estría, los tubos obtenidos se incubaron a 37 ºC en anaerobiosis por un tiempo de 18 h. Una vez obtenidos los tubos, se adicionó 1 mL de agua destilada estéril, este mililitro se transfirió a un segundo tubo que contenía 9 mL de caldo MRS, se incubó por 21 h/37 ºC. Del tubo anterior se tomó 1 mL y se adicionó a otro tubo con 9 mL de caldo MRS y se incubó por 10 h/37 ºC, nuevamente se tomó 1 mL y se inoculó a otro tubo con 9 mL de caldo MRS y se incubó por 8 h/37 ºC. De los últimos tubos obtenidos se utilizó 1 mL por cada 100 mL de caldo MRS en matraces Erlenmeyer, se incubaron a 37 ºC en anaerobiosis por 14 h. Para la obtención del paquete celular, se centrifugó el medio obtenido a 3000 rpm/20 min a una temperatura de 4 ºC usando una centrífuga refrigerada marca Rotina® 310. El paquete celular obtenido fue lavado con una solución de peptona de caseína al 1% y se mantuvo en refrigeración para su utilización.

Diseño experimental

Se elaboraron seis tratamientos con diferentes concentraciones de jugo:extracto y probiótico, para T1, T2 y T3 se utilizó una relación de jugo:extracto (v/v) de 1:1, 1:2 y 2:1 respectivamente con 0.5% de *Lactobacillus plantarum,* concentración utilizada por Sosa-Reyes [7] en una bebida de jugo de pitaya, para los tratamientos T4, T5 y T6 se utilizó también una relación de jugo:extracto (v/v) de 1:1, 1:2 y 2:1 respectivamente con 1.0% de *Lactobacillus plantarum* concentración que utilizó Cerdá [9] y que demostró mayor viabilidad y actividad antioxidante en bebidas de quinoa. Así mismo, se elaboraron cuatro controles, C1 y C2 corresponden a bebidas realizadas solo con jugo de pitaya y 0.5 y 1.0% de probiótico respectivamente, C3 y C4 corresponden a bebidas realizadas solo con extracto de quinoa y 0.5 y 1.0% de probiótico respectivamente.

Elaboración de la bebida fermentada de pitaya y quínoa

Después de la obtención del jugo de pitaya y extracto acuoso de quínoa se procedió a realizar la bebida fermentada con *Lactobacillus plantarum*; se realizaron las relaciones jugo de pitaya-extracto acuoso de quinoa, y las bebidas se endulzaron con 10 g/L de estevia:sucralosa (5:1). Las bebidas fueron pasteurizadas a 85 ºC/5 min, se atemperaron a 37 ºC para agregar el *Lactobacillus plantarum* y se fermentaron a 37 ºC por 6 horas. Después de la fermentación, las muestras fueron almacenadas en refrigeración durante 21 días. Las muestras fueron monitoreadas durante y después de la fermentación a los 0, 7, 14, y 21 días de almacenamiento para determinar la viabilidad del probiótico y las características fisicoquímicas.

Cinéticas de pH, acidez titulable y viabilidad del probiótico durante la fermentación

Se evaluó cada 2 horas durante el tiempo de fermentación el comportamiento de pH mediante la utilización de un potenciómetro marca Ultra BASIC estandarizado con buffer de pH 4 y 7, acidez titulable que se determinó mediante titulación de acuerdo a la norma NMX-F-323-1983, y el crecimiento del probiótico utilizando agar MRS en las bebidas desarrolladas.

Análisis fisicoquímicos de las bebidas

Se determinó sólidos solubles totales, acidez titulable, pH y azúcares reductores. La determinación de sólidos solubles totales se realizó utilizando un refractómetro digital (Generic modelo K13979). La acidez titulable se determinó mediante titulación de acuerdo a la norma NMX-F-323-1983 utilizando fenolftaleína como indicador de punto final y se expresó como porcentaje de ácido láctico. El valor de pH se obtuvo mediante el uso de un potenciómetro marca Ultra BASIC estandarizado con buffer de pH 4 y 7. La cantidad de azúcares reductores se calculó mediante el método de Lane & Eynon [10].

Evaluación de la viabilidad del *Lactobacillus plantarum* en las bebidas

De las bebidas almacenadas en refrigeración se tomó 1 mL y se diluyó en 9 mL de solución de agua peptonada, y se realizó en serie hasta llegar a una concentración de 10^{-8}. Las cepas probióticas se analizaron por duplicado por recuento en placas en agar MRS. Las cajas Petri se incubaron en un sistema de anaerobiosis a 37 ºC durante 48 horas. Los resultados obtenidos de la cuenta viable se expresaron como Log UFC/mL.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos por duplicado, se analizaron mediante un Análisis de Varianza de una vía y se realizó una comparación de medias por el método de Tukey con un nivel de confianza del 95% empleando el software estadístico Minitab v.17.

ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Propiedades fisicoquímicas del jugo de pitaya y del extracto de quinoa

Se determinó el pH, ºBrix, acidez titulable y azúcares reductores del jugo de pitaya y del extracto acuoso de quinoa antes de la elaboración de las bebidas, en la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos, en donde se observa que en el jugo de pitaya se obtuvo un pH de 3.98, 10.50 ºBrix, una acidez de 0.17% y 18.47% de azúcares reductores, mientras que el extracto acuoso presentó 6.42 de pH, 8.65 ºBrix, 0.01% de acidez y 1.21% de azúcares reductores, debido a los diferentes compuestos que conforman a cada una de las muestras. Sosa-Reyes [7] reportó 4.27 de pH, 10.5 ºBrix, 0.41% de acidez y 5.86% de azúcares reductores, mientras que Cervantes-Arista [11] reportó un pH de 4.17 y 0.47% de acidez para pitaya *Stenocereus stellatus*, el autor menciona que, la acidez titulable, los ºBrix y azúcares son atributos de calidad esenciales de las frutas frescas, y que un equilibrio entre estas propiedades pueden convertirse en contribuyentes clave para el sabor, Hinojosa-Gómez y Muy-Rangel [12] reportaron 12.4 ºBrix y 15.5% de azúcares reductores para *Stenocereus thurberi*, estas diferencias pudieran deberse al año de cosecha, cambios climatológicos y a los nutrientes proporcionados por el suelo [13]. Por otro lado, Bianchi *et al.* [14], reportaron 6.35 pH, 0.07% de acidez para un extracto acuoso de quinoa con una relación 1:18 (agua:grano), Gómez [15] reportó para un extracto de quinoa de la variedad Pasankalla un pH de 4.11 y una acidez de 0.16%, estas variaciones se deben a las condiciones en que fueron sometidos los granos para obtener el extracto.

Tabla 1. Análisis fisicoquímicos del jugo de pitaya y del extracto acuoso de quinoa

PROPIEDAD	JUGO DE PITAYA	EXTRACTO DE QUINOA
pH	3.98 ± 0.01	6.42 ± 0.01
ºBrix	10.50 ± 0.00	8.65 ± 0.07
%Acidez	0.17 ± 0.00	0.01 ± 0.00
% Azúcares reductores	18.47 ± 0.00	1.21 ± 0.00

Los valores expresados son la media de dos repeticiones ± desviación estándar.

Cinéticas de pH, acidez y crecimiento del probiótico durante la fermentación de las bebidas

Durante la fermentación a 37º C por 6 horas se midió el pH, se determinó la acidez titulable y el crecimiento de *Lactobacillus plantarum* cada 2 horas, en las Figuras 1 y 2 se presentan el comportamiento del pH y el porcentaje de ácido láctico en las bebidas, donde se observa que no hubo diferencia significa ($p<0.05$) respecto al tiempo en los tratamientos y los controles elaborados con jugo de pitaya. Sin embargo, los controles elaborados con extracto de quinoa tuvieron una disminución notoria de pH con respecto al tiempo e incremento de acidez, obteniéndose al final de la fermentación un pH de entre 4.87-5.20 y 0.027-0.036% de acidez, esto pudiera deberse a que el microorganismo se adaptó al extracto de quinoa y lo utilizó como sustrato, produciendo a su vez ácido láctico. Esto se puede comparar con los resultados de Ludena *et al.* [16], quienes realizaron una bebida a base de harina de quinoa fermentada con *Lactobacillus plantarum* en donde obtuvieron a las 6 horas de fermentación un pH de 4.20-4.39 y 0.073-0.077% de acidez, mientras que Cerdá [9] realizó una bebida con quinoa roja fermentada con *Lactobacillus plantarum*, la cual a las 24 horas de fermentación presentó un pH de 3.45 y 0.66% de acidez.

 ISSN: 2007 8102

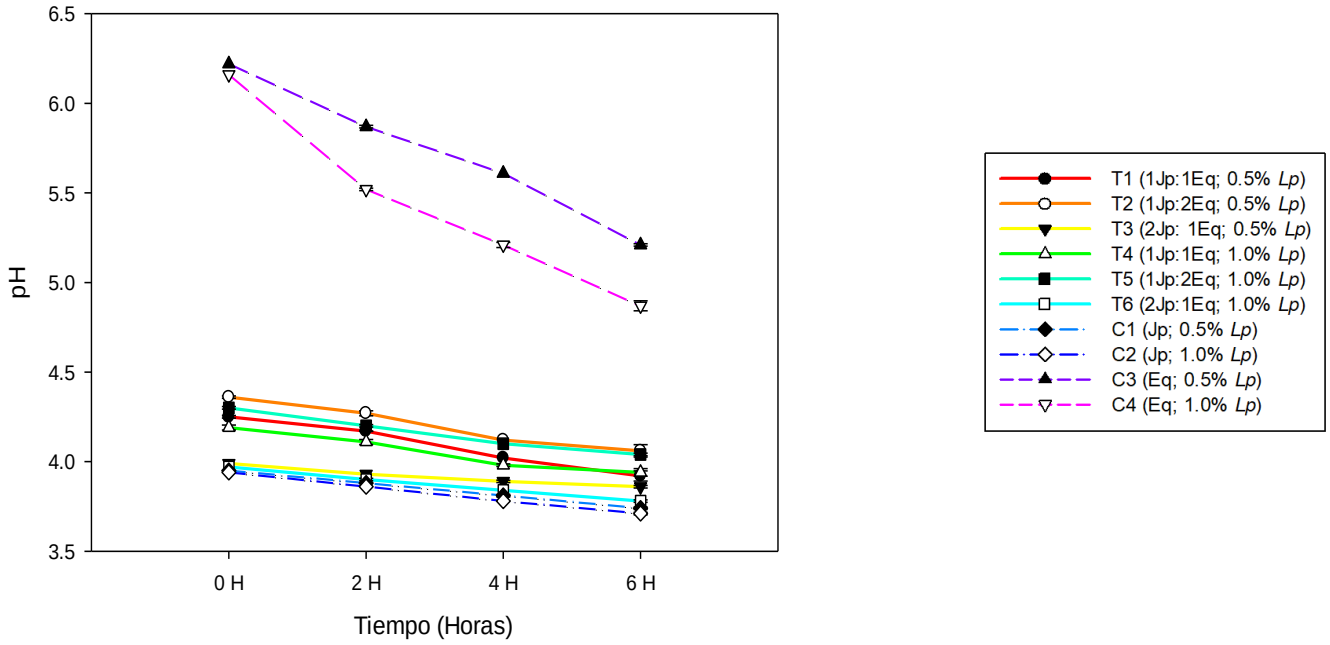


Figura 1. Comportamiento de pH en las bebidas durante la fermentación a 37 ºC/6 h. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, *Lp=Lactobacillus plantarum*).

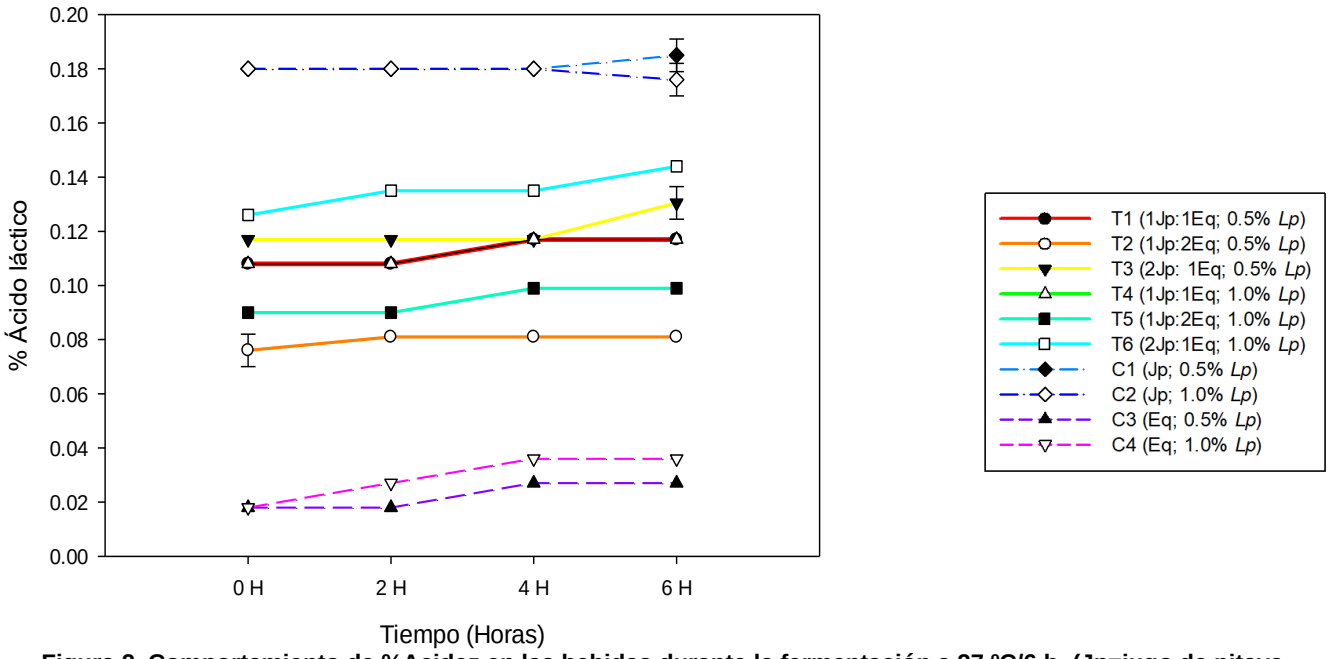


Figura 2. Comportamiento de %Acidez en las bebidas durante la fermentación a 37 ºC/6 h. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, *Lp=Lactobacillus plantarum*).

En la Figura 3 se muestra el comportamiento de *Lactobacillus plantarum* durante la fermentación, se observa que los tratamientos con 1.0% del probiótico mostraron una mayor viabilidad, destacando el tratamiento T5 con una cuenta final de 8.78 Log UFC/mL esto pudiera deberse a que este tratamiento tiene un mayor contenido de extracto acuoso de quinoa, relacionándolo con los controles C3 y C4 que presentaron la mayor cuenta viable del

 ISSN: 2007 8102

probiótico al finalizar la fermentación con 8.98 y 9.22 Log UFC/mL respectivamente, mientras que Ludena *et al*. [16], reportaron al finalizar la fermentación de 6 horas una viabilidad de 9.5 Log UFC/mL, y Chilo-Ramos [8] reportó una viabilidad de 7.69 Log UFC/mL del cultivo láctico, estos resultados muestran que el jugo de pitaya y extracto de quinoa funcionan como buen sustrato para la multiplicación de *Lactobacillus plantarum* utilizado en esta investigación por ser ricos en azúcares y proteínas.

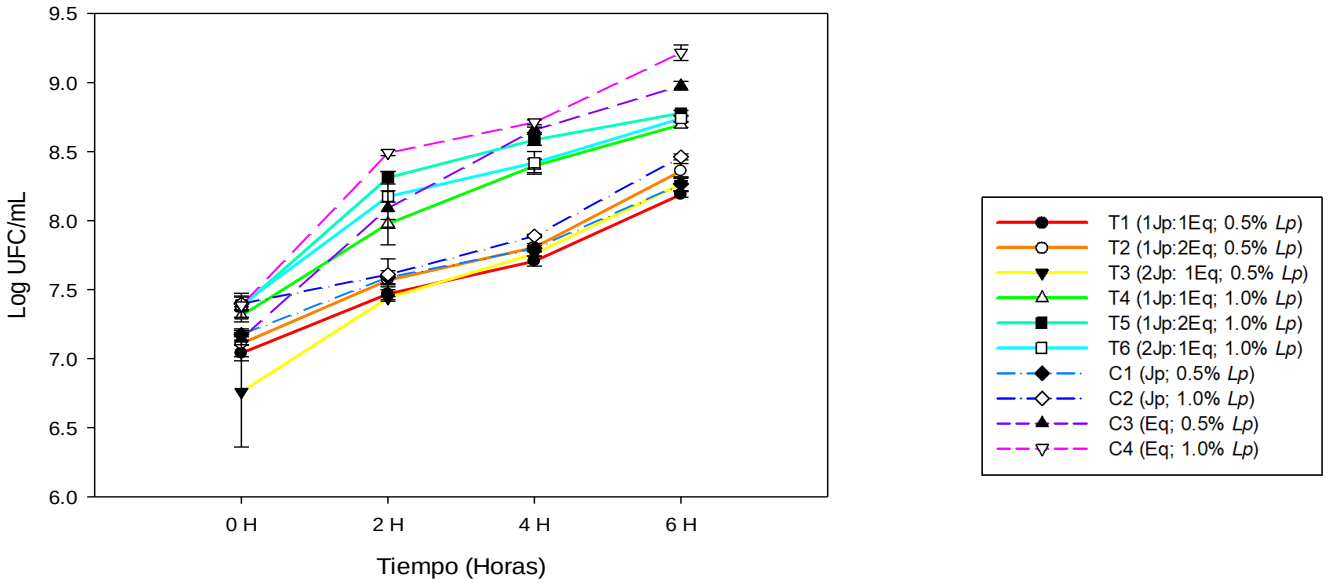


Figura 3. Crecimiento de *Lactobacillus plantarum* en las bebidas durante la fermentación a 37 ºC/6 h. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, *Lp=Lactobacillus plantarum*).

Análisis fisicoquímicos de las bebidas

Durante 21 días de almacenamiento a una temperatura de 4 ± 1 ºC se evaluaron las propiedades fisicoquímicas a cada una de las bebidas, en la Tabla 2 y 3 se muestran los resultados de los ºBrix y azúcares reductores respectivamente, se observa que no existe una diferencia significativa respecto al tiempo. Sin embargo, el tratamiento T3 mostró un comportamiento diferente en el contenido de sólidos solubles, aumentando al día 7 y disminuyendo al día 14, se entiende que una disminución se debe a que el microorganismo haya consumido los azúcares presentes en la bebida, y cuando existe un aumento de estos sólidos solubles se debe a la disolución de otras sustancias como ácidos orgánicos y minerales [17]. Por otro lado, el contenido de azúcares reductores tuvo un comportamiento distinto en los tratamientos T2 y T5, los cuales mostraron un aumento respecto al tiempo, estos tratamientos fueron elaborados con mayor contenido de extracto acuoso y al compararse con los controles C3 y C4 se observa el mismo comportamiento, esto pudiera deberse al contenido de almidón en la bebida, el cual por la acidez y la liberación de enzimas del probiótico sufrió una hidrólisis liberando azúcares como glucosa [18].

Tabla 2. Contenido de sólidos solubles (ºBrix) presentes en las diferentes bebidas durante un almacenamiento de 21 días a 4 ± 1 ºC.

TRATA-MIENTOS	ºBrix			
	DÍA 0	DÍA 7	DÍA 14	DÍA 21
T1	10.45 ± 0.07^{bA}	10.45 ± 0.07^{bA}	10.75 ± 0.07^{abA}	10.40 ± 0.07^{cdA}
T2	10.20 ± 0.14^{bcdA}	10.25 ± 0.07^{bcA}	10.35 ± 0.07^{cA}	10.50 ± 0.00^{bcdA}
T3	10.40 ± 0.00^{bcC}	10.90 ± 0.00^{aA}	10.50 ± 0.00^{bcC}	10.65 ± 0.07^{abcB}
T4	10.15 ± 0.07^{cdA}	10.25 ± 0.07^{bcA}	10.15 ± 0.07^{cA}	10.35 ± 0.07^{cdA}
T5	9.95 ± 0.07^{dA}	10.00 ± 0.14^{cA}	10.15 ± 0.21^{cA}	10.30 ± 0.14^{dA}
T6	10.30 ± 0.00^{bcA}	10.25 ± 0.07^{bcA}	10.25 ± 0.07^{cA}	10.45 ± 0.07^{bcdA}
C1	11.25 ± 0.07^{aA}	10.95 ± 0.07^{aB}	10.95 ± 0.07^{aB}	10.75 ± 0.07^{abB}

 ISSN: 2007 8102

C2	11.00 ± 0.00^{aA}	10.85 ± 0.07^{aA}	11.05 ± 0.07^{aA}	10.85 ± 0.07^{aA}
C3	7.75 ± 0.07^{fA}	7.55 ± 0.07^{eA}	7.55 ± 0.07^{eA}	7.55 ± 0.07^{eA}
C4	8.15 ± 0.07^{eA}	8.05 ± 0.07^{dA}	7.95 ± 0.07^{dA}	7.70 ± 0.00^{eB}

Los valores expresados son la media de dos repeticiones ± desviación estándar. Letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa entre tratamientos y letras mayúsculas diferentes en la misma fila indican diferencia estadística significativa respecto al tiempo mediante la prueba de Tukey (p<0.05).

Tabla 3. Porcentaje de azúcares reductores presentes en las diferentes bebidas durante un almacenamiento de 21 días a 4 ± 1 ºC.

TRATA-MIENTOS	***% AZÚCARES REDUCTORES***			
	DÍA 0	**DÍA 7**	**DÍA 14**	**DÍA 21**
T1	9.66 ± 0.00^{cdA}	8.67 ± 0.25^{cdB}	8.09 ± 0.11^{dB}	10.37 ± 0.36^{bA}
T2	5.98 ± 0.12^{fC}	6.39 ± 0.07^{fBC}	6.96 ± 0.00^{eB}	7.66 ± 0.29^{cA}
T3	7.95 ± 0.31^{eB}	10.76 ± 0.19^{eA}	10.13 ± 0.34^{bA}	10.24 ± 0.17^{bA}
T4	8.41 ± 0.11^{deA}	9.24 ± 0.00^{deA}	8.95 ± 0.13^{cA}	9.03 ± 1.21^{bcA}
T5	7.02 ± 0.08^{efAB}	6.44 ± 0.14^{efB}	6.75 ± 0.00^{eAB}	7.27 ± 0.26^{cA}
T6	10.24 ± 0.17^{cA}	9.34 ± 0.14^{cB}	10.24 ± 0.18^{bA}	10.24 ± 0.17^{bA}
C1	18.51 ± 1.13^{aA}	13.94 ± 0.32^{aB}	13.28 ± 0.00^{aB}	13.29 ± 0.59^{aB}
C2	16.35 ± 0.00^{bA}	12.51 ± 0.52^{bB}	12.69 ± 0.27^{aB}	12.89 ± 0.55^{aB}
C3	1.77 ± 0.10^{gD}	3.24 ± 0.03^{gC}	4.19 ± 0.03^{fB}	4.50 ± 0.03^{dA}
C4	1.98 ± 0.06^{gD}	3.85 ± 0.02^{gC}	4.23 ± 0.03^{fB}	5.18 ± 0.09^{dA}

Los valores expresados son la media de dos repeticiones ± desviación estándar. Letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa entre tratamientos y letras mayúsculas diferentes en la misma fila indican diferencia estadística significativa respecto al tiempo mediante la prueba de Tukey (p<0.05).

Las Figuras 4 y 5 representan el comportamiento del potencial de hidrógeno y el porcentaje de acidez de las bebidas durante el almacenamiento. En cuanto el pH se observa que no hubo diferencia significativa (p<0.05) entre los tratamientos y los controles C1 y C2, y respecto al tiempo, por otro lado, el porcentaje de acidez no mostró una diferencia significativa respecto al tiempo, estos resultados podrían deberse a que el probiótico se encontró en su fase estacionaria y produjo ácido láctico en muy pocas cantidades. Ludena *et al.* [16], obtuvieron un pH de 3.86-3.97 y 0.086-0.095% de acidez a los 28 días, ellos reportaron que no existió diferencia significativa respecto al tiempo de almacenamiento.

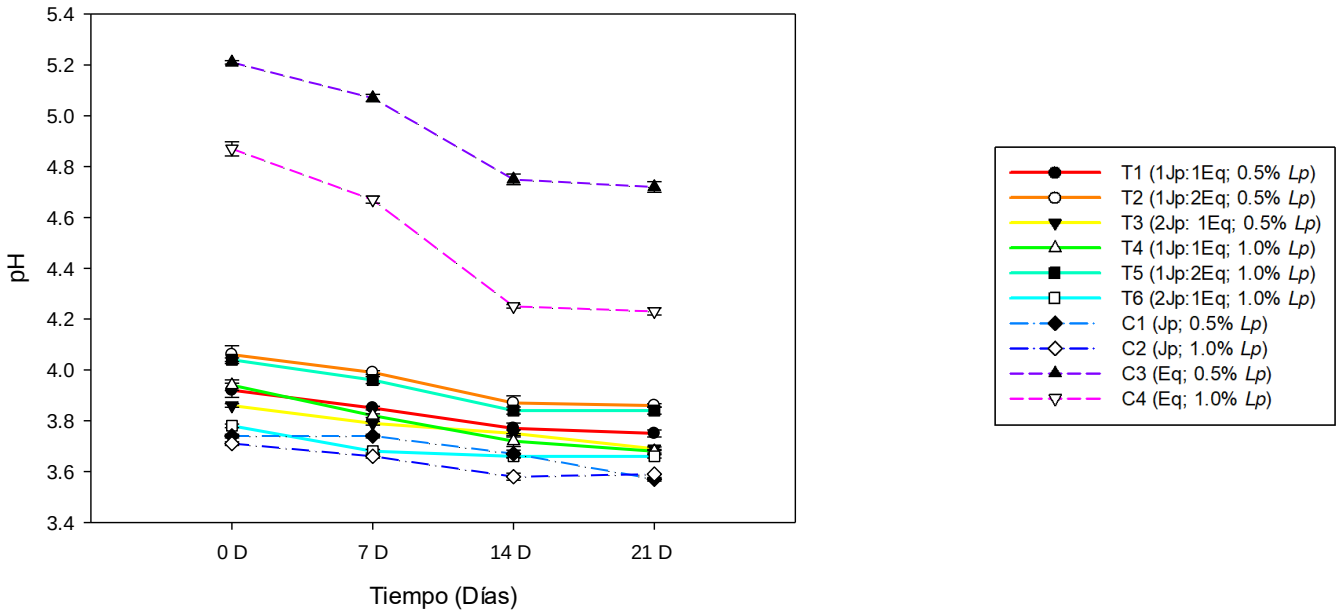


Figura 4. Comportamiento de pH en las bebidas durante 21 días de almacenamiento a 4 ± 1 ºC. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, *Lp=Lactobacillus plantarum*).

 ISSN: 2007 8102

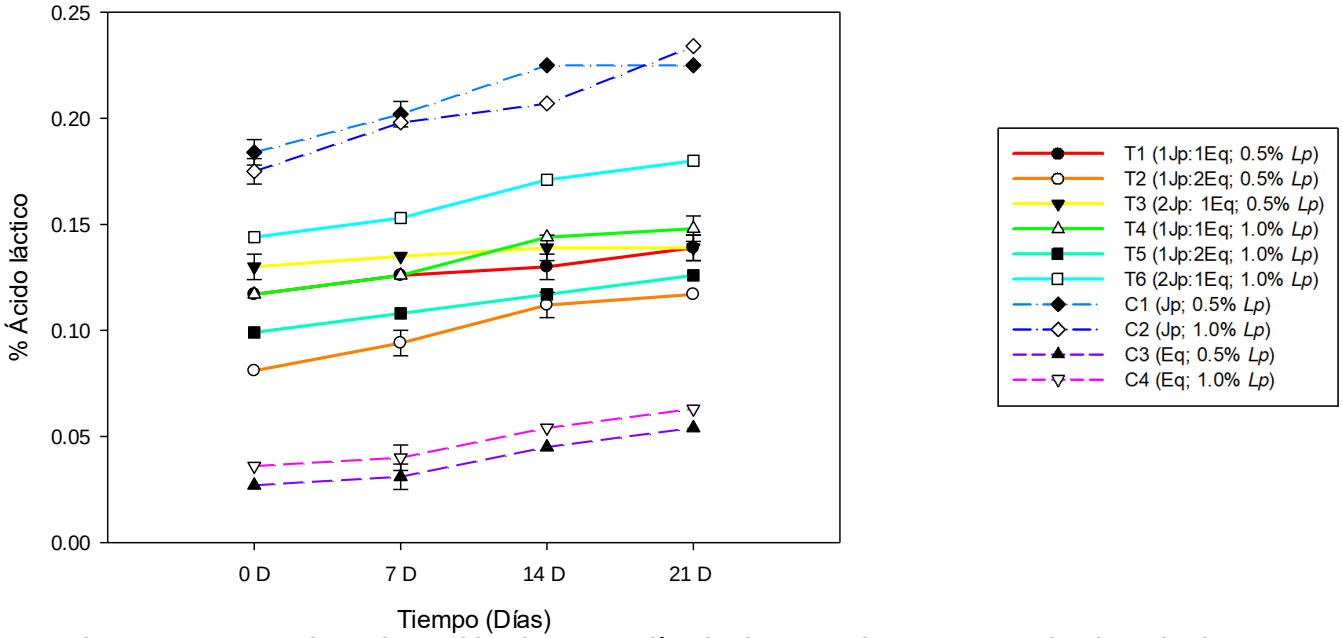


Figura 5. Comportamiento de %Acidez durante 21 días de almacenamiento a 4 ± 1 ºC. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, *Lp=Lactobacillus plantarum*).

Viabilidad de *Lactobacillus plantarum* en las bebidas

Se evaluó la viabilidad del probiótico durante 21 días, los resultados se muestran en la Figura 6, se observa que hubo diferencias significativas respecto al tiempo, encontrándose un incremento de aproximadamente 1 ciclo logarítmico a los 7 días de almacenamiento reportando 8.70-10.16 Log UFC/mL, mostrando un descenso a partir de los 14 días. Los tratamientos con el 1.0% de *Lactobacillus plantarum* mostraron la mayor cuenta viable. Finalmente, a los 21 días las bebidas analizadas reportaron cuentas viables mayores a 6 Log UFC/mL que van de 6.15-7.79 Log UFC/mL, las cuales son cuentas recomendadas para considerar un alimento con características probióticas. Mientras que la bebida fermentada a base de quinoa desarrollada y reportada por Ludena *et al*. [16] fue capaz de alcanzar una población de *L. plantarum* superior al log 9 CFU/ml, por otro lado, a los 21 días de almacenamiento Sosa-Reyes [7] reportó cuentas viables de 8-9 Log UFC/mL en una bebida probiótica con jugo de pitaya y *Lactobacillus plantarum*, en consecuencia, las bebidas fermentadas a base de pitaya y quinoa tienen el potencial de usarse como un alimento probiótico y funcional. Las diferencias con los tratamientos desarrollados en esta investigación se deben a diferentes factores que pudieron intervenir en el desarrollo del probiótico en nuestras bebidas, como pH, temperatura, entre otros, ya que fue analizada en un tiempo de almacenamiento en las condiciones que un consumidor podría tener almacenada su bebida.

 ISSN: 2007 8102

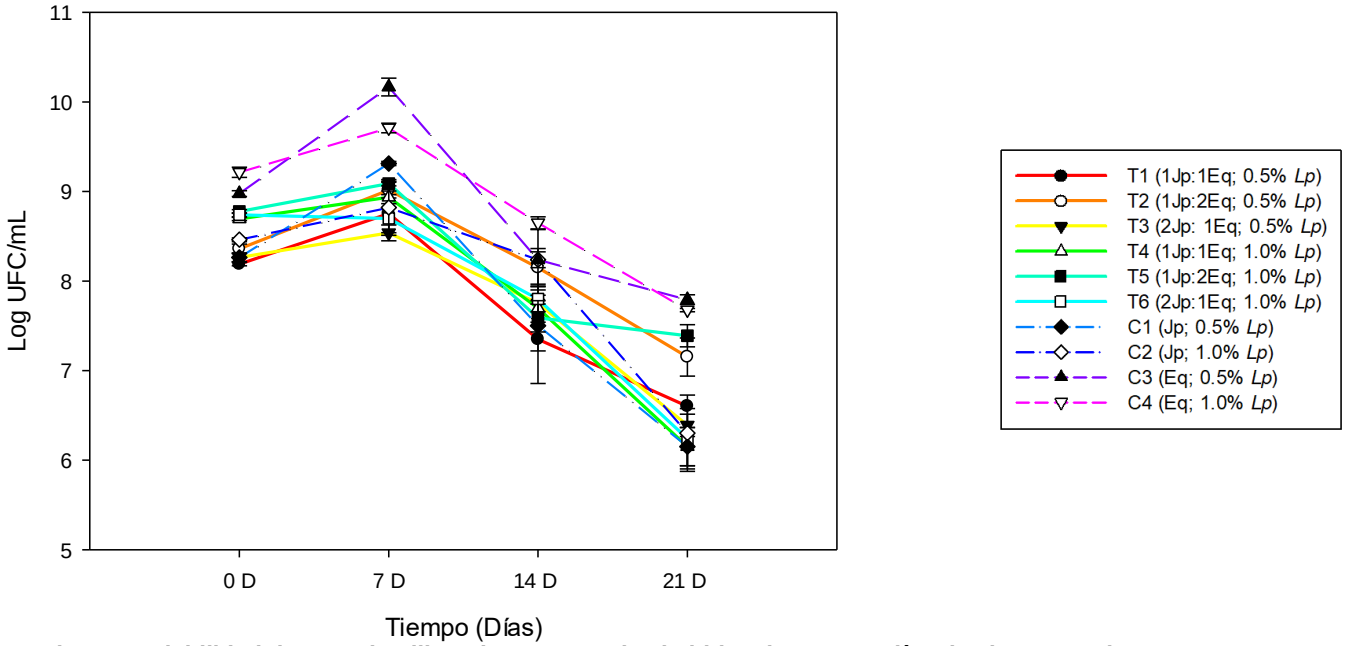


Figura 6. Viabilidad de *Lactobacillus plantarum* en las bebidas durante 21 días de almacenamiento a 4 ± 1 ºC. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, *Lp=Lactobacillus plantarum*).

Trabajo a futuro

Realizar la cuantificación de polifenoles totales, capacidad antioxidante mediante los métodos ABTs+· y DPPH, cuantificación de betalaínas, perfil microbiológico (mesofílicos aerobios, mohos y levaduras) así como una evaluación sensorial de la bebida que presente mayor viabilidad de probiótico y mayor capacidad antioxidante.

Conclusiones

Se concluye que la cinética de comportamiento del probiótico durante la fermentación demostró que las bebidas se encontraron dentro de una cuenta viable por arriba de 8 Log UFC/mL a las 6 horas de fermentación. El tiempo de almacenamiento no tuvo efecto en los sólidos solubles en las bebidas. El incremento de la concentración del extracto acuoso de quinoa favoreció el porcentaje de azúcares reductores debido a una posible hidrólisis del almidón de la quinoa. La utilización del 1% de *Lactobacillus plantarum* favorece la cuenta viable de microorganismos en el producto. Todos los tratamientos se encuentran dentro de la cuenta viable para ser considerada una bebida probiótica (> 6 Log UFC/mL) al finalizar los 21 días de almacenamiento a 4 ± 1 ºC.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) y al TecNM/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, por el apoyo para la realización de este proyecto de investigación.

Referencias

[1] G. Bueno Chulluncuy, "Evaluación de la capacidad antioxidante en bebidas funcionales para un mercado de consumo: una revisión sistemática entre 2009 y 2019.", 2020.

[2] L. García, “Conservación postcosecha y aprovechamiento de compuestos bioactivos de frutos de pitaya (*Stenocereus* sp.),” *Diss. Universidad Autónoma Chapingo*, 2021.

[3] S. SIAP, “Pitaya y Pitahaya: ¿no son lo mismo, pero son igual?” *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*, 2017.

[4] C. Martínez-Villaluenga, E. Peñas, and B. Hernández-Ledesma. "Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods." *Food and Chemical Toxicology,* 137, 111-178, 2020.

[5] INTA. Instituto de Nutricion y Tegnología de Alimentos; ¿Qué son los porbióticos?, 2014. https://inta.cl/Consumidores/Revistas/probioticos.pdf

[6] I. Salmerón, T. Keith, and P. Severino. "Effect of potentially probiotic lactic acid bacteria on the physicochemical composition and acceptance of fermented cereal beverages." *Journal of Functional Foods,* 15, 106-115, 2015.

[7] M. F. Sosa-Reyes, “Desarrollo y caracterización de una bebida láctea con pitaya (*Stenocereus stellatus*) probiótico y proteína vegetal,” *Desarrollo de nuevos productos del Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Tuxtepec, Oaxaca, México*, 2018.

[8] D. Chilo Ramos, “Evaluación de las condiciones de proceso para la elaboración de una bebida fermentada de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) con inclusión de bacterias ácido lácticas,” 2020.

[9] D. Cerdá, "Influencia del tiempo de fermentación en la viabilidad de Lactobacillus plantarum y Bifidobacterium longum en bebidas de quinoa roja," 2019.

[10] J. H. Lane and L. Eynon. “Volumetric determination of reducing sugars by means of Fehling's solution, with methylene blue as internal indicator”, IS1 XXV: 143-149.

[11] C. Cervantes-Arista, A. Román-Guerrero, H. Oidor-Chan, F. Díaz-Sánchez, L. Álvarez-Ramírez, C. Pelayo-Zaldívar, E. Sierra-Palacios and A. Mendoza-Espinoza, “Chemical characterization, antioxidant capacity, and anti-hyperglycemic effect of *Stenocereus stellatus* fruits from the arid Mixteca Baja region of Mexico,” *Food chemistry*, *328*, 127076, 2020.

[12] J. Hinojosa-Gómez and M. Muy-Rangel, "Caracterización fisicoquímica y compuestos bioactivos en los frutos de pitaya (*Stenocereus thurberi*) de cuatro colores." *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 26, 2023.

[13] B. Quiroz González, "Estabilidad microbiológica, sensorial y nutraceútica de jugo de pitaya (*Stenocereus pruinosus)* presurizado y ozonizado," 2019.

[14] F. Bianchi, E. A. Rossi, R. G. Gomes and K. Sivieri, “Potentially synbiotic fermented beverage with aqueous extracts of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) and soy,” *Food Science and Technology International*, *21*(6), 403-415, 2015.

[15] J. G. Gómez Cáceres, "Caracterización fisicoquímica y organoléptica de una bebida de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) malteada y sin maltear de las variedades pasankalla y negra collana," 2018.

[16] F. Ludena, S. García, T. Tolonen, M. Jaakkola, M. Pena, A. Wright and C. Plumed, "Development of a fermented quinoa-based beverage," *Food science & nutrition* 5.3, 602-608, 2018.

[17] C. Huapaya Castillo, "Elaboración de una bebida probiótica a partir de la fermentación láctica del almidón hidrolizado de harina de quinua Chenopodium quinoa," 2014.

[18] R. García and R. Zamora, “Obtención de una bebida malteada a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa)* y harina de trigo (*Triticum sativum*), por vía enzimática,” 2019.

 ISSN: 2007 8102

Efecto del recubrimiento de TiO_2 y del tratamiento térmico en la microestructura de aceros A304 y A316

*Santos-Arias Marisela, Zamudio-Torres Ildefonso, Rojas-Blanco Lizeth, Xicoténcatl-de Dios Felipe, Ramírez-Morales Erik**

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Avenida Universidad s/n Zona de la Cultura, Colonia Magisterial CP 86690 Villahermosa Centro Tabasco México
**eriking10@hotmail.com*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

En este trabajo se analiza el efecto de tratamiento térmico sobre la microestructura y velocidad de corrosión en muestras de acero inoxidable A304 y A316, las cuales se les dio un tratamiento térmico a 500°C durante 60 minutos y enfriado a temperatura ambiente. Se analizaron muestras de aceros A304 y A316 con y sin tratamiento térmico y con recubrimiento de TiO_2. Por otra parte, el recubrimiento se caracterizó mediante difracción de rayos X, y las muestras de acero mediante microscopía electrónica de barrido (MEB). Finalmente, la velocidad de corrosión se evalúa con la técnica electroquímica de curvas de polarización. En este trabajo se presentan los resultados donde se muestra que por el tratamiento térmico no hay modificaciones significativas con respecto a la microestructura.

***Palabras clave**: Acero inoxidable*, *recubrimiento, tratamiento térmico, corrosión, TiO_2.*

Abstract

In this work, the effect of heat treatment on the microstructure and corrosion rate of A304 and A316 stainless steel samples, which were heat treated at 500°C for 60 minutes and cooled to room temperature, is analysed. Samples of A304 and A316 steels with and without heat treatment and TiO_2 coating were analysed. Moreover, the coating was characterised by X-ray diffraction, and the steel samples by scanning electron microscopy (SEM). Finally, the corrosion rate is evaluated with the electrochemical technique of polarisation curves. The results are presented in this work where it is shown that there are no significant modifications with respect to the microstructure due to the heat treatment.

***Key words**: Stainless steel, Coatings, heat treatment, corrosion, TiO_2.*

Introducción

La corrosión es un problema al que se enfrenta el sector industrial, afectando directamente a los metales que son usados en diferentes procesos [1], [2]. La corrosión genera pérdidas progresivas de material, daños a estructuras que pueden ocasionar accidentes en el área de trabajo, fugas de materiales, explosiones y pérdidas económicas [3]. La corrosión de los metales no puede eliminarse por completo, sin embargo, se puede reducir el riesgo con el desarrollo de diferentes metodologías como la protección catódica [4], inhibidores [5] y recubrimientos [6]. Para poder controlar y prevenir la corrosión, especialmente en ambientes agresivos se utilizan los recubrimientos, los cuales crean una barrera entre el metal y los agentes corrosivos que hay en el medio

Los recubrimientos a base de óxidos metálicos han sido objeto de estudio debido a que presentan buena adhesión, baja conductividad o aislamiento y buena resistencia a la corrosión en medios agresivos [7]. Existen diferentes técnicas para depositar recubrimientos cerámicos sobre muestras metálicas, como la deposición electroquímica [8], deposición química de vapor [9], deposición física de vapor [10], y el proceso sol-gel. Entre los métodos mencionados, la técnica sol-gel es la más utilizada porque permite recubrir superficies a través de un proceso respetuoso con el medio ambiente, bajo costos de equipo, baja temperatura de sinterización y

ISSN: 2007 8102

homogeneidad a nivel molecular [11], [12]. Los recubrimientos cerámicos de óxidos metálicos como Al_2O_3, SiO_2, ZnO y TiO_2, depositados por esta técnica han demostrado mejorar las propiedades superficiales de los metales sin modificarlas y retrasando la corrosión [13]–[15].

El TiO_2 es un compuesto importante utilizado en la industria de recubrimientos, como los antireflectantes y autolimpiantes [16], y también en aleación con otros compuestos para evaluar el efecto anticorrosivo en diferentes medios tales como cloruro de sodio [17]–[19]. Las propiedades físicas del TiO_2 dependen en gran medida del método de deposición y de las temperaturas de calcinación, estas pueden influir en las propiedades estructurales y ópticas [20]. Sin embargo, al realizar la calcinación sobre materiales metálicos, como el acero inoxidable, las propiedades estructurales de estos se pueden ver modificadas, afectando la resistencia a la corrosión [21], [22]. Es por lo anterior, que los aceros inoxidables tienen múltiples usos en la industria, por lo que la seguridad ante la corrosión debe ser alta, pues esto provoca reducción en la resistencia e integridad estructural. Los aceros AISI 304 y AISI 316 en condiciones de alta humedad y altas temperaturas presentan daños por corrosión localizada [17], por lo que los recubrimientos cerámicos representan una buena alternativa para la protección superficial de materiales que permite alargar el tiempo de vida útil de los aceros, sin modificar sus propiedades básicas.

La contribución principal de este trabajo es evaluar los efectos del tratamiento térmico sobre muestras de acero AISI 304 y AISI 316, donde se analiza bajo tres condiciones de estudio: la primera son las muestras sin recubrir y sin tratamiento térmico, la segunda se realiza un tratamiento térmico a 500°C durante 60 minutos, y la tercera se le deposita el recubrimiento tri-capa de TiO_2 mediante el proceso sol-gel aplicando la técnica de recubrimiento por inmersión. La resistencia a la corrosión se evalúa por la técnica electroquímica de curvas de polarización en un ambiente marino simulado con una solución electrolítica de NaCl 0.5 M, y los efectos en la estructura se analizan por microscopía electrónica de barrido (SEM).

Metodología

Obtención y preparación de las probetas

Para realizar los ensayos metalográficos (Figura 1), se utilizaron sustratos de acero inoxidable austenítico AISI 304 y AISI 316 con dimensiones de 15 mm x 15 mm, y encapsuladas con resina de acuerdo con la Norma ASTM E3-11.

Precio a la deposición de los recubrimientos, se debe realizar la limpieza de las muestras según la norma SSPC-SP 2 y el desbaste abrasivo con lijas de carburo de silicio con granulometría (μm) desde 80 hasta 1500.

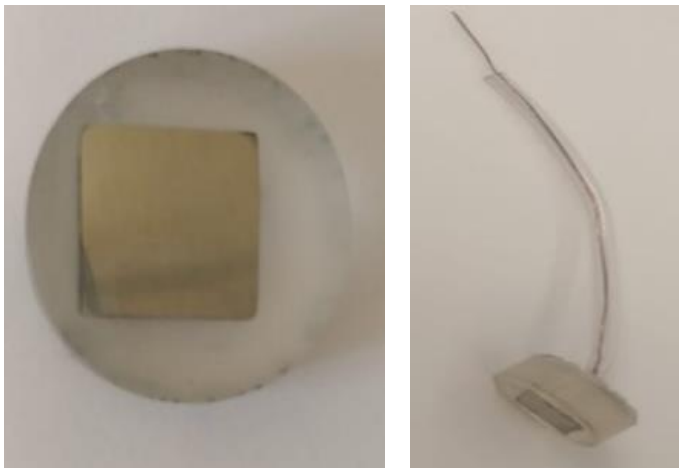


Figura 1. Encapsulado de muestras con resina epóxica.

 ISSN: 2007 8102

Para las pruebas electroquímicas se hace una unión eléctrica con un alambre de cobre, sellando la conexión con resina para cerrar el circuito eléctrico, como se observa en la Figura 2.



Figura 2. Esquema de electrodos de trabajo para pruebas electroquímicas.

Síntesis de la solución y depósito de recubrimiento de TiO_2

La solución de TiO_2 utilizada para la deposición de los recubrimientos se obtiene por el método de sol-gel, mediante la hidrólisis parcial y la condensación del tetrabutoxido de titanio ($Ti(OC_4H_9)_4$), y se deposita por la técnica de inmersión (Dip-Coating por sus siglas en ingles) (Figura 3). Se utiliza el etanol como disolvente, el ácido clorhídrico (HCl) como catalizador, el agua desionizada como agente de hidrólisis y el tetrabutoxido de titanio ($Ti(OC_4H_9)_4$) como precursor. Durante la preparación de la solución, se añadió gota a gota una mezcla de agua y etanol a un matraz que contenía una disolución con $Ti(OC_4H_9)_4$, HCl y etanol. La solución obtenida se agita a temperatura ambiente durante 1 hora.

Para los recubrimientos se sumergieron los sustratos de AISI 304 y AISI 316 en la solución de TiO_2 durante 3 minutos, con una velocidad de retiro vertical de 2mm/s, como se ilustra en la Figura 3 y secado entre capas a 100°C por 5 minutos en un horno tubular, con una atmosfera de aire.

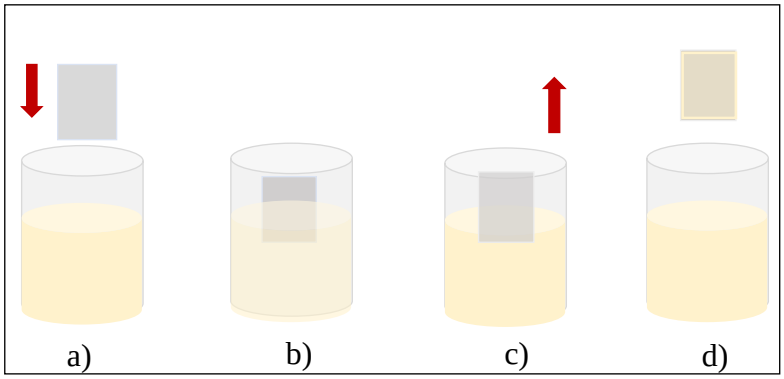


Figura 3. Método dip-coating: a) Inmersión de los sustratos en solución precursora, b) reposo dentro de la solución durante 3 minutos, c) retiro de los sustratos a velocidad controlada y, d) película depositada.

Tratamiento térmico

Los tratamientos térmicos a las muestras se llevaron a cabo en un horno tubular, marca Furnace modelo XD-1200N, a 500°C durante 1 hora con flujo de oxígeno. Posteriormente se determinaron los espesores del recubrimiento en TiO_2 en un perfilómetro D-500 KLA TENCOR, el cuál fue de 155 nm. En la Tabla 1 se muestra las etiquetas que se usaron para identificar a las muestras:

 ISSN: 2007 8102

Tabla 1. Nomenclatura para identificar las muestras analizadas.

AISI 304		AISI 316	
M1ST	Muestra sin tratamiento y sin recubrimiento	M2ST	Muestra sin tratamiento y sin recubrimiento
M1CT	Muestra con tratamiento, sin recubrimiento	M2CT	Muestra con tratamiento, sin recubrimiento
M1CR	Muestra con recubrimiento y tratamiento térmico	M2CR	Muestra con recubrimiento y tratamiento térmico

Pruebas electroquímicas

Las pruebas electroquímicas se llevaron en un potenciostato galvanostato de la marca AUTOLAB, equipado con el software Nova 2.1, utilizando una configuración de celda de tres electrodos: el electrodo de trabajo, el cual son las muestras analizadas; un electrodo de referencia de calomel saturado, y un contraelectrodo de platino (Pt), como se muestra en la Figura 4. Estas pruebas se realizaron en una solución electrolítica de NaCl 0.5M a temperatura ambiente. Las pruebas de Tafel (polarización anódica-catódica), se polarizando las muestras entre 200 y 400 mV y con velocidad de exploración de 1mV/s. Los valores de la densidad de corriente de corrosión (i_{cor}) y velocidad de corrosión (V_{corr}) se obtuvieron bajo la normativa ASTM G 102 [23]. Obteniendo como primer paso i_{cor}, expresada de la siguiente manera:

$$i_{corr} = \frac{I_{cor}}{A} \quad (1)$$

Donde:

i_{corr}= densidad de corriente de corrosión, µA/cm^2,

I_{cor}= corriente anódica total, µA, y

A = área expuesta de la muestra, cm^2.

La V_{corr} se expresa de la siguiente manera:

$$V_{corr} = K\frac{i_{cor}}{\rho}EW, \quad (2)$$

Donde:

K = constante $3.27x10^{-3} mmg/\mu A/cm$

i_{corr}= densidad de corriente de corrosión, µA/cm^2,

ρ= densidad del material g/cm^2,

EW = peso equivalente.

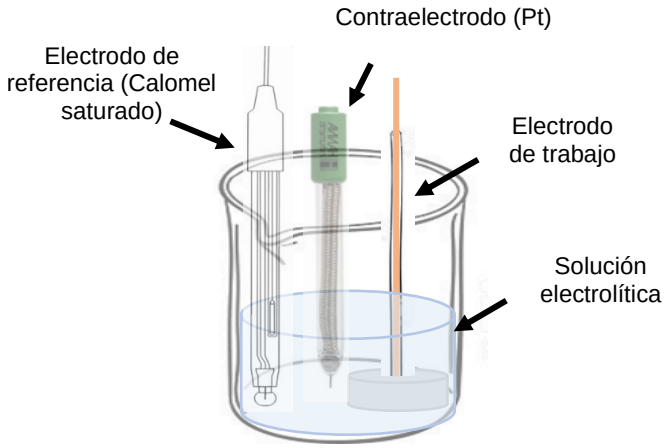


Figura 4. Configuración de celda de tres electrodos. Fuente propia.

ISSN: 2007 8102

Técnicas de caracterización

La estructura cristalina del recubrimiento de TiO_2 se obtuvo con un difractómetro de rayos X. Los espectros de DRX se registraron mediante barrido de 2θ en el intervalo de 20°-70°. Las muestras de acero sin recubrir, con y sin tratamiento térmico, fueron analizadas en un microscopio electrónico de barrido JEOL JEM 2200FS, en modo LEI y un voltaje de aceleración de 5kV y equipado con un Espectrómetro de Rayos X de dispersión de energía.

Resultados y discusión

Difracción de rayos X

En la Figura 5, se muestran los patrones de difracción de rayos X de los recubrimientos de TiO_2 depositados y tratados térmicamente a 500°C en flujo de oxígeno durante 1 hora. Se puede observar que hay picos bien definidos de la fase anatasa tetragonal, indexados en los planos cristalográficos (101), (004) y (200), coincidiendo con los especificados en la carta cristalográfica PDF# 21-1272. Los patrones de difracción obtenidos confirman la presencia de la fase cristalina anatasa, misma, que de acuerdo con la revisión realizada se forma a partir de los 400°C [24]. Las condiciones de tratamiento térmico es un factor importante que puede determinar la cristalinidad y las propiedades físicas del recubrimiento, por lo que se puede confirmar que el recubrimiento de TiO_2 se logra formar perfectamente a esta temperatura.

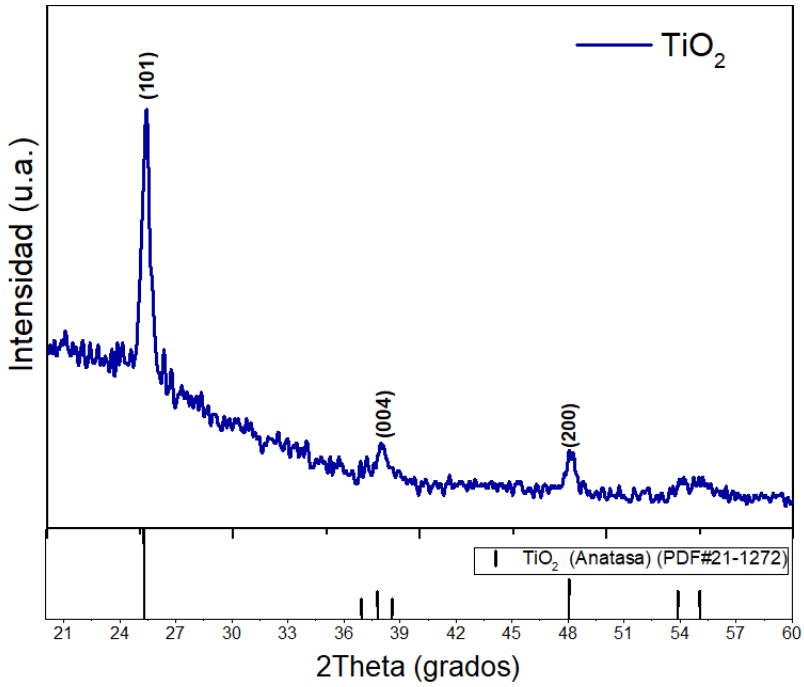


Figura 5. Difractogramas de rayos X de recubrimiento de TiO_2, tratado térmicamente a 500°C.

Microscopía electrónica de barrido

Mediante MEB se obtuvieron las micrografías de las dos muestras de acero, identificadas previamente en la Tabla 1, con un aumento de 300X, en el que se observó y analizó la morfología de la superficie. En la Figura 6 se muestran las micrografías de la muestra M1, debido al ordenamiento que presentan los granos, los cuales son del tipo poliédrico, correspondiente una microestructura geométrica del tipo austenita tanto en la muestra tratada térmicamente como en la no tratada, no se encontró ninguna diferencia notable para las muestras [22]. El tamaño de grano de las muestras se calculó por el método de comparación, de acuerdo con la norma ASTM E112, registrados en la Tabla 2, se puede observar que hubo una ligera reducción en el tamaño de grano debido a la

 ISSN: 2007 8102

presencia de carburos finamente distribuidos que existen en la microestructura tratada, reduciendo el crecimiento de los granos de austenita [25], esto puede resultar beneficioso para el material, pues al ser más pequeños los granos se aumenta la dureza de este.

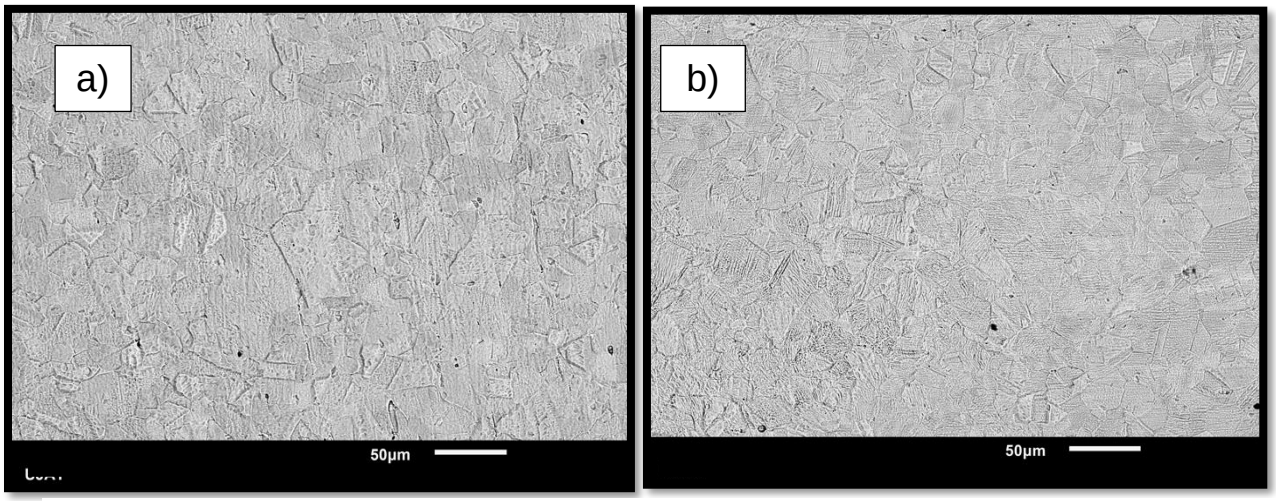


Figura 6. Micrografía con aumento de 300X de la muestra de acero M1, a) con tratamiento térmico y, b) sin tratamiento térmico.

En la Figura 7 se muestran las micrografías tomadas a la M2, en ambas se observa la presencia de una fase austenita con forma de grano poliédrica. Al comparar las micrografías, no hay diferencias notables en la microestructura tratadas térmicamente, por lo tanto, se puede decir, que la temperatura no modifico su microestructura. En la Tabla 2 se observar que el tamaño de grano aumento aproximadamente 20 µm, esto se le atribuye a la tensión residual debido al incremento de temperatura [21], [26].

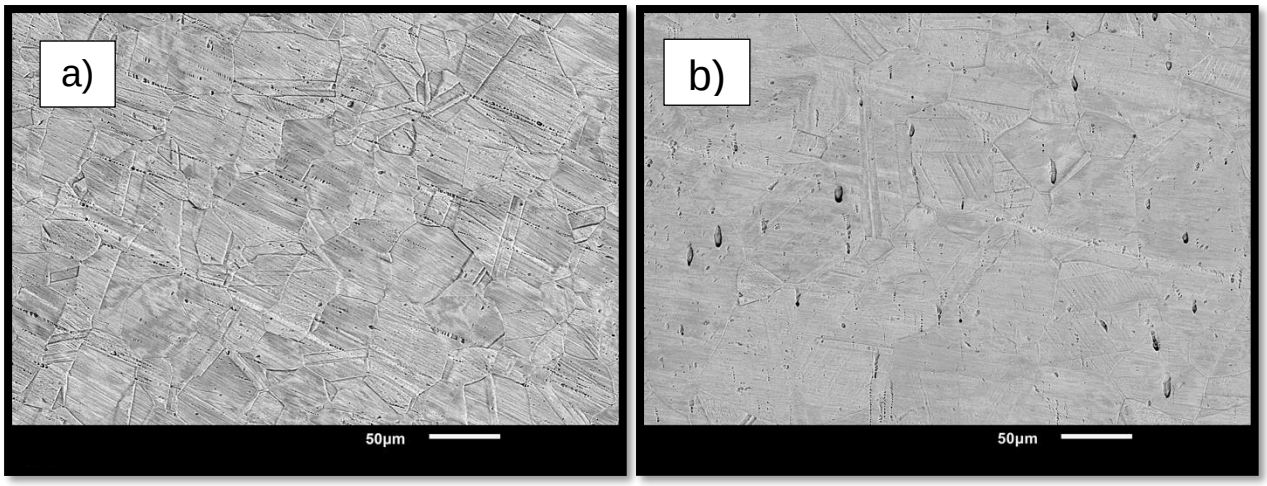


Figura 7. Micrografía con aumento de 300X de la muestra de acero M2, a) con tratamiento térmico y, b) sin tratamiento térmico.

Tabla 2. Tamaños de grano de las muestras obtenidos con el método comparativo.

Muestra	ST (sin tratamiento) [µm]	ST (con tratamiento) [µm]
M1	13.3	11.2
M2	44.9	63.5

ISSN: 2007 8102

Pruebas electroquímicas

La Figura 8. Se presentan las curvas de polarización en una solución de NaCl 0.5M, y la Tabla 3 representa los parámetros de i_{corr}, potencial de corrosión (E_{corr}) y V_{corr} obtenidos de cada una de las muestras. En la Figura 8 (a) se observa que la muestra M1 con tratamiento térmico presento una reducción del potencial de corrosión, respecto a la muestra sin tratamiento, sin embargo, también presenta reducción en la velocidad y corriente de corrosión; la muestra recubierta de TiO_2 y con tratamiento térmico indica un comportamiento contrario, aunque se incrementa la velocidad y corriente de corrosión, también se observa que incremento el potencial de corrosión. En la Figura 8 (b) se muestran las curvas obtenidas para la M2, se observar un comportamiento similar a la M1 para el potencial de corrosión, ya que con la temperatura de tratamiento este se reduce, sin embargo, aquí se existe un aumento en la corriente y velocidad de corrosión al igual que la muestra con recubrimiento de TiO_2 y con tratamiento térmico, aunque para esta última hay aumento del potencial de corrosión. La diferencia observada puede relacionarse con las diferencias en la densidad de corriente límite de oxígeno, debido a las condiciones de la prueba, las cuales fueron en una solución aireada y en estancamiento [21].

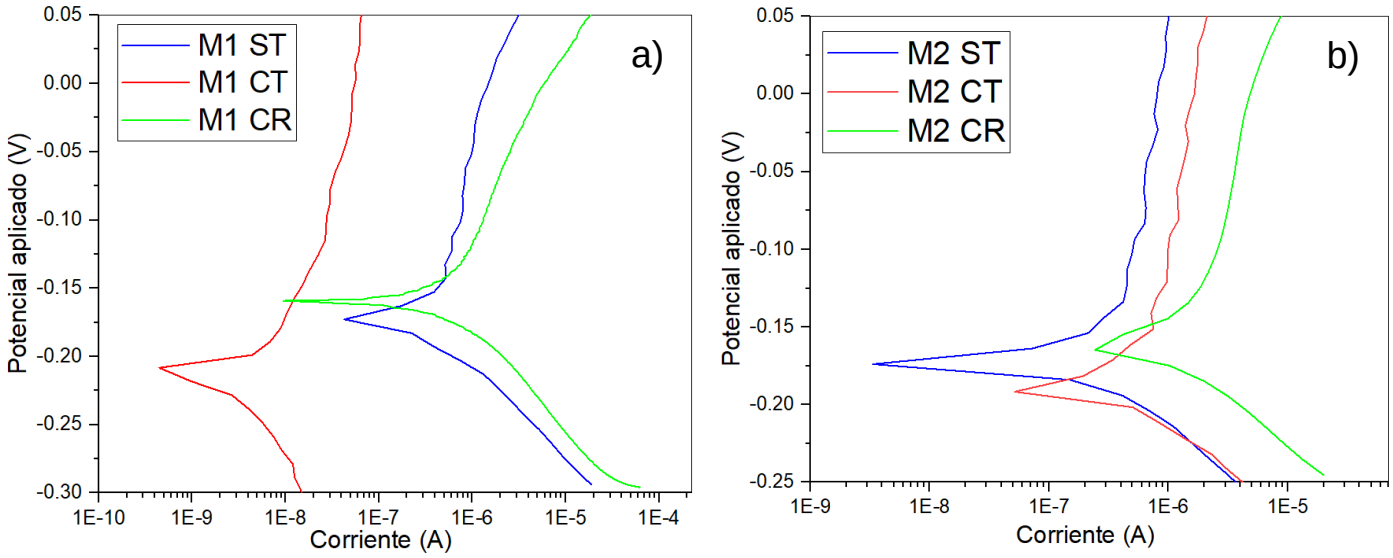


Figura 8. Curvas de Tafel obtenidas para a) M1 y, b) M2.

Tabla 3. Valores de i_{corr}, V_{corr} y E_{corr} de las muestras.

Muestra	ST i_{corr} [μA/cm²]	CT i_{corr} [μA/cm²]	CR i_{corr} [μA/cm²]	ST V_{corr} [mm/año]	CT V_{corr} [mm/año]	CR V_{corr} [mm/año]	ST E_{corr} [V]	CT E_{corr} [V]	CR E_{corr} [V]
M1	0.1121	0.0028	0.1621	0.0013	0.000032	0.001883	-0.1895	-0.2211	-0.1745
M2	0.1348	0.2317	0.4501	0.0016	0.00269	0.005229	-0.1735	-0.1995	-0.1611

Trabajo a futuro

Se realizará las caracterizaciones mecánicas como dureza, ensayos de impacto, ensayos de torsión, etc. Se evaluará la adherencia de los recubrimientos y su comportamiento previo y, posterior a las pruebas electroquímicas. Por otra parte, se aplicará diferentes pruebas electroquímicas como resistencia a la polarización

 ISSN: 2007 8102

líneal (LPR), espectroscopía de impedancias electroquímica (EIS) y potencial de circuito abierto, para evaluar por diferentes métodos la velocidad de corrosión.

Conclusiones

En este estudio se analizó y se evaluó los efectos sobre muestras de acero AISI 304 y AISI 316 donde se depositaron recubrimientos tricapa de TiO_2 mediante el proceso sol-gel. Se aplicó la técnica de recubrimiento por inmersión con tratamiento térmico a 500°C en un tiempo de una hora y, por otra parte, se obtuvieron las muestras sin recubrimiento con el tratamiento térmico bajo las mismas condiciones. Con la técnica utilizada, se observó que al aplicar un recubrimiento de TiO_2 usando la técnica de Dip-Coating con un tratamiento térmico a 500°C se obtiene un recubrimiento que incrementa el potencial de corrosión de las muestras, además, se analizó que el tratamiento térmico no modifica la estructura del acero. Con la caracterización de difracción de rayos X se observó una forma cristalina anatasa que es una fase estable químicamente en diferentes ambientes corrosivos. De acuerdo con las micrografías de las muestras de acero se mantuvo la microestructura tipo austenita que es característica de los aceros inoxidables 304 y 316, las cuales no tuvieron modificaciones en estas, aunque si provocó la reducción y aumento del tamaño de grano. Los aceros con recubrimientos de la capa de TiO_2, este ayudó en la mejora del potencial de corrosión, lo cual es beneficioso para el ambiente al cual fue sometido.

Agradecimientos

El autor agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología por la beca de maestría otorgada en el programa de Corrosión y gestión de integridad de la DAIA-UJAT. Los autores agradecen a la M.I. Anabel González Díaz de la DAIA-UJAT por las mediciones de SEM y EDS y al grupo del Laboratorio de Semiconductores de la DAIA-UJAT por el apoyo en el desarrollo de este proyecto.

Referencias

[1] C. Chiriboga Chiriboga, J. Maldonado Noboa, and B. Chiriboga Zuñiga, “Influencia de la corrosión en varillas de acero de refuerzo, y sus efectos en la resistencia estructural de edificaciones.,” *MQRInvestigar*, vol. 6, no. 4, pp. 396–419, Oct. 2022, doi: 10.56048/MQR20225.6.4.2022.396-419.

[2] B. Valdez-Salas *et al.*, “Corrosión en la industria geotermoeléctrica,” in *Corrosión y preservación de la infraestructura industrial*, OmniaScience, 2013, pp. 49–68. doi: 10.3926/oms.61.

[3] A. Zaffora, F. Di Franco, and M. Santamaria, “Corrosion of stainless steel in food and pharmaceutical industry,” *Current Opinion in Electrochemistry*, vol. 29. Elsevier B.V., Oct. 01, 2021. doi: 10.1016/j.coelec.2021.100760.

[4] P. Refait, A.-M. Grolleau, M. Jeannin, and R. Sabot, “Cathodic Protection of Complex Carbon Steel Structures in Seawater,” *Corrosion and Materials Degradation*, vol. 3, no. 3, pp. 439–453, Aug. 2022, doi: 10.3390/cmd3030026.

[5] A. T. Ortega-Ramírez, L. V. Barrantes-Sandoval, B. D. Casallas-Martin, and N. Cortés-Salazar, “Application of green inhibitors for corrosion control in metals. Review,” *DYNA (Colombia)*, vol. 88, no. 217, pp. 160–168, Apr. 2021, doi: 10.15446/dyna.v88n217.93871.

[6] P. A. Sørensen, S. Kiil, K. Dam-Johansen, and C. E. Weinell, “Anticorrosive coatings: A review,” *J Coat Technol Res*, vol. 6, no. 2, pp. 135–176, 2009, doi: 10.1007/s11998-008-9144-2.

[7] M. Eskandari, A. Shanaghi, M. Kamani, and M. A. Niari, “Effect of nano-metal oxides (ZnO, Al2O3, CuO, and TiO2) on the corrosion behavior of a nano-metal oxide/epoxy coating applied on the copper substrate in the acidic environment,” *Applied Nanoscience (Switzerland)*, vol. 11, no. 5, pp. 1605–1615, May 2021, doi: 10.1007/s13204-021-01806-7.

[8] J. Liu, X. Fang, C. Zhu, X. Xing, G. Cui, and Z. Li, “Fabrication of superhydrophobic coatings for corrosion protection by electrodeposition: A comprehensive review,” *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*, vol. 607, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.colsurfa.2020.125498.

[9] N. Aboualigaledari and M. Rahmani, “A review on the synthesis of the TiO2-based photocatalyst for the environmental purification,” *Journal of Composites and Compounds*, vol. 2, no. 5, pp. 25–42, Mar. 2021, doi: 10.52547/jcc.3.1.4.

[10] A. Vahl *et al.*, “Pathways to tailor photocatalytic performance of TiO2 thin films deposited by reactive magnetron sputtering,” *Materials*, vol. 12, no. 7. MDPI AG, 2019. doi: 10.3390/ma12172840.

 ISSN: 2007 8102

[11] B. Pant, M. Park, and S. J. Park, “Recent advances in TiO2 films prepared by sol-gel methods for photocatalytic degradation of organic pollutants and antibacterial activities,” *Coatings*, vol. 9, no. 10. MDPI AG, Oct. 01, 2019. doi: 10.3390/coatings9100613.
[12] L. Bazli, M. Siavashi, and A. Shiravi, “A Review of Carbon nanotube/TiO2 Composite prepared via Sol-Gel method,” *Journal of Composites and Compounds*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, Oct. 2019, doi: 10.29252/jcc.1.1.1.
[13] M. Borlaf and R. Moreno, “Colloidal sol-gel: A powerful low-temperature aqueous synthesis route of nanosized powders and suspensions,” *Open Ceramics*, vol. 8, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.oceram.2021.100200.
[14] M. de J. Rodríguez Ortíz, R. Hoffmann Valencia, G. Amaya Parra, and P. A. Luque Morales, “Síntesis verde de materiales nanoestructurados de ZnO en la degradación de contaminantes orgánicos por medio de la fotocatálisis heterogénea,” *Revista de ciencias tecnológicas*, vol. 4, no. 4, pp. 299–313, Oct. 2021, doi: 10.37636/recit.v44299313.
[15] A. Zanurin, N. A. Johari, J. Alias, H. M. Ayu, N. Redzuan, and S. Izman, “Research progress of sol-gel ceramic coating: A review,” *Mater Today Proc*, vol. 48, pp. 1849–1854, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.09.203.
[16] A. Afzal, A. Habib, I. Ulhasan, M. Shahid, and A. Rehman, “Antireflective Self-Cleaning TiO2 Coatings for Solar Energy Harvesting Applications,” *Frontiers in Materials*, vol. 8. Frontiers Media S.A., Jun. 07, 2021. doi: 10.3389/fmats.2021.687059.
[17] B. Parada, C. Ortiz, E. Vera, J. Bautista, and J. Rodríguez, “Recubrimientos anticorrosivos SiO2, TiO2, obtenidos a partir de suspensiones sol-gel, aplicados sobre acero AISI 304 y sometidos a condiciones de operación industrial,” *Scientia Et Technica*, vol. XIII, pp. 307–312, Sep. 2007.
[18] D. Yu, J. Wang, J. Tian, X. Xu, J. Dai, and X. Wang, “Preparation and characterization of TiO2/ZnO composite coating on carbon steel surface and its anticorrosive behavior in seawater,” *Compos B Eng*, vol. 46, pp. 135–144, 2013, doi: 10.1016/j.compositesb.2012.10.036.
[19] Y. Zhang *et al.*, “Corrosion Behavior of Plasma-Sprayed Al2O3-3%TiO2 Coatings Doped with CeO2,” *Journal of Thermal Spray Technology*, pp. 1–16, Nov. 2022, doi: 10.1007/S11666-022-01484-Z/METRICS.
[20] N. R. Mathews, E. R. Morales, M. A. Cortés-Jacome, and J. A. Toledo Antonio, “TiO2 thin films - Influence of annealing temperature on structural, optical and photocatalytic properties,” *Solar Energy*, vol. 83, no. 9, pp. 1499–1508, Sep. 2009, doi: 10.1016/j.solener.2009.04.008.
[21] J. Bedmar, S. García-Rodríguez, M. Roldán, B. Torres, and J. Rams, “Effects of the heat treatment on the microstructure and corrosion behavior of 316 L stainless steel manufactured by Laser Powder Bed Fusion,” *Corros Sci*, vol. 209, p. 110777, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.CORSCI.2022.110777.
[22] Z. Zhang, Z. Zhao, X. Li, L. Wang, B. Liu, and P. Bai, “Effect of heat treatments on metastable pitting of 316L stainless steel fabricated by selective laser melting,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 21, pp. 1903–1914, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.jmrt.2022.10.039.
[23] ASTM, “ASTM G 102 89 Standar practice for Calculation of corrosion rates and related information from electrochemical measurements.” May 1994.
[24] K. Abdul Razak *et al.*, “Factors of Controlling the Formation of Titanium Dioxide (TiO2) Synthesized using Sol-gel Method - A Short Review,” in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Jan. 2022. doi: 10.1088/1742-6596/2169/1/012018.
[25] H. Essoussi, S. Elmouhri, S. Ettaqi, and E. Essadiqi, “Heat treatment effect on mechanical properties of AISI 304 austenitic stainless steel,” in *Procedia Manufacturing*, Elsevier B.V., 2019, pp. 883–888. doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.298.
[26] H. N. Lorusso and H. G. Svoboda, “Propiedades mecánicas y caracterización microestructural de diferentes aceros dual-phase,” 2014. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/266877347

 ISSN: 2007 8102

Modelación matemática de la extracción sólido-líquido de aceite de semillas de zapote mamey (*Pouteria sapota*) con hexano

M.J. Navarro Flores[1], M. Hidalgo Morales[1], M.A. Salgado Cervantes[1], G.C. Rodríguez Jimenes[1], M.A. García Alvarado[1].*
[1]Tecnológico Nacional de México. Campus Veracruz. Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos.
**D20020010@veracruz.tecnm.mx*

***Área de participación**: Ingeniería química*

Resumen

El aceite de semillas de mamey (*Pouteria sapota*) tiene potencial como aceite de consumo humano debido al alto contenido de ácido oleico. Con el fin de diseñar un proceso sostenible de extracción sólido-líquido, se modeló un sistema extractivo (hexano)-(aceite)-(semillas de mamey) para diferentes modos de extracción aplicando relaciones matemáticas novedosas. Se realizaron extracciones sólido-líquido (SLE) en una etapa de equilibrio y SLE dinámico con flujo continuo de solvente a través de un lecho fijo de partículas, para estimar las propiedades termodinámicas del sistema. Los resultados para la constante de distribución termodinámica, solución retenida específica y difusividad del aceite en el refinado (mezcla semillas-extracto) fueron 0.24 g/g, 1.58 g/g y 8.68×10^{-11} m^2/s (a 30 °C) respectivamente. Estas propiedades, aplicadas en los modelos matemáticos de procesos SLE multietapas y dinámicos en equilibrio a contracorriente reprodujeron el comportamiento experimental con 4.53-16.7 % de diferencia promedio.

***Palabras clave**: Aceite de semillas de Pouteria Sapota, Extracción sólido-líquido, Modelado matemático, Propiedades de equilibrio, Propiedades de transferencia de masa.*

Abstract

Mamey sapote (Pouteria sapota) seeds oil has potential as human consumption oil due to its high content of oleic acid. In order to design a solid-liquid extraction sustainable process, (hexane)-(oil)-(Pouteria sapota seeds) extractive system was modeled for different extraction modes applying novel mathematical relations. One equilibrium stage solid-liquid extractions (SLE) and dynamic SLE with continuous solvent flow through a particles fixed bed were experimentally performed in order to estimate the extractive system thermodynamic properties. The results for thermodynamic distribution constant, specific retained solution and oil diffusivity in underflow (seeds- extract mixture) were 0.24 g/g, 1.58 g/g and 8.68 10^{-11} m^2/s (at 30 °C) respectively. These properties, applied in the mathematical models of counter-current equilibrium multistage and dynamic SLE processes, reproduced experimental behavior with 4.53- 16.7 average difference %.

***Key words**: Pouteria sapota seeds oil, Solid-liquid extraction, Mathematical modeling, Equilibrium properties, Mass transfer properties.*

Introducción

Recientemente, la extracción de aceite de fuentes biológicas con CO_2 como fluido supercrítico (SFE) se ha considerado como una alternativa verde a la extracción sólido-líquido tradicional (SLE) con hexano [1-4]. Sin embargo, la afinidad del aceite por un solvente dado, expresada como la constante de distribución termodinámica del aceite en un sistema extractivo (CO_2 supercrítico)-(aceite)-(fuente biológica) es aproximadamente 0.1 de la misma constante de distribución en un sistema extractivo (hexano)-(aceite) -(fuente biológica) [5,6]. Esta diferencia significa que SFE con CO_2 requiere aproximadamente 10 veces más solvente que SLE con hexano para extracciones de análogos, pero SFE con un ciclo de CO_2 requiere aproximadamente el 25 % de la energía (por kg de solvente) requerida para la evaporación-condensación del hexano [3]. Por lo tanto, el diseño de procesos de extracción de aceite, ambientalmente sostenibles, debe obtenerse de una

rigurosa optimización de ambas operaciones (SFE y SLE) en su modo más eficiente. Los modos de operación más eficientes son multietapas de equilibrio a contracorriente para SLE [7] y extracción dinámica con flujo continuo de CO_2 supercrítico a través de un lecho fijo de partículas para SFE [3]. Ambos modos de proceso necesitan el conocimiento de las propiedades termodinámicas reversibles (equilibrio de fase) e irreversibles (transferencia de masa) de los sistemas extractivos para la solución de modelos matemáticos rigurosos durante problemas de optimización [4,7-9].
Por otro lado, las semillas de zapote mamey (*Pouteria sapota*) han sido reportadas como una fuente de aceite con un contenido de lípidos del 40-55% [10,11]. Por lo tanto, las semillas de *Pouteria sapota* tienen potencial como fuente alternativa de aceite de origen vegetal. En las investigaciones sobre el aceite de semillas de mamey se ha reportado una composición de 50-60 % de ácido oleico con respecto al total de ácidos grasos libres y baja acidez [10-13]. Esta concentración de ácido oleico es deseable en términos de nutrición y estabilidad durante el proceso de fritura y muestra que el aceite de semillas de mamey puede competir con otros aceites comerciales de alta demanda. La baja acidez puede mejorar la vida útil del aceite [10]. Adicionalmente se ha informado que el aceite de semilla de *Pouteria sapota* se puede utilizar en productos de confitería o como posible sustituto de la manteca de cacao para mejorar la calidad de los productos [11]. En nuestro conocimiento, no se ha informado un modelo matemático riguroso de la extracción de aceite de semillas de *Pouteria sapota* con hexano. Aunque la extracción sólido-líquido fue una de las primeras operaciones unitarias estudiadas en ingeniería química [14]. Recientemente se han publicado modelos rigurosos que tienen en cuenta todos los principios termodinámicos del equilibrio sólido-líquido y la transferencia de masa [4,7,9,15,16]. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue la representación matemática del sistema extractivo (hexano)-(aceite)-(semillas de *Pouteria sapota*) en términos de [7] y [4] modelos para SLE de múltiples etapas en equilibrio a contracorriente y SLE dinámico con flujo continuo de solvente a través de procesos de lecho fijo de partículas. La evaluación teórica y experimental de las propiedades termodinámicas reversibles (equilibrio) e irreversibles (transferencia de masa) se realizó mediante métodos no publicados anteriormente que necesitan estadísticas no lineales avanzadas. Las simulaciones de procesos con propiedades estimadas fueron validadas experimentalmente.

Metodología

Los métodos propuestos para la estimación de las propiedades termodinámicas reversibles e irreversibles de los sistemas extractivos de (hexano)-(aceite)-(semillas de *Pouteria sapota*) son métodos estadísticos numéricos y no lineales.

Propiedades de equilibrio

Los frutos de Pouteria sapota se compraron en un mercado local para obtener las semillas. El endospermo se separó del tegumento y se liofilizó. Tres muestras representativas de aproximadamente 5 g de semillas secas se extrajeron con hexano a punto de ebullición normal en un aparato Soxhlet. Otras cuatro muestras representativas de aprox. 5 g de semillas secas se extrajeron sucesivamente con hexano en lotes de una sola etapa en equilibrio con una relación 1/100 F/S, tres veces a 30 °C. A partir de estas extracciones sucesivas, se evaluaron las fracciones másicas x_{F1} y x_{F2} en las condiciones del proceso de extracción. Es importante señalar que x_{F3} =0 y x_{F4}=0 porque las muestras fueron liofilizadas y libres de hexano. La masa de los extractos (E) obtenidos al equilibrio se pesaron en la balanza analítica, así como las fracciones de masa del aceite (x_{E2}) por evaporación al vacío. Se realizaron 4 extracciones de una sola etapa en equilibrio con aprox. 1 g de semillas secas en diferentes proporciones F/S (1/5, 1/10, 1/15 y 1/20) por cuadruplicado y los resultados se ajustaron por regresión no lineal a las ecuaciones propuestas por Castillo-Santos et al., [7], con la solución retenida específica (M) y la constante termodinámica de reparto (K_{eq}) como parámetros estadísticos y la siguiente ecuación como suma cuadrada de errores.

$$\text{Min } SSE\left(K_{eq},M\right)=\sum_{i=1}^{n}\left(\left(\ln\left(x_{E2}\right)_{exp}-\ln\left(x_{E2}\right)_{sim}\right)^2 w_{i1}+\left(\ln\left(E\right)_{exp}-\ln\left(E\right)_{sim}\right)^2 w_{i2}\right) \quad \textbf{(1)}$$

Los resultados se informaron como M y K_{eq}, que minimizan la ecuación ± variación del intervalo de confianza del 95% calculado con las Ecs. (2)-(4) y la matriz jacobiana (5).

$$\left(b_{k\inf},b_{k\sup}\right)=b_k\pm\sqrt{F_{1-p(1,2n-2)}Var-Cov\left(b_k,b_k\right)} \quad \text{for } b_1=K_{eq} \text{ and } b_2=M \quad \textbf{(2)}$$

 ISSN: 2007 8102

$$Var-Cov(b_1,b_2)=\left(\sum_{j=1}^{2}\mathbf{D}_j{}'\mathbf{W}_j\mathbf{D}_j\right)^{-1}s^2 \tag{3}$$

Donde

$$s^2=\frac{SSE}{2n-2} \tag{4}$$

$$\mathbf{D}_1=\begin{bmatrix}\frac{\partial\ln(x_{E2})_{sim1}}{\partial K_{eq}} & \frac{\partial\ln(x_{E2})_{sim1}}{\partial M}\\ \frac{\partial\ln(x_{E2})_{sim2}}{\partial K_{eq}} & \frac{\partial\ln(x_{E2})_{sim2}}{\partial M}\\ \cdot & \cdot\\ \cdot & \cdot\\ \frac{\partial\ln(x_{E2})_{simn}}{\partial K_{eq}} & \frac{\partial\ln(x_{E2})_{simn}}{\partial M}\end{bmatrix}\quad \mathbf{D}_2=\begin{bmatrix}\frac{\partial\ln(E)_{sim1}}{\partial K_{eq}} & \frac{\partial\ln(E)_{sim1}}{\partial M}\\ \frac{\partial\ln(E)_{sim2}}{\partial K_{eq}} & \frac{\partial\ln(E)_{sim2}}{\partial M}\\ \cdot & \cdot\\ \cdot & \cdot\\ \frac{\partial\ln(E)_{simn}}{\partial K_{eq}} & \frac{\partial\ln(E)_{simn}}{\partial M}\end{bmatrix} \tag{5}$$

Y $\mathbf{W}_j=diag_{n\times n}(w_{ij})$.

Propiedades de transferencia de masa

Arguelles-Peña et al., [6] aplicaron el modelo dinámico propuesto por Torres-Ramon et al., [4] con el fin de evaluar el equilibrio y las propiedades de transferencia de masa del sistema extractivo (CO_2 supercrítico)-(aceite)-(semillas de *Moringa oleifera*). El mismo procedimiento se puede aplicar para las propiedades de transferencia de masa del sistema de extracción (hexano)-(aceite)-(semillas de *Pouteria sapota*) con un dispositivo experimental apropiado. Se llenó una bureta de 25 mL con partículas de 4 mm de diámetro promedio de semillas secas de *Pouteria sapota*, se hizo pasar por gravedad un flujo continuo de hexano, controlado por la válvula de la bureta, a través del lecho de semillas fijo en la bureta. El extracto de salida se recogió periódicamente, se pesó y se evaporó al vacío. Los experimentos se realizaron por duplicado. La cinética experimental del rendimiento de extracción (η) se calculó con el aceite extraído acumulado sobre el aceite extraíble total. El factor de tortuosidad (θ) se estimó mediante la regresión no lineal de la cinética experimental sobre el modelo propuesto en [4] resolviendo el siguiente problema,

$$\text{Min}\ \ SSE(\theta)=\sum_{i=1}^{n}\left(\eta(t_i)_{exp}-\eta(t_i)_{sim}\right)^2 w_i \tag{6}$$

Dónde $\eta(t_i)_{exp}$ son los rendimientos experimentales obtenidos en el tiempo t_i y $\eta\,(t_i)_{sim}$ son los rendimientos predichos obtenidos por la solución numérica de las Ecuaciones de [4] en el tiempo t_i. La evaluación estadística de θ se calculó con un intervalo de confianza $(1-p)100\ \%$ definido en las Ec. (2)-(5) con $j=1$ y $n-2$ grados de libertad de error porque en este caso solo hay una variable de respuesta. La matriz jacobiana única $\mathbf{D}_1$ se calculó con $\eta(t_i)_{sim}$ como variable dependiente y θ como variable independiente.

 ISSN: 2007 8102

La difusión efectiva en el refinado (D_{AR}) fue evaluada indirectamente a partir de θ de la ecuación:

$$D_{AR} = \frac{\varepsilon_\beta}{\sigma_\beta} D_{AR} = \theta D_{A\gamma} \tag{7}$$

Validación experimental del proceso de simulación

Los procesos SLE de múltiples etapas en equilibrio a contracorriente se validaron resolviendo las ecuaciones de [7] para N etapas con el algoritmo basado en optimización y las propiedades de equilibrio estimadas experimentalmente. Los resultados simulados se compararon con los resultados experimentales de etapas múltiples en contracorriente en SLE de equilibrio de semillas de *Pouteria sapota*. Se extrajeron sucesivamente múltiples muestras de 10 g mediante el procedimiento propuesto por [7]. Los detalles experimentales se darán en la sección de resultados porque se requiere la simulación previa para el cálculo de la cantidad de solvente.

El SLE dinámico con flujo continuo de hexano a través de un lecho fijo de semillas secas de *Pouteria sapota* se validó resolviendo las ecuaciones propuestas [4] con θ estimado y con dos flujos de hexano diferentes a los utilizados para el ajuste no lineal. Las simulaciones se compararon con extracciones dinámicas experimentales realizadas con los dos flujos de hexano dados.

Las capacidades de predicción de los modelos, para ambos procesos, se calcularon con la diferencia promedio % (%d) entre los resultados experimentales y simulados,

$$\%d = \sum_{i=1}^{n} \left(\text{Abs}\left(\frac{Y_{i\text{sim}} - Y_{i\text{exp}}}{Y_{i\text{exp}}} \right) 100 \right) \Big/ n \tag{8}$$

o cualquier variable medida (exp) o simulada (sim) $Y_{i.}$

Resultados y discusión

Propiedades de equilibrio

El material extraído por Soxhlet es el total de compuestos solubles en una muestra en el punto de ebullición normal del hexano (68 °C). El material extraído con 3 extracciones sucesivas relación 1/100 en una etapa de equilibrio a 30 °C representa los compuestos extraíbles de semillas de *Pouteria sapota* con hexano a la temperatura dada. Ambos resultados se enumeran en la Tabla 1. Es evidente que la extracción Soxhlet puede obtener más material extraíble, pero a escala comercial, la extracción a 30 °C tiene un menor consumo de energía. Por lo tanto, los experimentos de equilibrio se realizaron a 30 °C considerando $x_{F1=}$ 0.638 y x_{F2}=0.362.

Tabla 1 Aceite extraído de semillas de *Poteria sapota*

Tipo de extracción	Aceite extraído (%)
Hexano (Soxhlet)	50.5 ± 2.12[a]
Extracciones sucesivas (3) 1/100 (F/S) a 30°C	36.2 ± 8.7[a]

a: promedio ± desviación estándar

 ISSN: 2007 8102

Las propiedades de equilibrio ajustadas se enumeran en la Tabla 2 y el comportamiento ajustado frente al experimental se representan en las figuras 1 y 2.

Tabla 2 Propiedades de equilibrio del sistema extractivo (hexano)-(aceite)-(semillas de *Pouteria sapota*).

Propiedad de equilibrio	
K_{eq}	0.24 ± 0.0019[a]
M	1.58 ± 0.026[a]
K^*_{eq}	0.42[b]

a: Valor ajustado no lineal ± variación del intervalo de confianza del 95 %.
b: calculado con las ecuaciones de [7].

La relación exponencial inversa de x_{E2} vs S (Figura 1) y la relación proporcional de E vs S (Figura 2) indican que una mayor relación F/S (menor S a la misma F) produce extractos más concentrados pero menor rendimiento ($\eta = Ex_{E1_2} / Fx_{F_2}$).

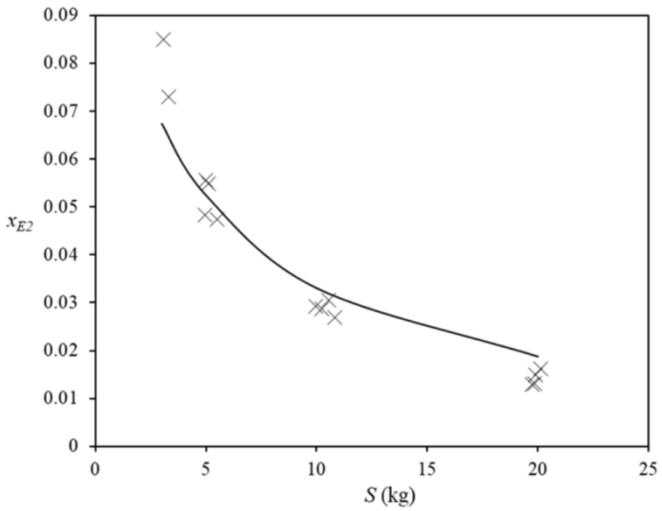


Figura 1Fracción másica de aceite extraída (x_{E2}) después de una etapa de equilibrio SLE de 1 g de semillas de Pouteria sapota con S g de hexano a 30 °C. Datos experimentales (x) y datos ajustados (línea continua).

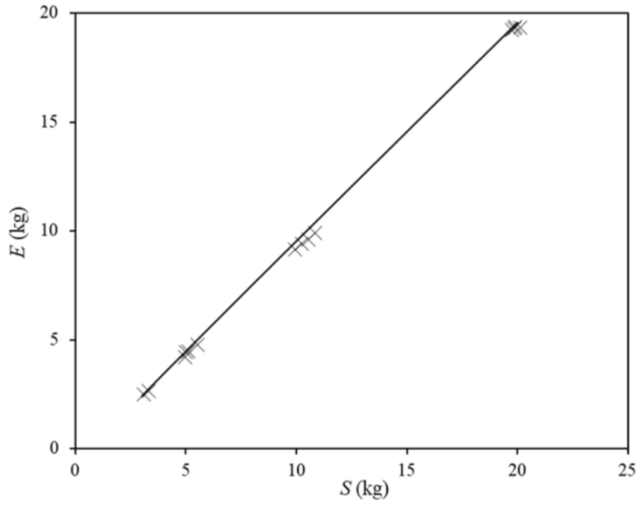


Figura 2 Extracto obtenido (E) después de una etapa de equilibrio SLE de 1 g de Pouteria sapota con S de hexano a 30°C. Datos experimentales (x) y datos simulados (línea continua).

Este fenómeno se puede llamar la paradoja de la extracción: los extractos más concentrados tienen un rendimiento menor. La paradoja de la extracción es inevitable en cualquier etapa de equilibrio de extracción. La única forma de romper la paradoja de la extracción es con un proceso SLE de múltiples etapas en equilibrio a contracorriente [7] o procesos continuos de extracción sólido-líquido a contracorriente [15] y [16] como se demostró experimentalmente.

Propiedades de transferencia de masa

Las propiedades de equilibrio aplicadas puede simular el estado final de cualquier etapa de equilibrio SLE o cualquier proceso SLE multietapa de equilibrio en contracorriente a partir de un estado inicial dado. Para estimar las propiedades de transferencia de masa necesarias, se implementó el dispositivo experimental que nos porporcionó datos cinéticos más precisos que el muestreo de un experimento estático, porque en los experimentos estáticos las muestras deberían ser pequeñas o cambiarían la relación muestra-disolvente. El

 ISSN: 2007 8102

factor de tortuosidad (θ), como medida indirecta de la difusión efectiva del aceite en el refinado (D_{AR}), se estimó mediante regresión no lineal de la cinética experimental, mientras que las otras propiedades de transferencia de masa se estimaron teóricamente. La difusión molecular de aceite (D_{AE}) en hexano se calculó como se propone en [6] con las ecuaciones:

$$D_{AE} = \frac{7.4\times10^{-9}\left(\delta M_S\right)^{1/2} T}{\mu_E \tilde{V}_A^{0.6}} \quad \textbf{(9)} \qquad \text{y} \qquad \tilde{V}_A = \sum_j \left(N_{aj} n_{aj}\right) \quad \textbf{(10)}$$

asumiendo que el componente mayoritario de las semillas de Pouteria sapota es el ácido oleico [9-13]. Por lo tanto, el volumen molar en el punto de ebullición (V_A) del ácido oleico se tomó como [17].

$$\tilde{V}_A = 3\left(18\times14.8+34\times3.7+2\times7.4+7\right)+3\times14.8+5\times3.7 \quad \textbf{(11)}$$

El valor teórico obtenido para D_{AE} fue 9.57X10-^{10} m^2/s a 30°C. Como referencia, la D_{AE} del aceite de palma en n-hexano reportada por [18] fue de 3.63X10^{-10} m^2/s. Teniendo en cuenta que la difusión es para aceite de palma y que no se declaró la temperatura, la estimación teórica puede considerarse precisa, al menos en el mismo orden de magnitud.
Las características del dispositivo experimental, las propiedades teóricamente estimadas y el valor de θ obtenido por regresión no lineal se enumeran en la Tabla 3 y el comportamiento ajustado con respecto a los resultados experimentales se representa en la Figura 3.

Tabla 3 Características de la extracción dinámica, propiedades estimadas teóricamente y regresión no lineal del sistema extractivo (hexano)-(aceite)-(semillas de *Pouteria sapota*).

Variable o propiedad	Valor
L , A [a]	1.36 x 10^{-1} m , 7.85 x 10^{-5} m^2
r_0 [b] , ε_R [a]	0.002 m , 0.632
T	303.15 K
ρ_E [b]	650 kg ·m^{-3}
$v_E A \varepsilon_E$ [a]	4.63 x 10^{-8} m^3 · s^{-1}
C_{AR0} , ρ_R	321, 1008 kg · m^{-3}
D_{AE} [c]	9.57 x 10^{-10} m^2 · s^{-1}
μ_S [d], k_c [c]	2.9 x 10^{-4} Pa · s , 3.7 x 10^{-6} m · s^{-1}
N, N_n,	20 , 20
K^*_{eqv} [e]	0.64 kg · kg^{-1}
θ (D_{AR} D_{AE}) [f]	0.0907 ±0.0011
D_{AR}	8.68 x 10^{-11} m^2 · s^{-1}

 ISSN: 2007 8102

a: del dispositivo experimental
b: evaluado experimentalmente
c: de las ecuaciones 9 y 10
d: De https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/ en T
e: De Ecuacion para K^*_{eqv} [4]
f: Equipado con las Ecs. (5) ± variación del intervalo de confianza del 95%.

El factor de tortuosidad ajustado (θ) fue 0.0907 (Tabla 3) y fue estadísticamente significativo a $p<0.05$. El modelo ajustado se representa en la Figura 3 junto con la totalidad de los datos cinéticos experimentales obtenidos por duplicado. Se puede observar alguna desviación, pero es importante remarcar que el modelo se ajustó solo con un parámetro (θ); el resto de las propiedades se estimaron teóricamente y K^*_{eqv} se estimó equivalentemente a partir de experimentos previos (resultados de la Tabla 2) y la ecuación para K^*_{eqv} de [4].

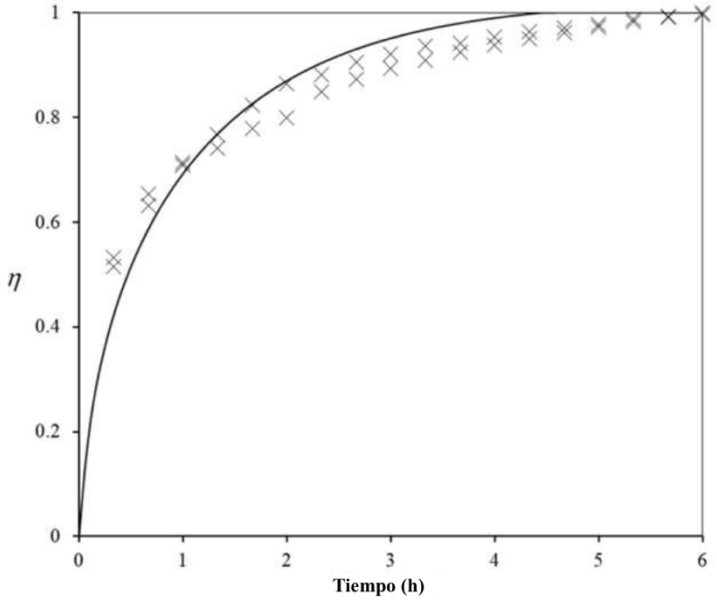


Figura 3 Cinética del rendimiento (η) durante la extracción dinámica de un lecho fijo de semillas de *Pouteria sapota.* Datos experimentales (x) y datos ajustados (línea continua).

Simulación de validación experimental de procesos

Las propiedades termodinámicas reversibles (K_{eq} y M) e irreversibles (θ) estimadas se aplicaron en los modelos matemáticos propuestos para verificar la capacidad de predicción del modelo con respecto a los resultados experimentales. Las simulaciones de procesos SLE de múltiples etapas en equilibrio a contracorriente en diferentes N se realizaron resolviendo las ecuaciones detalladas por [7] con las propiedades de equilibrio de la Tabla 2. Las simulaciones se realizaron para 10 g de semillas de mamey y se fijó x_{E12} =0.065 (fracción de masa de aceite en el extracto a la salida de la etapa uno). Los resultados se enumeran en la Tabla 4. La validación experimental se realizó con dos muestras iniciales de 10 g de semillas de *Pouteria sapota* extraídas en equilibrio con 20.9 g de hexano (tabla 4 para N=1) (a 30 °C). Los extractos obtenidos se pesaron y evaporaron al vacío para calcular el rendimiento experimental ($\eta = Ex_{E1_2} / Fx_{F_2}$) para N =1 y el flujo refinado se utilizó para las siguientes etapas de extracción. Se extrajeron dos nuevas muestras de 10 g en equilibrio con 43.6 g de hexano (tabla 4 para N=2). Los extractos obtenidos se usaron como solvente para extraer en equilibrio , el refinado de las primeras muestras (previamente extraído con 20.9 g de hexano) y los nuevos extractos se pesaron y evaporaron al vacío para calcular el rendimiento experimental ($\eta = Ex_{E1_2} / Fx_{F_2}$) para N=2 . El procedimiento continuó hasta llegar a 5 extracciones de SLE multietapa en equilibrio a contracorriente. Los resultados experimentales también se enumeran en la Tabla 4. Se pueden observar algunas desviaciones entre los resultados experimentales y simulados con N=1,2 pero para N > 2 resultados simulados cercanos a los experimentales. En general, el modelo predice los resultados experimentales con un 16.7% de diferencia promedio para el rendimiento de extracción (η) y 9.89% para la concentración de extracto (x_{E12}).

 ISSN: 2007 8102

Tabla 4 Comparación entre los resultados experimentales y simulados del sistema extractivo SLE de múltiples etapas en equilibrio a contracorriente.

N	S [a] (g)	η Sim	η Exp[b]	x_{E1_2} Exp[b]
1	20.9	0.21	0.48 ± 0.04	0.096 ±0.004
2	43.6	0.63	0.87 ± 0.09	0.077 ± 0.01
3	59.8	0.92	0.95 ± 0.009	0.065 ± 0.0008
4	63.0	0.98	0.98 ± 0.02	0.064 ± 0.0004
5	63.5	0.99	0.99 ± 0.002	0.065 ± 0.0003
			%*d* = 16.7[c]	%*d* = 9.89[c]

a: Todos los resultados se calcularon para F=10 g y x_{E12}=0.065
b: Promedio ± desviación estándar
c: Calculado con Eq. (8)

Se puede observar el bajo rendimiento (21% simulado, 48% experimental) en una etapa y cómo el rendimiento aumenta asintóticamente con múltiples etapas. En el presente ejemplo, el número óptimo de etapas múltiples es 4. Este hecho es extremadamente importante; cualquier optimización del proceso de extracción sólido-líquido en una etapa está sujeta a la paradoja de extracción. Entonces, si la variable óptima fuera la concentración de extracto, el rendimiento sería pobre; de lo contrario, si la variable óptima fuera el rendimiento, el extracto se diluiría. La capacidad de predicción del modelo dinámico y las propiedades termodinámicas estimadas (Tablas 2 y 3) pueden validarse mediante la comparación de la simulación del proceso con respecto a las extracciones dinámicas experimentales realizadas con diferentes flujos de disolvente. Se realizaron dos experimentos, uno a 7.15x10^{-9} m^3/s de flujo de hexano ($v_E A\varepsilon_E$) y el otro a 6.25x10^{-9} m^3/s. El resto de la condición fue la misma listada en la tabla 3. Los procesos simulados se realizaron resolviendo las ecuaciones en las condiciones de la Tabla 3 y el caudal de hexano correspondiente (7.15x10^{-9} y 6.25x10^{-9} m^3/s). La cinética experimental y simulada se representan en la Figura 4 El % de diferencia promedio para las dos comparaciones ($\eta_{exp} < 0.98$) fue %d = 4.5. Es evidente que el modelo propuesto con la constante de equilibrio evaluada a partir de experimentos de equilibrio y el factor de tortuosidad evaluado a partir de experimentos dinámicos reproduce adecuadamente (%d =4.53) la cinética experimental de extracción dinámica a diferentes flujos de solvente.

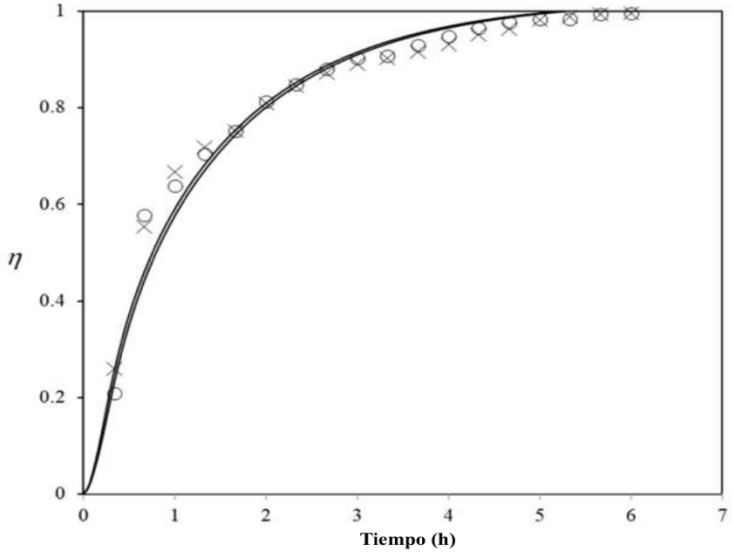


Figura 4 Cinética del rendimiento (η) durante la extracción dinámica de una lecho fijo de semillas de Pouteria sapota. Experimental con 7.15x10^{-9} m^3/s (x) y 6.25x10^{-9} m^3/s (o) de hexano. Las líneas continuas son la solución de las ecuaciones con las variables-propiedades de la Tabla 4 y el caudal de disolvente dado.

 ISSN: 2007 8102

Es importante remarcar que la paradoja de extracción ocurre en cualquier proceso de extracción sólido-líquido incluyendo SFE con CO_2. Sin embargo, en SFE con proceso de CO_2, la separación de solvente de aceite y solvente de flujo inferior es solo por liberación de presión y algo de calor agregado [4]. Este procedimiento requiere menos energía (aproximadamente un 25%) que en el caso de SLE con hexano. SLE con hexano necesita destilación para el extracto y flujo de vapor de agua para el subdesbordamiento. Por el contrario, SFE requiere aproximadamente 10 veces más solvente.

Trabajo a futuro

Por tanto, como se planteó en la introducción, se debe diseñar un proceso de extracción sólido-fluido sustentable a partir de la optimización rigurosa de SLE con hexano y SFE con CO_2, aplicando los modelos y propiedades termodinámicas propuestas en el presente trabajo.

Conclusiones

Se evaluaron las propiedades termodinámicas reversibles e irreversibles del sistema extractivo (hexano)-(aceite)-(semillas de Pouteria sapota) a partir de datos experimentales, modelos matemáticos rigurosos y nuevos métodos de regresión no lineal. Los resultados experimentales y teóricos (modelos matemáticos) expusieron la llamada paradoja de extracción: “extractos más concentrados menor rendimiento”. Las propiedades estimadas, aplicadas en modelos matemáticos para SLE multietapas en equilibrio contracorriente y SLE dinámico con flujo continuo de hexano a través de procesos fijos de semillas de Pouteria sapota, reprodujeron resultados experimentales con 4.54-16.7 % de diferencia promedio. Los modelos matemáticos propuestos con métodos de estimación de propiedades termodinámicas pueden aplicarse para diseñar procesos sostenibles de extracción de aceite de semillas de Pouteria sapota o cualquier otro proceso de extracción sólido-líquido, como por ejemplo compuestos bioactivos de fuentes vegetales con mezclas de etanol y agua como solvente.

Referencias

[1] K. L. Nyam, C. P. Tan, O. M. Lai, K. Long, and Y. B. Che Man, “Optimization of supercritical CO2 extraction of phytosterol-enriched oil from Kalahari Melon Seeds,” *Food and Bioprocess Technology*, vol. 4, no. 8, pp. 1432–1441, 2009. doi:10.1007/s11947-009-0253-4.

[2] N. G. Kulkarni, J. R. Kar, and R. S. Singhal, “Extraction of Flaxseed Oil: A Comparative Study of three-phase partitioning and supercritical carbon dioxide using response surface methodology,” *Food and Bioprocess Technology*, vol. 10, no. 5, pp. 940–948, 2017. doi:10.1007/s11947-017-1877-4.

[3] I. Bettaieb Rebey, S. Bourgou, P. Detry, W. Aidi-Wannes, T. Kenny, R. Ksouri, I. Hamrouni- Sellami, and M.L. Fauconnier, “Green extraction of fennel and anise edible oils using bio-based solvent and supercritical fluid: Assessment of chemical composition, antioxidant property, and oxidative stability,” *Food and Bioprocess Technology*, vol. 12, no. 10, pp. 1798–1807, 2019. doi:10.1007/s11947-019-02341-8.

[4] E. Torres-Ramón C.M. García-Rodríguez, K.H. Estévez-Sánchez, I.I. Ruiz-López, G.C. Rodríguez-Jiménes, G. Romero de la Vega, and M.A. García-Alvarado, “Optimization of a coconut oil extraction process with supercritical CO2 considering economical and thermal variables,” *The Journal of Supercritical Fluids*, vol. 170, p. 105160, 2021. doi:10.1016/j.supflu.2020.105160.

[5] K. Arguelles-Peña, J.A. Olguín-Rojas, A.A. Acosta-Osorio, C. Carrera, G.F. Barbero, M.Á. García-Alvarado, and G.C. Rodríguez-Jimenes, “An evaluation of the equilibrium properties in hexane and ethanol extractive systems for moringa oleifera seeds and fatty acid profiles of the extracts,” *Separations*, vol. 8, no. 11, p. 217, 2021. doi:10.3390/separations8110217.

[6] K. Arguelles-Peña, E.J. Cortes-Avendaño, E. Torres-Ramon, A.A. Acosta-Osorio, M.A. Salgado-Cervantes, G.C. Rodríguez-Jimenes, and M.A. García-Alvarado, “Thermodynamic properties estimation of (oil)-(Moringa Seeds)-(Supercritical CO2) extractive system,” *The Journal of Supercritical Fluids*, vol. 181, p. 105513, 2022. doi:10.1016/j.supflu.2021.105513.

[7] K. Castillo-Santos, R.O. Aguirre-Alonso, G.C. Rodríguez-Jimenes, V.J. Robles-Olvera, M.A. Salgado-Cervantes, and M.A. García-Alvarado, “An optimization based algorithm for solving design problems of

counter-current multistage batch solid-liquid extractors for complex systems: application to vanilla extract," *Computers & Chemical Engineering,* vol. 89, pp. 53–61, 2016. doi:10.1016/j.compchemeng.2016.03.004

[8] J. V. Garcia-Perez, M. A. García-Alvarado, J. A. Carcel, and A. Mulet, "Extraction Kinetics Modeling of antioxidants from grape stalk (vitis vinifera var. Bobal): Influence of drying conditions," *Journal of Food Engineering*, vol. 101, no. 1, pp. 49–58, 2010. doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.06.008.

[9] K. Castillo-Santos, I. I. Ruiz-López, G. C. Rodríguez-Jimenes, J. Carrillo-Ahumada, and M. A. García-Alvarado, "Analysis of mass transfer equations during solid-liquid extraction and its application for vanilla extraction kinetics modeling," *Journal of Food Engineering*, vol. 192, pp. 36–44, 2017. doi:10.1016/j.jfoodeng.2016.07.020.

[10] V. Moo-Huchin, I. Estrada-Mota, R. Estrada-León, L. F. Cuevas-Glory, and E. Sauri-Duch, "Chemical composition of crude oil from the seeds of pumpkin (*cucurbita spp*.) and Mamey Sapota (*pouteria sapota*jacq.) grown in Yucatan, Mexico," *CyTA - Journal of Food*, vol. 11, no. 4, pp. 324–327, 2013. doi:10.1080/19476337.2012.761652.

[11] B. Hernández-Santos, E. Sánchez-Ortega, E. Herman-Lara, J. Rodríguez-Miranda, C. A. Gómez-Aldapa, F. Peryronel, A. G. Marangoni, and C. E. Martínez-Sánchez, "Physicochemical and thermal characterization of seed oil from Mexican Mamey Sapote (pouteria sapota)," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 94, no. 10, pp. 1269–1277, 2017. doi:10.1007/s11746-017-3038-3.

[12] J. A. Solís-Fuentes, R. C. Ayala-Tirado, A. D. Fernández-Suárez, and M. C. Durán-de-Bazúa, "Mamey sapote seed oil (Pouteria sapota) potential, composition, fractionation and thermal behavior," *Grasas y Aceites*, vol. 66, no. 1, 2015. doi:10.3989/gya.0691141.

[13] V. G. Tacias-Pascacio, A. Rosales-Quintero, R.C. Rodrigues, D. Castañeda-Valbuena, P.F. Díaz-Suarez, B. Torrestiana-Sánchez, E.F. Jiménez-Gómez, and R. Fernandez-Lafuente, "Aqueous extraction of seed oil from Mamey Sapote (pouteria sapota) after viscozyme L treatment," *Catalysts*, vol. 11, no. 6, p. 748, 2021. doi:10.3390/catal11060748.

[14] L.C. Whiton, "Oil extraction in theory and practice," Industrial Engineering Chemistry, 18, 605-606, 1926.

[15] G. O. Veloso, V. G. Krioukov, and H. A. Vielmo, "Mathematical modeling of vegetable oil extraction in a counter-current crossed flow horizontal extractor," *Journal of Food Engineering*, vol. 66, no. 4, pp. 477–486, 2005. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.04.019

[16] M. E. Carrín and G. H. Crapiste, "Mathematical modeling of vegetable oil–solvent extraction in a multistage horizontal extractor," *Journal of Food Engineering*, vol. 85, no. 3, pp. 418–425, 2008. doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.08.003.

[17] B.E, Poling, J.M. Prausnitz, and J.P. O'Connell, The Properties of Gases and Liquids. McGraw Hill. 2014.

[18] M. Aman, D. Handoko, A. Sudarmaji, Handoyo, and L. Soedarmawan, "Determination of diffusioncoefficient of palm oil in n-hexane using laser deflection method and image processing," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1034, no. 1, p. 012014, 2022. doi:10.1088/17551315/1034/1/012014.

 ISSN: 2007 8102

Evaluación del efecto tóxico del caldo de fermentación de *Saccharopolyspora spinosa* en *Anastrepha Ludens*

M. Garcés Tolentino[1], C. B. Fosados Osorio[1], L. Chaires Martinez[1], A. Cruz Hernandez[1],*
[1]Centro de Investigación en Alimento y Ambiental. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache, km 6.5 Carretera Potrero del Llano-Tuxpan, Cp.92750, Álamo Temapache, Veracruz, México.
**alejandro.ch@alamo.tecnm.mx*

***Área de participación**: Ingeniería química*

Resumen

Saccharopolyspora spinosa es una bacteria que secreta espinosinas mediante la fermentación, utilizadas para la fabricación de productos para combatir plagas, sin embargo, por los altos costos se ha dejado de utilizar en Álamo Temapache Ver. Por lo que el grupo de investigación del CIAA-ITSAT ha generado propuestas, entre ellas la evaluación tóxica del caldo de fermentación de *S. spinosa* en *Anastrepha Ludens.* Para ello, primero se determinó la concentración celular (0.459 ±0.1247g/L) con una $\mu=0.060h^{-1}$ y una TD=9.5h. A partir de la concentración (0.459 ±0.1247g/L) se prepararon 4 formulaciones (100%, 80%, 50%, 0%) con tres repeticiones, y un control (Spinosad®). En la evaluación toxicológica del caldo de fermentación se realizaron ensayos con moscas de *A. ludens.* Cada ensayo contenía 10 ejemplares, y se les adicionó el caldo de fermentación en forma de aspersión (3 mL). Y se demostró que la formulación 1 (0.459g/L) y el Spinosad® arrojaron el 90% de mortalidad con un valor de toxicidad de 0.308 g/L de concentración celular.

***Palabras clave**: (Saccharopolyspora spinosa, Anastrepha ludens, Dosis letal media, Efecto tóxico)*

Abstract

Saccharopolyspora spinosa is a bacterium that secretes spinosyns through fermentation, used for the manufacture of products to combat pests, however, due to high costs, it has been discontinued in Álamo Temapache Ver. Therefore, the CIAA-ITSAT research group has generated proposals, including the toxic evaluation of the fermentation broth of *S. spinosa* in *Anastrepha Ludens*. For this, the cell concentration (0.459 ±0.1247g/L) was first determined with a µ=0.060h-1 and a TD=9.5h. From the concentration (0.459 ±0.1247g/L) 4 formulations (100%, 80%, 50%, 0%) were prepared with three replicates, and a control (Spinosad®). In the toxicological evaluation of the fermentation broth, tests were carried out with *A. ludens* flies. Each trial contained 10 specimens, and the fermentation broth was added as a spray (3 mL). And it was shown that formulation 1 (0.459g/L) and Spinosad® yielded 90% mortality with a toxicity value of 0.308 g/L of cell concentration.

***Key words**: (Saccharopolyspora spinosa, Anastrepha ludens, Median lethal dose, toxic effect).*

Introducción

Las moscas de la familia Tephritidae, denominadas moscas de la fruta, son uno de los grupos de insectos más importantes desde el punto de vista económico, y causan pérdidas importantes de frutas en regiones tropicales y subtropicales [1,2]. Dentro de ellas, existe *Anasthepha ludens* Loew, conocida como la mosca mexicana de la fruta, es una de las plagas que ataca principalmente a los cítricos [3], causando el crecimiento de larvas [4], caída prematura del fruto y pérdida de calidad que limita al comercio nacional e internacional [5].

Con el paso del tiempo, la demanda de la citricultura moderna ha generado grandes desafíos para desplazar los insecticidas de origen químico [6], y se han utilizado tratamientos costosos en la poscosecha de los frutos para poder mitigar el agente causal (Larvas de mosca) [7]. Por otra parte, se han usado técnicas del insecto estéril [8], otro tipo de alternativas como; hongos entomopatógenos, como *Metarhizium anisopliae*, *Bouveria bassiana* [9].

ISSN: 2007 8102

El municipio de Álamo Temapache ocupa el primer lugar en producción de cítricos en el estado de Veracruz [10]; sin embargo, la problemática de los citricultores es el exceso de plagas, principalmente la mosca de la fruta (*A. Ludens)* que se alimenta de la pulpa de las flores [11], *y* esto ocasiona restricciones a los mercados internacionales. Ante estas situaciones, se ha utilizado el control químico para combatir esta plaga provocando daños ambientales y pérdida de calidad el fruto [12]. Por ello, se han buscado alternativas que sean altamente eficientes y tengan un menor impacto en el medio ambiente, como las herramientas del control biológico. En el 2018 se utilizaba el Spinosad® como alternativa contra *A. ludens*, este producto es derivado de la fermentación de la bacteria *S.* spinosa [13]. Estos productos tienen como agente activo a las espinosinas, principalmente A y D altamente eficientes contra insectos diana [14]. Algunos autores indican que este producto tiene una dosis letal media (DL_{50}) de 2.8 mg/L en 24 horas contra insectos Diana [15]; sin embargo, el producto a dejado de utilizarse en el municipio de Álamo Temapache por su elevado costo (1400 pesos mexicanos por galón aproximadamente) y para los citricultores no es redituable. Su elevado costo de este producto se ha debido al bajo rendimiento de espinosinas [14].

Por tal motivo los citricultores de la región han expresado sus inquietudes ante los investigadores del Instituto Tecnológico superior de Álamo Temapache (ITSAT), para crear alternativas. El grupo de trabajo ha realizado propuestas, como la producción de biomasa de la bacteria *S. spinosa* [16] en sistemas en lote y lote alimentado [17] para desarrollar un bioplaguicida a un costo accesible. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar la capacidad toxicológica del caldo de fermentación de la bacteria *S. spinosa* en A. *ludens,* ya que actualmente no hay reportes donde se utilice el caldo de fermentación directamente contra las plagas.

Metodología

Materiales

En la investigación se usaron: Autoclave 406-80 de ETC Biosystems, Incubadora 211DS de LABNET, Centrifuga Z326 de HERMLE, Balanza analítica AR1140 de OHAUS, Espectrofotómetro UV-VIS de CECIL, Campana de flujo laminar LAB-TECH, Estereoscopio de IROSCOPE, MOD ES-24, Parrilla de calentamiento de THERMO-SCIENTIFIC, Microscopio óptico de OLYMPUS CX23, Estufa de secado de STATUS. Reactivos: Dextrosa, Peptona, Agar (SIGMA-ALDRICH), Agua destilada (BEKER) y Kit de Tinción de Gram.

Reactivación de la cepa

La cepa fue adquirida en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, con registro de colección nacional de cepas microbianas y cultivos celulares afiliada a la WFCC (World Federation for Culture Collection) de CDBB B-1920. Para reactivar el crecimiento de *S. spinosa*, la cepa se inoculó con un asa de siembra en 50 mL de medio que contenía peptona (10 g/L) y glucosa (50 g/L), ajustado a un pH de 5.8. Previamente el medio se esterilizó en una autoclave, a una presión de 1.0 kg/cm^2 y a una temperatura de 121 °C durante un tiempo de 15 minutos. El medio inoculado fue puesto a 120 rpm a 26 °C durante 48 horas y posteriormente se pasó a un medio nuevo que contenía 500 mL de medio de cultivo, incubado con las mismas características antes descritas. Y finalmente se realizó una tinción de Gram, para corroborar la bacteria.

Desarrollo e identificación de *A. ludens*

Las muestras de larvas de moscas se obtuvieron de naranjas contaminadas recolectadas en una parcela del Ejido de Pueblo Nuevo, Álamo Temapache Ver.; estas fueron aisladas y puestas en una trampa donde se colocó suelo estéril en una superficie de 10 cm, se colocaron las naranjas contaminadas y fueron cubiertas con tela comercial (TUL). Una vez transcurrido su ciclo de vida (40 a 45 días), las moscas comenzaron a emerger. Con ayuda de un estereoscopio se procedió a realizar la identificación mediante claves taxonómicas [18,19].

Determinación de biomasa

Se tomaron de 10 mL de caldo de fermentación y se realizaron diluciones (V/V) de 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6;4, 8:2 y 10 con agua destilada, y la absorbancia (ABS) se midió a 500 nm con ayuda de una celda de vidrio de 1 cm en un espectrofotómetro. Para el peso seco, se utilizaron cajas de aluminio a peso constante, donde se adicionaron los 10 mL de las diluciones y se secaron a 105 ºC durante 24 h. Para la cuantificación de biomasa, se realizó con la ayuda de la ecuación de la curva de calibración a 500 nm.

ISSN: 2007 8102

Determinación de la DL_{50}

En el efecto de toxicidad (Tabla 1) se determinó la concentración de biomasa, y posteriormente se trabajó con concentraciones de biomasa de F1-100%$_{(0.459g/L)}$, F2-80%$_{(0.367g/L)}$, F3-50%$_{(0.229g/L)}$ y F4-0%$_{(0\ g/L)}$. y se comparó con el Spinosad® comercial, para su equivalente de 100 mL de acuerdo a la relación existente en su etiqueta (0.02% de espinosinas). Para el ensayo se trabajaron con 10 moscas por cada concentración por triplicado. Para este caso se colocaron 10 muestras en una caja Petri de vidrio de 20 cm, y se aplicaron 3 mL del caldo de fermentación a cada ensayo, con ayuda de un atomizador y se analizó la mortalidad durante 24 horas.

Análisis estadístico

Para la construcción de la curva de cuantificación de biomasa, se realizó una regresión lineal (mg/L vs ABS) con ayuda del software Origin Pro 8. El diseño experimental de la DL_{50} fue completamente al azar para 3 repeticiones con 10 moscas para cada ensayo. Para este caso los datos fueron analizados mediante Probit y los resultados obtenidos se compararon a través de las medias mediante un análisis de varianza (ANOVA), con prueba Tukey, para ver diferencias significativas ($P<0.05$) con ayuda del Software Minitab V9.

Tabla 1. Diseño experimental

Formulación	Biomasa (g/L)
F1-100%	0.459
F2-80%	0.367
F3-50%	0.229
F4-0%	0
Spinosad®	-----

RESULTADOS Y DISCUSIÓNES

Identificación de *Anastrepha ludens*

En la Figura 1, se observan las moscas con una longitud de 8 mm, en la parte del tórax el escueto tiene una mancha obscura en la parte media de la sutura. Sus alas (Figura 1C), tienen bandas de color café amarillento pálido, con la banda V separada de la S, y la curvatura de la M es moderada. En cuanto al ovopositor (Figura 1 d) el tamaño fue de 3.7 mm de longitud con dientes diminutos. Además, se caracteriza por la longitud del abdomen es más corta que el ovopositor, y esta puede llegar a medir de 3.2 a 5 mm. Estas características son idénticas a lo descrito le guía de la SAGARPA y otros autores [19, 20].

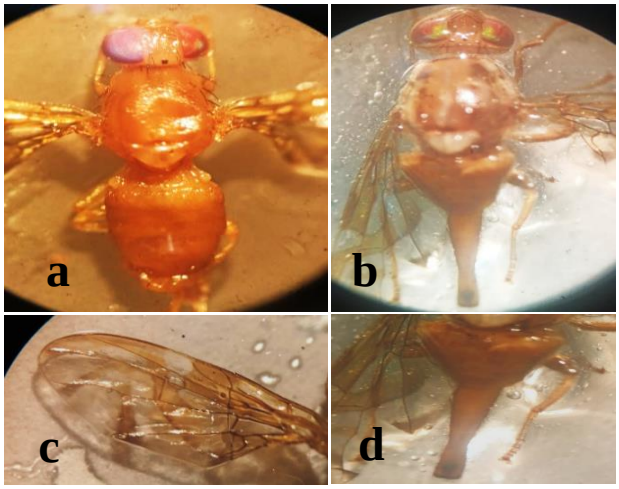


Figura 1. Identificación de la mosca de la fruta *A. Ludens*: a) Mosca *A. Ludens* macho, b) Mosca *A. Ludens* Hembra, c) Alas de la mosca *A. Ludens* d) Aguijón de la mosca *A. Ludens* Hembra.

 ISSN: 2007 8102

Determinación de biomasa y parámetros cinéticos

Al construir la curva con la regresión lineal de la ABS con respecto al peso seco (mg/L), se determinó la ecuación (y=0.00162+0.11514*x-Figura 2) con un coeficiente de correlación de 0.9971. Con este método indirecto se logró determinar la producción de biomasa en un caldo de fermentación; donde la biomasa X=0.459 ±0.1247 g/L en 48 horas, con una μ=0.060h^{-1} y una TD=9.5h. Otros autores han reportado una producción de biomasa de 0.0325g/L usando una concentración de sustrato de 10g/L [13] y 0.97g/L con 60 g/L en matraz [18]. En los estudios por el grupo de trabajo (CIAA-ITSAT) a nivel de biorreactor de 10 L, se han encontrado concentraciones de 0.775 g/L en lote y 1.320 g/L en lote alimentado, con una μ de 0.057 h^{-1} y 092h^{-1} y una TD de 9.90h y 7.70 h [17]. Cabe recalcar, que se trabajó con un medio de cultivo simple, para minimizar gastos de producción de la bacteria.

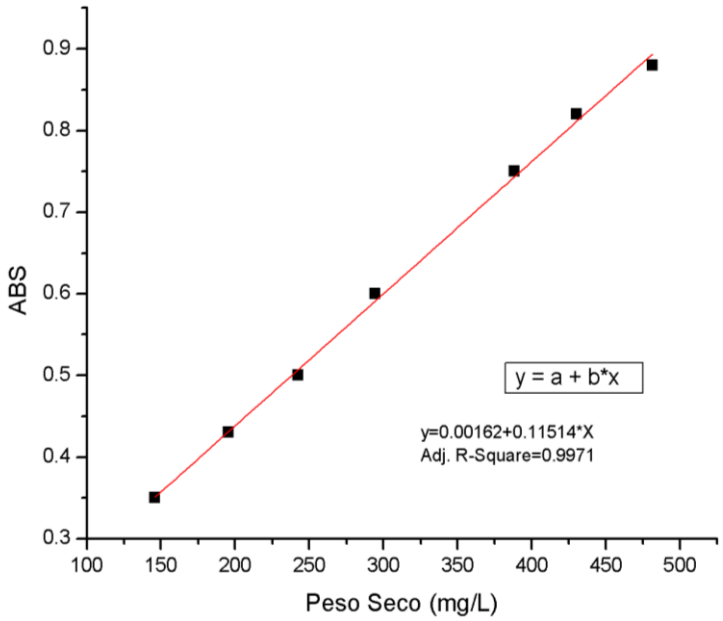


Figura 2. Curva de calibración de biomasa. (mg/L vs ABS)

Dosis letal media (DL_{50})

El caldo de fermentación de la bacteria *S. spinosa* mostró efecto tóxico hacia *A. ludens*. En la Figura 3 se observa que la F1-100% provocó una mortalidad del 90%, mientas que F2-80% provocó el 53%, en la F3-50% la mortandad fue de 30% con diferencias significativas (P <0.05). En cuanto al Spinosad®-200mg/L comercial y la F1-100% del caldo de fermentación, ambas con el 90% de mortalidad, esto indica que el caldo de fermentación es similar al efecto tóxico con respecto al comercial. Los resultados muestran la efectividad del fermentado utilizando una concentración al 100% en 24 horas. En cuanto a los valores de DL_{50} obtenidos mediante la mortalidad de *A. ludens* con ayuda del método Probit, indica que es necesario una concentración de 308.45 mg/L para contrarrestar en un 50% *A. Ludens* en un tiempo aproximado de 24 horas. Cabe recalcar que asperjaron 3 mL del caldo de fermentación. Otros Autores reportaron el efecto tóxico del producto SPINOSAD®, una DL_{50} de 0.28mg/L en *Ceratitis capitata* [21]. En una concentración de 96 mg/L la mortalidad fue de 77% en un lapso de 14 días en *A. ludens* [22]. Este producto contiene espinosinas, así como el caldo de Fermentación de *S. spinosa*, por lo tanto, se corrobora la toxicidad asociada a las espinosinas. Por otra parte, mediante otras alternativas [23] para el control de la mosca, se han evaluado cepas de hongos entomopatógenos, como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* con 93 y 89% de infección en *Anastrepha oblicua,* en la mosca *Ceratitis capitata*, se han evaluado cepas de *B. bassiana* [24,25, 26] entre 90 a 95% de mortalidad en *A. oblicua* [27]. Además, de acuerdo a los trabajos investigados, no se han encontrado reportes del uso del caldo de fermentación de la *S. spinosa* en

 ISSN: 2007 8102

ensayos contra plagas, por lo que se podrían utilizar directamente contra *A. ludens* y otras plagas. Con estos resultados, se estaría contribuyendo a la problemática en Álamo, por lo que el próximo paso es asperjar directamente sobre los cultivos cítricos.

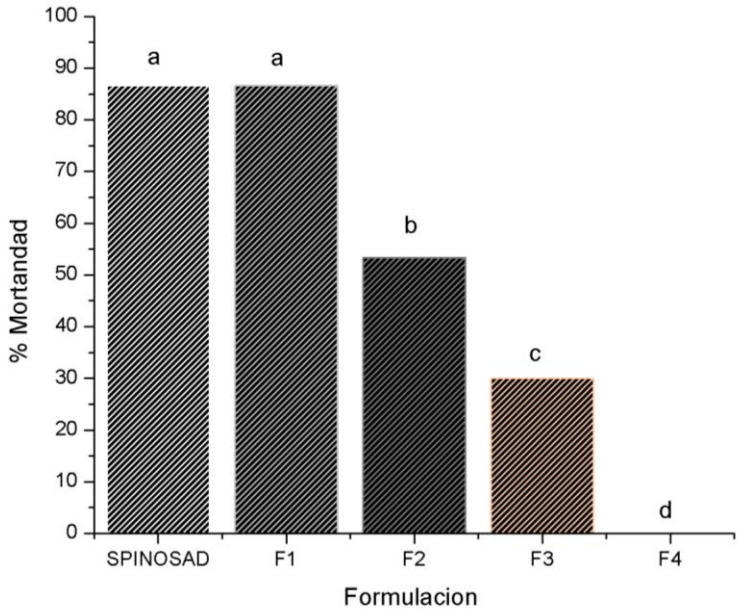


Figura 3. Mortandad de las formulaciones del caldo de fermentación y SPINOSAD®

Trabajo a futuro

El presente trabajo es la continuación de un proyecto Financiando por parte del TecNM al Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache. El próximo trabajo de investigación se centrará en la cuantificación y purificación de espinosinas para la producción del bioplaguicida y en utilizar el caldo de fermentación en cultivos cítricos de la Región de Álamo Temapache Veracruz.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación muestran el efecto toxico de la bacteria *Saccharopolyspora spinosa* contra la mosca de la fruta de los cítricos *A. ludens*. La concentración celular del caldo de fermentación (0.459g/L) en la Formulación 1 fue efectiva al eliminar el 90% de las moscas en 24 horas. Así mismo, los valores de la DL_{50} obtenidos de la mortandad fueron de 0.308 g/L de concentración celular. Por otra parte, la producción celular fue realizada en un medio que contenía glucosa y peptona, a diferencia de otros autores. Con el objetivo de minimizar costos de producción.

Agradecimientos

Se agradece al Tecnológico Nacional De México/Instituto Tecnológico superior de Álamo Temapache y al Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICYDET) por el apoyo prestado para llevar a cabo este proyecto. A los Estudiantes e investigadores participantes en este trabajo de investigación

Referencias

[1] J. Trombik, S. Ward, A. L. Norrbom, and A. M. Liebhold, "Global drivers of historical true fruit fly (Diptera: Tephritidae) invasions" *Journal of Pest Science,* vol. 96, no. 1, pp. 345–357, Apr. 2022, doi: 10.1007/s10340-022-01498-0

[2] *A. R. Malacrida, L. M. Gomulski, M. Bonizzoni, S. Bertin, G. Gasperi, and C. R. Guglielmino, "Globalization and fruitfly invasion and expansion: the medfly paradigm," Genetica, vol. 131, no. 1, pp. 1–9, Nov. 2006, doi: 10.1007/s10709-006-9117-2.*

[3] M. Aluja, "Bionomics and management of Anastrepha". *Annual Review of Entomology*, Vol. 39, 155–178. 1994.

[4] S. Buentello-Wong, L. J. Galán-Wong, K. Arévalo-Niño, V. Almaguer-Cantú, and G. Rojas-Verde, "Toxicity of some essential oil formulations against the Mexican fruit fly Anastrepha ludens (Loew) (Diptera: Tephritidae)," *Industrial Crops and Products*, vol. 85, pp. 58–62, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.indcrop.2016.02.040.

[5] M. Aluja and R. L. Mangan, "Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) Host Status Determination: Critical Conceptual, Methodological, and Regulatory Considerations," *Annual Review of Entomology*, vol. 53, no. 1, pp. 473–502, Dec. 2007, doi: 10.1146/annurev.ento.53.103106.093350.

[6] M. B. Isman, "Challenges of Pest Management in the Twenty First Century: New Tools and Strategies to Combat Old and New Foes Alike*," Frontiers in Agronomy*, vol. 1, 2019, doi: 10.3389/fagro.2019.00002

[7] T. Shelly, N. Epsky, E. B. Jang, J. Reyes-Flores, & R. Vargas,. "Trapping and the detection, control and regulation of tephritid fruit flies: Lures, area-wide programs and trade implications". *Dordrecht, The Netherlands: Springer.* (Eds.). (2014).

[8] L. A. Caravantes-Villatoro, P. Liedo, K. Guillén-Navarro, and J. C. Rojas, "Effect of a Probiotic-Enriched Diet on Sexual Competitiveness, Pheromone Emission, and Cuticular Hydrocarbons of Sterile and Fertile Anastrepha ludens (Diptera: Tephritidae)," Journal of Economic Entomology, vol. 115, no. 5, pp. 1490–1498, Jul. 2022, doi: 10.1093/jee/toac105.

[9] E. Quesada-Moraga, I. Martin-Carballo, I. Garrido-Jurado, and C. Santiago-Alvarez, "Horizontal transmission of Metarhizium anisopliae among laboratory populations of Ceratitis capitata (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae)," Biological Control, vol. 47, no. 1, pp. 115–124, Sep. 2008, doi: 10.1016/j.biocontrol.2008.07.002.

[10] SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018

[11] S. Flores, L. E. Gomez, and P. Montoya, "Residual Control and Lethal Concentrations of GF-120 (spinosad) for Anastrepha spp. (Diptera: Tephritidae)," Journal of Economic Entomology, vol. 104, no. 6, pp. 1885–1891, Nov. 2011, doi: 10.1603/ec10365

[12] P. Montoya,. Cancino, J. "Control biológico por aumento en moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae)". Folia Entomológica Mex. Vol. 43, no. (3), pp. 257-270. 2004.

[13] F. P. Mertz and R. C. Yao, "*Saccharopolyspora spinosa* sp. nov. Isolated from Soil Collected in a Sugar Mill Rum Still," *International Journal of Systematic Bacteriology,* vol. 40, no. 1, pp. 34–39, Dec. 1989, doi: 10.1099/00207713-40-1-34.

[14] F. Bridget, C. T. Nguyen, R. T. Magar, and J. K. Sohng, "Increasing production of spinosad in Saccharopolyspora spinosa by metabolic engineering," Biotechnology and Applied Biochemistry, Dec. 2022, doi: 10.1002/bab.2418.

[15] J. D. Stark, Vargas, R.; Miller, N. "Toxicity of spinosad in protein bait to three economically important tephritid fruit fly species (*Diptera: Tephritidae*) and their parasitoids (*Hymenoptera: Braconidae*)". J. Economic, *Entomol.* Vol. 97. No. (3), pp. 911-915. 2004.

[16] L. Martinez-Chavez,., Mabarak-Hernandez, H., Cruz-Hernandez, A., Perez- Vargas, M.A., y Chaires-Martinez, L. Produccion de altas densidades celulares de Saccharopolyspora spinosa en tanque agitado. Journal Cim, Vol. 6 no. (1) pp.1413-1419. 2018.

[17] C. Juana., M., y C. G. Leandro, "Producción de espinosinas en sistemas lote, lote alimentado y continuo de la bacteria *Saccharopolyspora spinosa*," Dec. 31, 2020. https://cdigital.uv.mx/handle/1944/50560?show=full (Tesis de maestria)

[18] SAGARPA, Guia de indentificacion de moscas de la Fruta, 2018.

[19] V., Hernandez-Ortiz, J., Guillén-Aguilar y L. Lopez "Taxonomia e identificacion de moscas de la fruta de importancia económica en America" En: P. Montoya, J. Toledo y E. Hernandez (eds.), Moscas de la fruta: Fundamentos y procedimientos para su manejo, 2010. S y G editores, D.F. pp 49-79

[20] J. Gallardo, I. Bravo., "Ficha técnica de la fruta". Servicio nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria

[21] G. Yang, H. Yuping, J. Yan, K.-C. Lin, and H. Xia, "A New Medium for Improving Spinosad Production by Saccharopolyspora spinosa," *Jundishapur Journal of Microbiology*, vol. 9, no. 6, 2016, doi: 10.5812/jjm.16765.

[22] C. Lu, J. Yin, F. Zhao, and F. Li, "Metabolomics analysis of the effect of dissolved oxygen on spinosad production by Saccharopolyspora spinosa," Antonie Van Leeuwenhoek International *Journal of General and Molecular Microbiology,* vol. 110, no. 5, pp. 677–685, Feb. 2017, doi: 10.1007/s10482-017-0835-5.

 ISSN: 2007 8102

[23] H. Díaz-Ordaz, Noé, Pérez, Nelson, & Toledo, Jorge. Patogenicidad de tres cepas de hongos entomopatógenos a adultos de Anastrepha obliqua (Macquart) (Diptera: Tephritidae) en condiciones de laboratorio. *Acta zoológica mexicana*, *26*(3), 481-494. (2010)

[24] Quesada-Moraga E, Ruiz-García A, Santiago-Alvarez C. Laboratory evaluation of entomopathogenic fungi Beauveria bassiana and Metarhizium anisopliae against puparia and adults of Ceratitis capitata (Diptera: Tephritidae). J Econ Entomol. 2006 Dec;99(6):1955-66. doi: 10.1603/0022-0493-99.6.1955. PMID: 17195660.

[25] J. A. Muñoz, “Mortalidad en ceratitis capitata (wiedemann) (diptera: tephritidae) por diversas cepas de beauveria bassiana (bals.) Acta Zoológica Mexicana, 25: 609-624. 2009. Fertile Anastrepha ludens (Diptera: Tephritidae),” Journal of Economic Entomology, vol. 115, no. 5, pp. 1490–1498, Jul. 2022, doi: 10.1093/jee/toac105.

[26] P. Sookar, S. Bhagwant, and E. Ouna, “Isolation of entomopathogenic fungi from the soil and their pathogenicity to two fruit fly species (Diptera: Tephritidae),” Journal of Applied Entomology, vol. 132, no. 9–10, pp. 778–788, Nov. 2008, doi: 10.1111/j.1439-0418.2008.01348.x

[27] M.J. Herrera, & G. X. Mata. 2006. Evaluación de la patogenicidad de cuatro géneros de hongos entomopatógenos para el control de Ceratitis capitata y Anastrepha obliqua bajo condiciones de laboratorio. Pp. 296-297. In: Memorias del XXIX Congreso Nacional de Control Biológico. Manza- nillo, Col., México.

 ISSN: 2007 8102

Síntesis de un complejo de coordinación bidentado mononuclear derivado de benzotiazol con potencial actividad biológica

*Jorge Merino-González[1], Raúl Colorado-Peralta[1], María Elizabeth Márquez-López[1], Sharon Rosete-Luna[1], Delia Hernández-Romero[1]**
[1]Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Prolongación Oriente 6, Orizaba, Veracruz, 94340, México *deliahernandez@uv.mx
***Área de participación**: Ingeniería química*

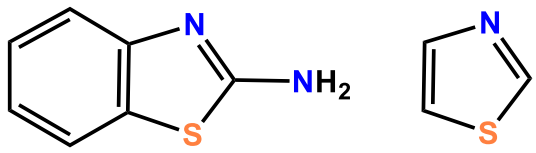
Resumen
Se sintetizó el *N*-benzotiazol-2-il-2-clorobenzamida mediante una reacción de acilación con 2-aminobenzotiazol y cloruro de 2-clorobenzoilo, posteriormente el compuesto se colocó a reflujo con $CuCl_2$ para obtener el complejo de coordinación. Los compuestos resultantes fueron purificados mediante evaporación lenta y caracterizados por medio de técnicas espectroscópicas como IR, RMN ^{1}H, RMN ^{13}C y UV-Vis, encontrando diferencias significativas entre ambos compuestos, en su solubilidad, punto de fusión, así como diferentes desplazamientos en el IR y cambio en la longitud de onda en el UV-Vis, concluyendo que se obtuvo el compuesto mediante un enlace covalente coordinado a través del nitrógeno endocícliclo del tiazol y el oxígeno de la amida, formando un complejo de coordinación bidentado mononuclear.

***Palabras clave**: Acilación, 2-aminobenzotiazol, complejo de coordinación, cobre, tiazol.*

Abstract
N-benzothiazol-2-yl-2-chlorobenzamide was synthesized by an acylation reaction with 2-aminobenzothiazole and 2-chlorobenzoyl chloride, then the compound was refluxed with $CuCl_2$ to obtain the coordination complex. The resulting compounds were purified by slow evaporation and characterized by means of spectroscopic techniques such as IR, ^{1}H NMR, ^{13}C NMR and UV-Vis, finding significant differences between both compounds, in their solubility, melting point, as well as different displacements in the IR and change in the wavelength in the UV-Vis, concluding that the compound was obtained by a coordinated covalent bond through the endocyclic nitrogen of the thiazole and the oxygen of the amide, forming a mononuclear bidentate coordination complex.

***Key words**: Acylation, 2-aminobenzothiazole, coordination complex, copper, thiazole.*

Introducción
En la búsqueda de nuevos compuestos con actividad biológica, destacan los heterociclos los cuales contienen en su estructura al menos un átomo de oxígeno, nitrógeno, azufre, entre otros heteroátomos; por esta razón estos compuestos tienen gran relevancia para la comunidad científica, siendo un claro ejemplo el benzotiazol (Figura 1a), cuya estructura está conformada por un anillo de tiazol (Figura 1b) que contiene un azufre y un nitrógeno, fusionado a un benceno [1].



a) b)

Figura 1. a) 2-Aminobenzotiazol b) Tiazol

Al benzotiazol se le atribuye un amplio espectro de actividades farmacológicas, por ejemplo, antiviral, antituberculosis, antipalúdica, analgésica, antioxidante, anticancerígena, antiinflamatoria, etc [2]. Por otra parte, en los últimos años la química de coordinación se ha convertido en una ciencia de rápida evolución con progresos significativos encontrando que la estructura de los compuestos de coordinación posee potenciales aplicaciones en distintas áreas, además, los usos y las aplicaciones medicinales de los metales y los complejos metal-

 ISSN: 2007 8102

orgánicos son de creciente importancia clínica y comercial. Se ha demostrado, que los complejos de coordinación suelen potenciar o incluso modificar la actividad biológica tanto del ligando como del metal [3].
El cobre se conoce desde la antigüedad y es uno de los elementos más abundantes en la tierra, se ha utilizado de diferentes maneras, desde su uso en brazaletes hasta en ungüentos para tratar el dolor muscular y articular, al igual que presenta propiedades antibacterianas. Además, el cobre está presente en numerosas proteínas relacionando su función en la trasferencia de electrones y trasporte y activación de oxígeno.
Por sí solo, el cobre tiene una gran utilidad en la ayuda al combate en ciertas enfermedades, y al momento de formar complejos con cobre se ha demostrado que estos tienen un amplio espectro de acción terapéutica, Adicionalmente, los complejos de cobre son muy conocidos y algunos de estos tienen como ligante el 2-aminobenzotiazol, estos complejos metal-orgánicos han sido muy estudiados debido a que se ha demostrado que tienen actividad anticancerígena, antifúngica, antitumoral, etc. El 2-aminobenzotiazol posee tres sitios nucleofílicos (N, S, NH_2) por lo cual, cualquiera de estos heteroátomos tiene potencial para generar un enlace covalente coordinado; no obstante, el ligando es capaz de unirse al metal a través del átomo de nitrógeno endocíclico en lugar de los otros dos heteroátomos. Además, la capacidad de generar complejos de coordinación se ve favorecido por el sistema π deslocalizado en su estructura [4].
Como ya se ha mencionado en diferentes investigaciones se ha demostrado que el benzotiazol actúa como farmacóforo y se puede mejorar su capacidad de entrar en la membrana celular debido a la presencia de un metal. Por lo cual en este trabajo se reporta la síntesis de un derivado de benzotiazol mediante reacción de acilación del grupo amino para generar un ligante capaz de formar complejos de coordinación con potencial actividad biológica.

Metodología

Equipos y materiales

Los reactivos fueron adquiridos comercialmente en Sigma-Aldrich. El seguimiento de las reacciones se realizó mediante el empleo de CCF con cromatofólios Merck-DC-F254 de gel de sílice sobre aluminio. Se utilizaron equipos e instrumentos como: Rotavapor Heidolph System 4011. Balanza electrónica marca RADWAG. Lámpara de luz ultravioleta modelo Cole-Parmer. Estufa de secado marca BINDER. Los espectros de Infrarrojo se realizaron con el equipo PerkinElmer Spectrum 100 FT-IR. Los espectros de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) de ^{1}H y ^{13}C, se realizaron en un espectrómetro modelo Bruker BioSpin GmbH 300 MHz. Los δ están expresados en partes por millón (ppm) respecto a la señal de DMSO deuterado (DMSO-*d6*), como referencia interna. Las abreviaturas empleadas en la asignación de las bandas son: (s) singulete, (d) doblete, (t) triplete, (c) cuadruplete, (m) multiplete.

Procedimiento para la obtención por acilación del BTZ-01

Para la síntesis del compuesto **BTZ-01** (Figura 2) se depositó en un tubo de rosca 8 ml de tolueno, posteriormente se agregó 200 mg de 2-aminobenzotiazol (1.33 mmol) y 556.12 µL de trietilamina (3.99 mmol) y se agito por 15 min, pasando el tiempo se añadió 303.09 µL del halogenuro de ácido (2.39 mmol), se calentó a 80° C durante 3 horas y media. El seguimiento de la reacción se llevó a cabo mediante CCF en fase móvil 7:3 hexano-acetato de etilo. Terminada la reacción se eliminó el tolueno en rotavapor. Al producto obtenido se le realizaron lavados con agua y se realizó la extracción con acetato de etilo, a la fase orgánica obtenida se le añadió Na_2SO_4 y se filtró, la fase orgánica se eliminó con ayuda del rotavapor. El producto crudo obtenido se purifico por recristalización en etanol. Los cristales obtenidos al final de la purificación se sometieron a secado en estufa con vacío a temperatura ambiente, obteniendo un sólido cristalino opaco con un rendimiento del 60 %. Con PF de 170°C-175 °C y soluble en AcOEt, Hexano, MeOH, $CHCl_3$, DMSO.

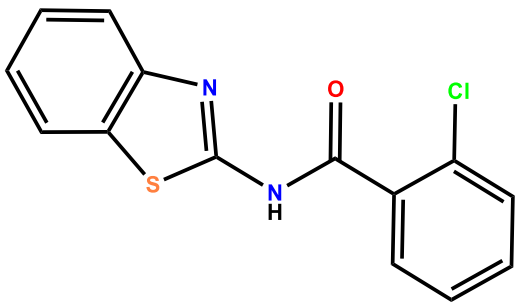


Figura 2. Compuesto *N*-benzotiazol-2-il-2-clorobenzamida (BTZ-01).

 ISSN: 2007 8102

Procedimiento para la obtención de BTZ-02

Para la síntesis del complejo de coordinación (Figura 3), se utilizó 50 mg del compuesto **BTZ-01** (0.172 mmol), con relación 1:1 respecto al $CuCl_2$ (23.25 mg), se colocaron las muestras en reflujo con 5 ml de etanol a 80 °C durante 5 horas. Al término de la reacción se filtró el complejo y se dejó reposar en un tubo de vidrio para una evaporación lenta. El precipitado se secó a temperatura ambiente en estufa de secado, para posteriormente hacerle las pruebas analíticas correspondientes. El complejo de coordinación se obtuvo como polvo verde opaco (**BTZ-02**) con un rendimiento del 60 % con PF 160°C-165°C, soluble en AcOEt, Hexano, MeOH.

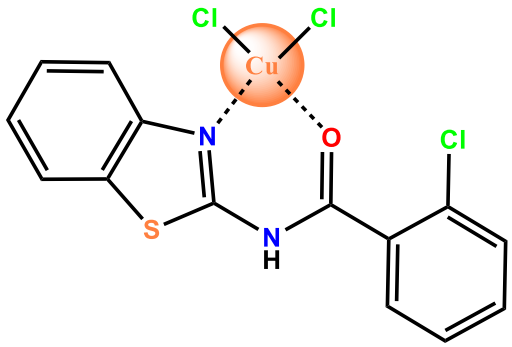
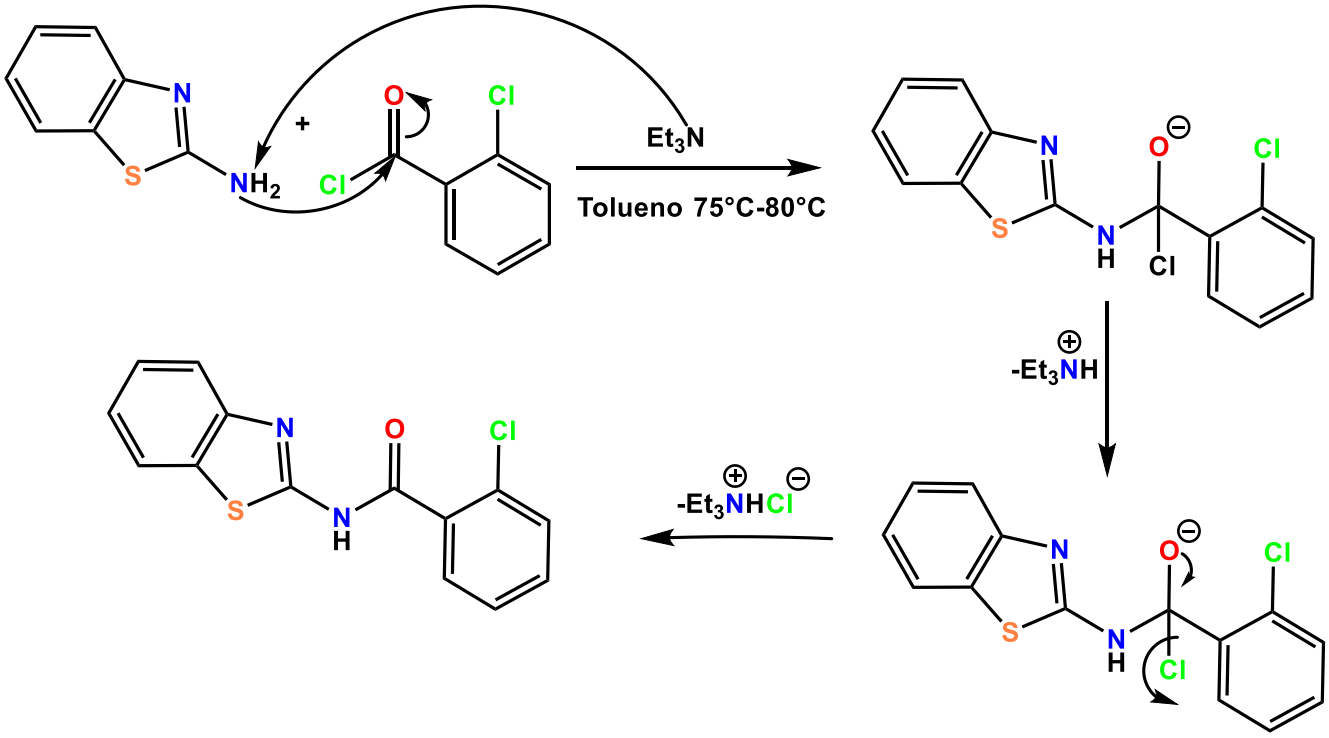


Figura 3. Compuesto *N*-benzotiazol-2-il-2-clorobenzamida coordinado a cobre (BTZ-02).

Resultados y discusión

Síntesis de *N*-benzotiazol-2-il-2-clorobenzamida (BTZ-01)

En el presente trabajo se planteó la síntesis y caracterización de un derivado de 2-aminobenzotiazol mediante reacción de acilación con cloruro de ácido (Esquema 1). La síntesis se realizó en tolueno a reflujo en presencia de Et_3N como base de Lewis. Posteriormente se coordinó con $CuCl_2$ y fueron caracterizados ambos productos.



Esquema 1. Obtención del compuesto BTZ-01 por medio de acilación al 2-aminobenzotiazol.

 ISSN: 2007 8102

Identificación del compuesto BTZ-01 por espectroscopia.

Interpretación de IR para BTZ-01

El compuesto *N*-benzotiazol-2-il-2-clorobenzamida fue caracterizado por espectroscopia infrarroja (Figura 4) y se identificaron las siguientes bandas del compuesto; a 3170.79 cm^{-1} podemos identificar la banda de estiramiento de N-H, a 2923.69 cm^{-1} se observa la banda de tensión de C-H aromáticos, a 1670 cm^{-1} una banda de tensión del C=O, a 1591.20 cm^{-1} la banda del enlace C=N del anillo del benzotiazol, a 1543.35 cm^{-1} la banda de flexión en el plano de N-H amida, también encontramos a 1443.75 cm^{-1}, 1432.84 cm^{-1}, 1315.28 cm^{-1} las bandas de vibraciones de esqueleto anular del heterociclo, a 1162.10 cm^{-1} la banda de estiramiento de C-N, a 1127.58 cm^{-1} el enlace C-Cl que se encuentra en el anillo bencénico, ubicando así la posición orto del cloro a 1052.92 cm^{-1}, en 757.85 cm^{-1} la posición *orto* disustituido y finalmente podemos observar a 730.48 cm^{-1} la banda de flexión fuera del plano de C-H heterocíclico.

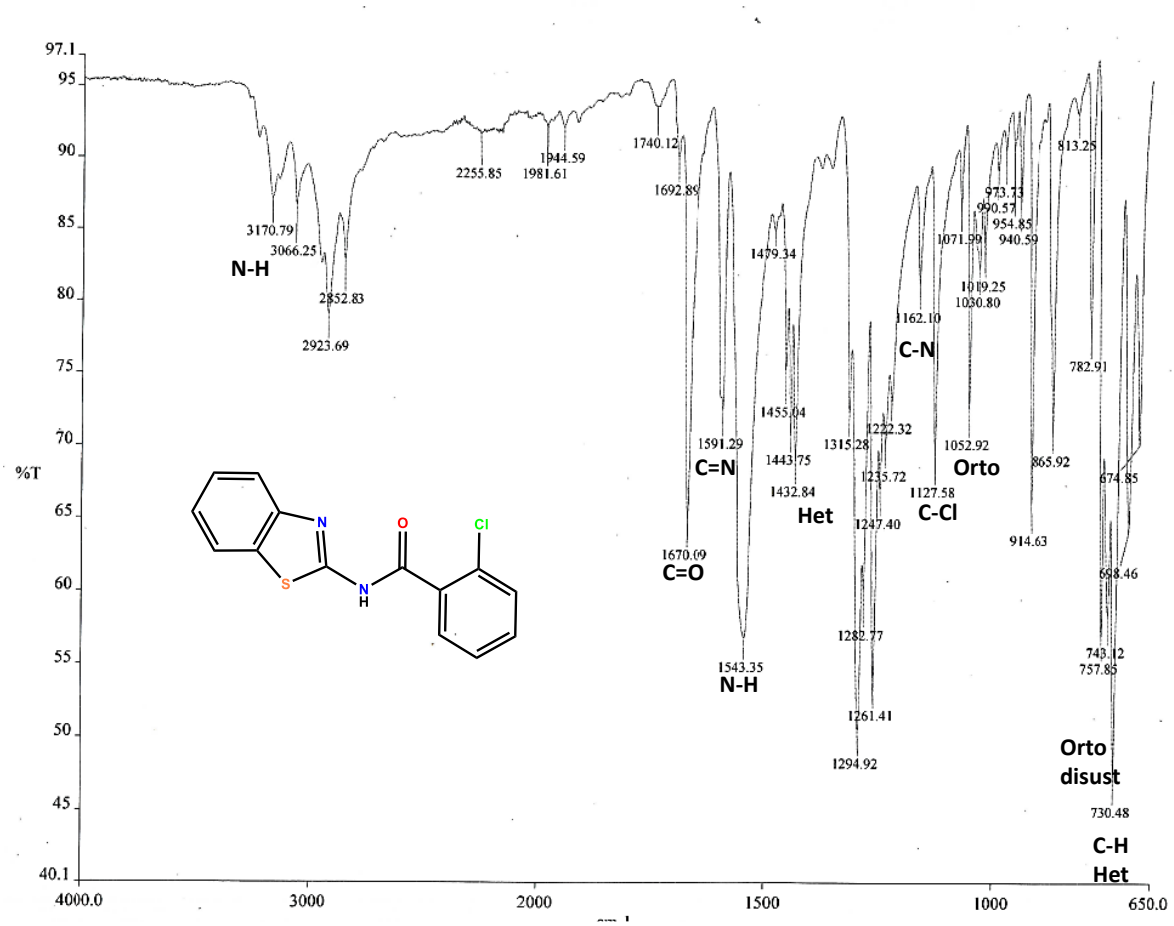


Figura 4. Espectro de IR del *N*-benzotiazol-2-il-2-clorobenzamida.

Interpretación RMN ^{1}H para BTZ-01

Para el ligante **BTZ-01** en el espectro de ^{1}H en RMN (Figura 5) se obtuvieron las señales correspondientes a 9 protones de nuestra estructura deseada, donde observamos a 8 protones en un rango de 7.32-8.05 ppm característicos de los anillos aromáticos con hibridación sp2, con un multiplete en 7.32-7.37 ppm correspondiente al protón 13 por su acoplamiento con los protones 12 y 14, a 7.44-7.51 ppm se observa un multiplete correspondiente al protón 12 y 14, en el rango de 7.56-7.62 ppm podemos observar un multiplete correspondientes a los protones 5 y 6, a 7.68-7.71 ppm se observa un doblete correspondiente al protón 15 por su acoplamiento con el protón 14, a 7.77-7.80 ppm observamos un doblete correspondiente al protón 4, a 8.02-8.05 ppm observamos un doblete correspondiente al protón 7 y finalmente un singulete a 12.95 ppm correspondiente al protón 8 de la amida.

 ISSN: 2007 8102

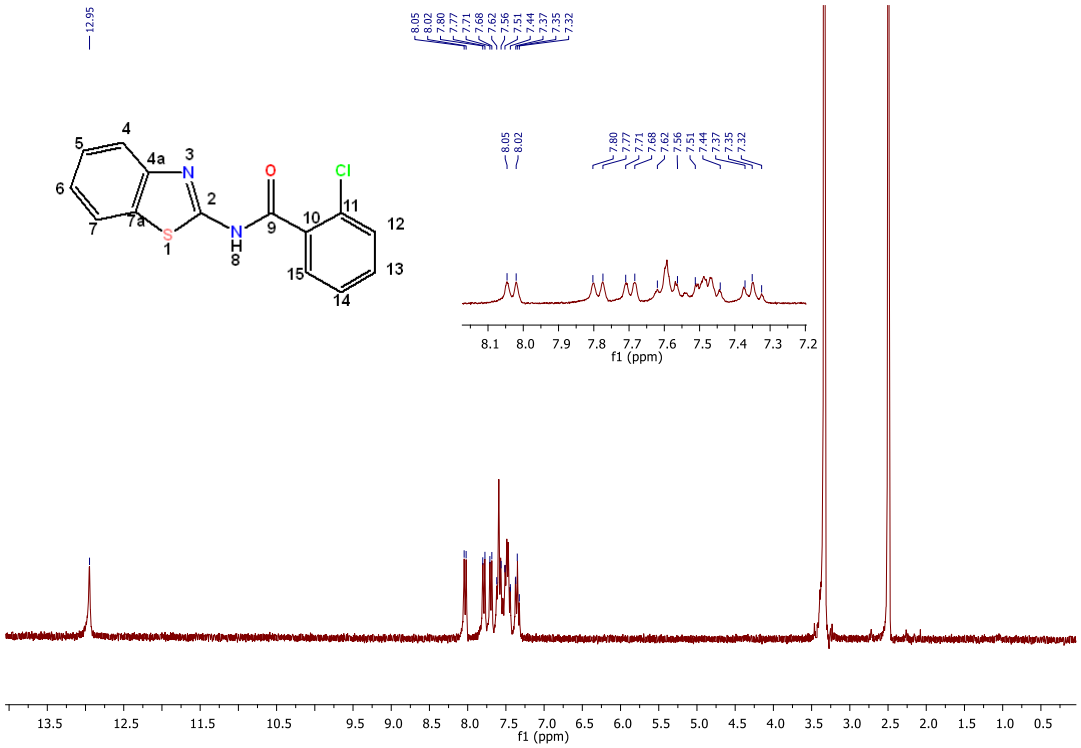


Figura 5. Espectro de RMN ^{1}H de *N*-benzotiazol-2-il-2-clorobenzamida en DMSO-*d6*

Interpretación RMN ^{13}C para BTZ-01.

Para el compuesto **BTZ-01** en el experimento de APT se muestran 14 señales (Figura 6), correspondientes a los carbonos presentes en el compuesto deseado, y además nos permitió identificar los diferentes tipos de carbonos presentes en el ligante.

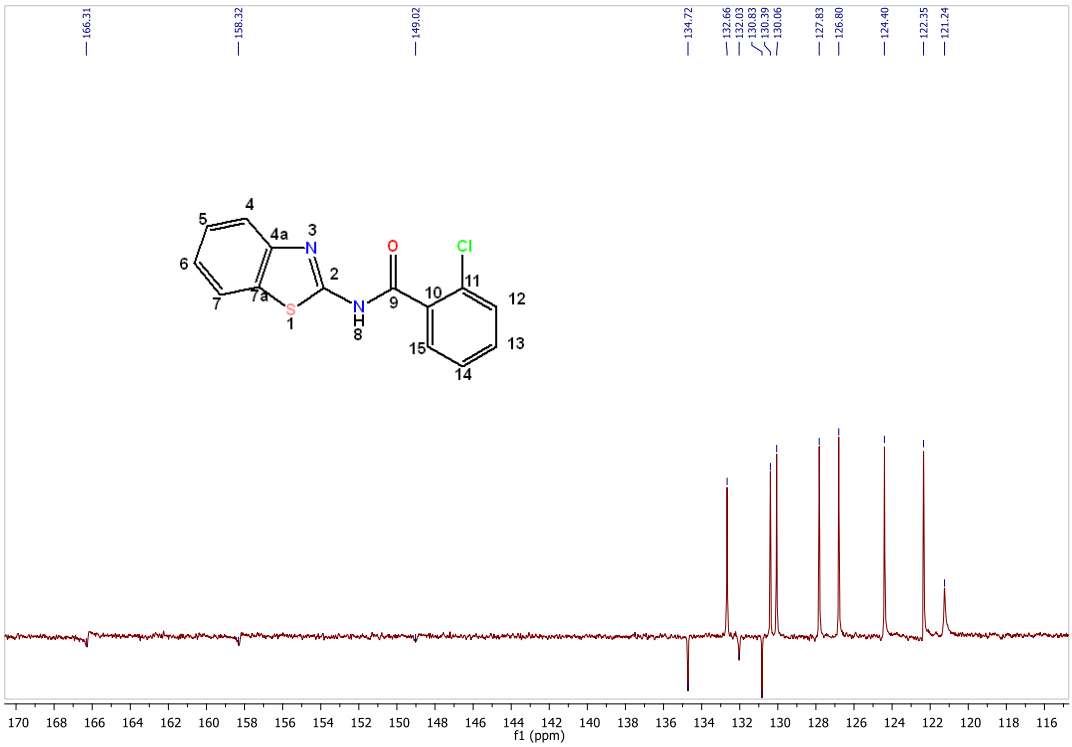


Figura 6. Espectro de APT del RMN de *N*-benzotiazol-2-il-2-clorobenzamida en DMSO-*d6*

 ISSN: 2007 8102

De esta manera podemos identificar a frecuencias más bajas, el C13 a 121.24 ppm, C14 a 122.35 ppm, C12 a 124.40 ppm, C6 a 126.80 ppm, C5 a 127.83 ppm, C15 a 130.06 ppm, C4 a 130.39, C10 A 130.83, C11 132.03 ppm, C7 a 132.66 ppm. En cambio, a frecuencias más altas tenemos las siguientes señales: a 134.72 ppm para C4a, 149.02 ppm para C7a, un carbono a 158.32 para C2 y a 166.31 ppm para C9. Una de las características de nuestro espectro que nos confirma la formación de nuestro compuesto es ver las frecuencias de C10, C11, C4a, C7, C7a, C2 y C9, ya que debemos de tener en cuenta que si el núcleo está rodeado por una elevada densidad de electrones se protege del campo magnético externo lo que hace que se desplacen las señales hacia frecuencias altas.

Interpretación de UV-Vis para el compuesto BTZ-01

El espectro de UV-Vis para el compuesto **BTZ-01** (Figura 7) se obtuvo en solución metanólica en una concentración de $1x10^{-4}$ M medido en una celda de cuarzo de 1 cm. Se observaron dos picos de absorción, ambos picos indican un estado de transición de $\pi \rightarrow \pi^*$ un primer pico máximo a 209 nm y un segundo pico a 281 nm, de acuerdo a nuestra estructura deseada consideramos nuestro cromóforo al C=N del anillo del benzotiazol, así podemos considerar los picos obtenidos a dos desplazamientos característicos, el primer pico presenta un desplazamiento hipsocrómico por la longitud de onda baja a 209 nm, para el segundo pico podemos observar un desplazamiento batocrómico ya que es desplazado a mayor longitud de onda (291 nm).

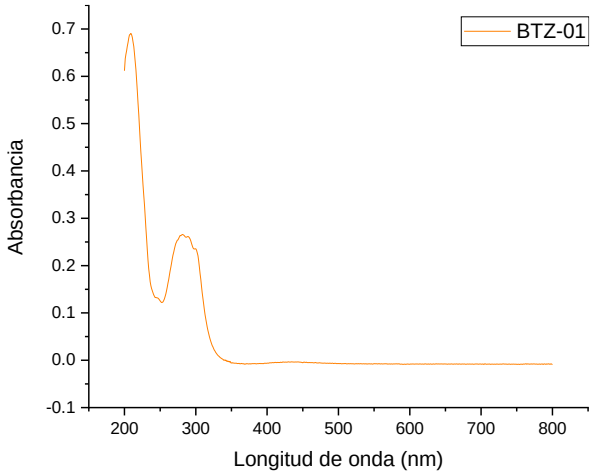


Figura 7. Espectro UV-Vis de *N*-benzotiazol-2-il-2-clorobenzamida en metanol**.**

Identificación del compuesto BTZ-02

El complejo de coordinación se identificó por técnicas analíticas encontrando cambios significativos en el punto de fusión, y en la solubilidad en comparación con nuestro ligante. **BTZ-01** tienen un PF de 170-175 °C mientras el complejo de coordinación **BTZ-02** presento un PF de 160-165 °C. Es decir, hay modificación del punto de fusión indicando así un cambio característico de la coordinación con cobre. El ligante se obtuvo como un sólido cristalino opaco y soluble en AcOEt, Hexano, MeOH, $CHCl_3$, DMSO, sin embargo, el complejo de coordinación se obtuvo como polvo verde opaco soluble en AcOEt, Hexano, MeOH.

Interpretación de IR del *N*-benzotiazol-2-il-2-clorobenzamida coordinado a cobre.

El compuesto **BTZ-02** fue caracterizado por espectroscopia infrarroja (Figura 8), para identificar cambios en sus vibraciones de los enlaces debido al nuevo enlace covalente coordinado. Se identificaron las siguientes bandas del compuesto; a 3168.12 cm^{-1} la banda de estiramiento N-H, a 1675.98 cm^{-1} banda de C=O, a 1599.50 cm^{-1} banda de enlace C=N de nuestro benzotiazol, a 1535.20 cm^{-1} la banda de flexión en el plano de NH amida, a 1123.91 cm^{-1} para el enlace C-Cl, a 1052.45 cm^{-1} la posición orto del Cl, a 757.31 cm^{-1} posición orto disustituido, a 745.27 cm^{-1} banda de flexión fuera del plano de C-H heterocíclico. Cabe destacar que la banda del enlace C=N mostró un ligero desplazamiento de 1535.20 a 1543.35 cm^{-1} indicando la existencia del nuevo enlace C=N-Cu, por otra parte, la banda de C=O se movió de 1670.09 cm^{-1} a 1675.98 cm^{-1} para el nuevo enlace C=O-Cu [5].

 ISSN: 2007 8102

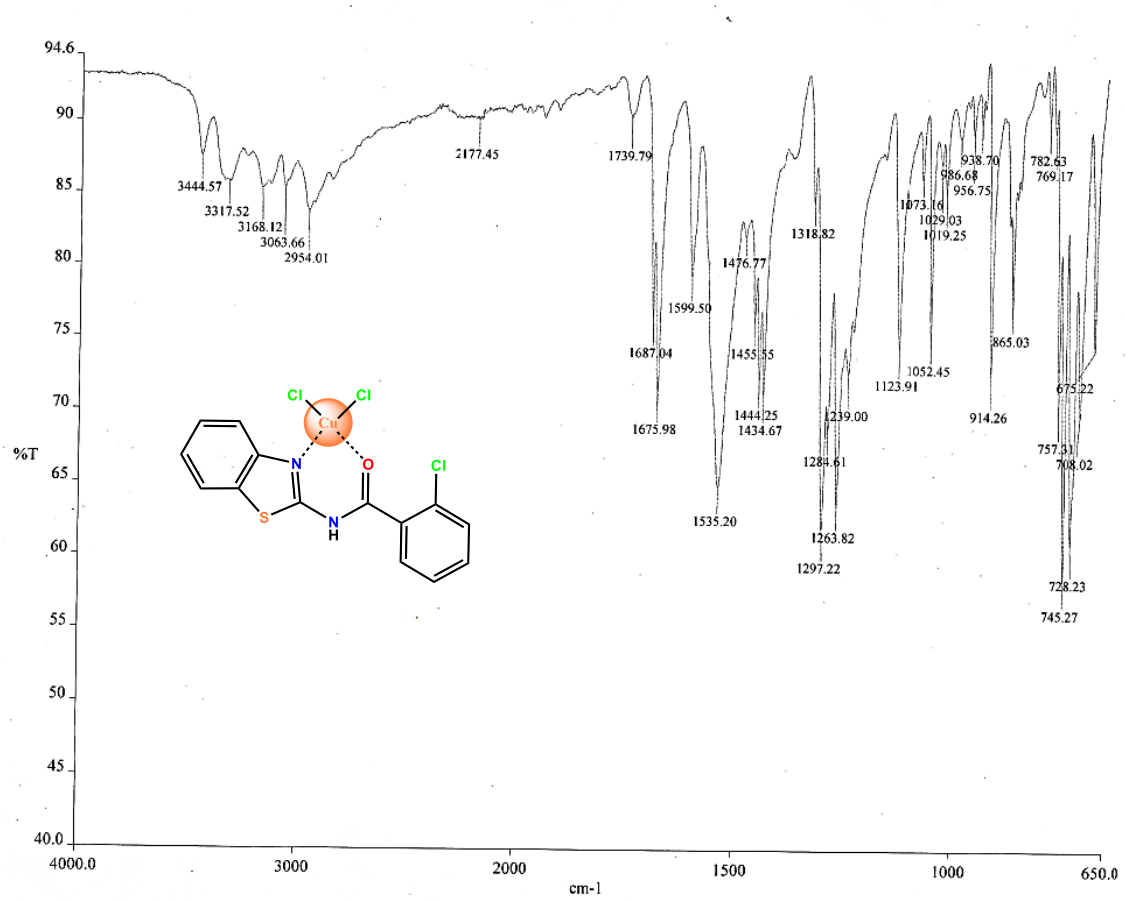


Figura 8. Espectro IR del *N*-benzotiazol-2-il-2-clorobenzamida con cobre (II)

Interpretación de UV-Vis para el compuesto BTZ-02.

El espectro de UV-Vis para el compuesto **BTZ-02** (Figura 9) se obtuvo en solución metanólica en una concentración de $1x10^{-4}$ M medido en una celda de cuarzo de 1 cm. Se observaron dos picos de absorción, ambos picos indican un estado de transición de $\pi \rightarrow \pi^*$, el primer pico a 214 nm y un segundo pico a 291 nm. De esta manera considerando al enlace C=N de nuestro benzotiazol podemos observar dos picos característicos dándonos así en el primer pico un desplazamiento de tipo hipsocrómico con una longitud de onda a 214 nm, en el segundo pico podemos observar un desplazamiento de tipo batocrómico a 291 nm con efecto hipocrómico ya que se disminuye la intensidad de absorción con respecto al ligante utilizado.

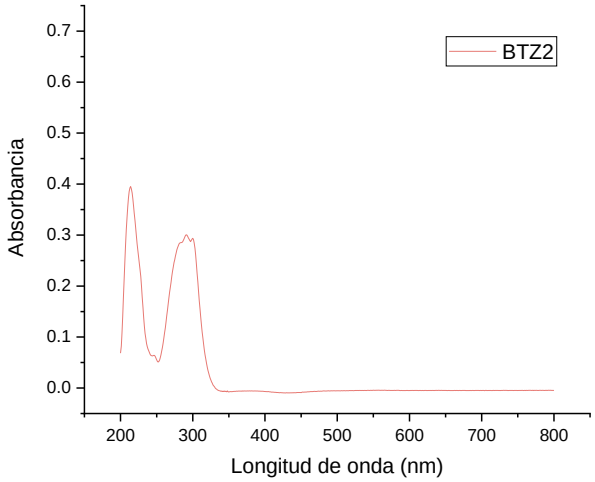


Figura 9. Espectro UV-Vis de *N*-benzotiazol-2-il-2-clorobenzamida con cobre (II) en metanol.

Trabajo a futuro

El benzotiazol se encuentra en una amplia variedad de moléculas bioactivas y productos naturales y se le han atribuido diversas actividades biológicas, considerando a este anillo de gran importancia farmacéutica. Por lo cual sintetizar nuevos derivados nos permite caracterizarlos y posteriormente tener nuevas aplicaciones dentro de la química médica. Considerando esta información el trabajo futuro consiste en continuar con el estudio de complejos de coordinación para demostrar su actividad biológica y estudiar el amplio espectro de posibilidades que presentan los derivados de benzotiazol.

Conclusiones

En el presente trabajo se realizó la síntesis de un nuevo derivado de benzotiazol, partiendo del 2-aminobenzotiazol y cloruro de ácido mediante una reacción de acilación, posterior a ello se realizó un enlace covalente coordinado con $CuCl_2$. La elucidación del ligante mediante espectroscopía infrarrojo y Resonancia magnética nuclear de ^{1}H y ^{13}C, permitió identificar el ligante *N*-benzotiazol-2-il-2-clorobenzamida.
El espectro de IR del compuesto coordinado (**BTZ-02**) así como el espectro de UV-Vis, nos permitió identificar el complejo de coordinación con cobre (II).
Las caracterizaciones analíticas nos indicaron cambios significativos en las propiedades físicas de **BTZ-01** con respecto al complejo de coordinación **BTZ-02** indicando características propias de la coordinación con cobre.
Con este trabajo se demostró que un benzotiazol con amida en la posición dos del anillo es un buen ligante para la formación de complejos de coordinación dando como resultado cambios en sus propiedades físicas, químicas y por lo tanto se espera una mejoría en su actividad biológica como antibacteriano o incluso como anticancerígeno.

Referencias

[1] R. Bhandare, C. Munikrishnappa, G. Kumar, S. Konidala, D. Sigalapalli, Y. Vaishnav, S. Chinnam, H. Yasin, A. Al-karmalawy y A. Shaik, «Multistep synthesis and screening of heterocyclic tetrads containing furan, pyrazoline, thiazole and triazole (or oxadiazole) as antimicrobial and anticancer agents,» Journal of Saudi Chemical Society, vol. 26, nº 3, pp. 101447, 2022.

[2] N. Pathak, E. Rathi, N. Kumar, S. Kini y C. Rao, «A Review on Anticancer Potentials of Benzothiazole Derivatives,» Mini Reviews in Medicinal Chemistry, vol. 20, nº 1, pp. 12-23, 2020.

[3] N. Mahmoud, N. Omar, G. Mohamed y F. Sayed , «Synthesis, structural characterization and in vitro antibacterial activity studies of ternary metal complexes of anti-inflammatory bromhexine drug,» Inorganic Chemistry Communications, vol. 147, pp. 110216, 2023.

[4] R. Colorado-Peralta, J. Olivares-Romero, S. Rosete-Luna, O. García-Barradas, V. Reyes-Márquez, D. Hernández-Romero y D. Morales-Morales, «Copper-coordinated thiazoles and benzothiazoles: A perfect al-liance in the search for compounds with antibacterial and anti-fungal activity,» Inorganics, vol. 11, nº 5, pp. 185, 2023.

[5] S. Jawoor, S. Patil y S. Toragalmath, «Synthesis and characterization of heteroleptic Schiff base transition metal complexes: a study of anticancer, antimicrobial, DNA cleavage and anti-TB activity,» Journal of Coordination Chemistry, vol. 71, nº 2, pp. 271-283, 2018.

 ISSN: 2007 8102

Efecto de la agitación en la producción de bioetanol a partir de residuos cerveceros artesanales

J. Estrada-Garcia[1], R. Bretón-Escobar[2], N. Gutiérrez-Casiano[2], J. M. Méndez-Contreras[1], E. Hernández-Aguilar[2]*
[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba, Oriente 9 852, Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, México,
*[2]Universidad Veracruzana Facultad de Ciencias Químicas, Prol. Avenida Oriente 6 1009, Rafael Alvarado C.P. 94340, Orizaba, México * eduhernandez@uv.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

Se evaluó la producción de bioetanol a partir de granos gastados de cervecería y levadura residual (0.5, 0.8 y 1.0 % v/v), durante 72 h a 20 ± 0.5 °C y pH 6, con agitación constante (300 rpm). Se muestreó cada 4 horas para determinar el consumo de azúcares reductores (AR) y el crecimiento celular de la especie *Saccharomyces cerevisiae*. Además, se caracterizó reológicamente el residuo crudo y antes y después de la fermentación. Se encontró que la concentración de 1.0 % v/v de levadura residual incrementa el consumo de AR con poco más del 80 %, a su vez se logró obtener bioetanol al 7.71 % mismo que presentó un comportamiento dilatante (n = 1.765-1.767) con una viscosidad de 1.88 mPa e índice de refracción de 1.3362 ± 0.0004, características propias de muestras de bioetanol. Concluyendo que la agitación favorece el proceso de fermentación y la obtención de bioetanol.

***Palabras clave**: Granos gastados de cervecería, Levadura residual, Bioetanol, Reología*

Abstract

Bioethanol production from brewer's spent grains and residual yeast (0.5, 0.8 and 1.0% v/v) was evaluated for 72 h at 20 ± 0.5 °C and pH 6 with constant stirring (300 rpm). Samples were taken every 4 hours to determine the consumption of reducing sugars (RS) and cell growth of the species Saccharomyces cerevisiae. In addition, the crude residue was characterized rheologically and before and after fermentation. It was found that the concentration of 1.0% v/v of residual yeast increases the consumption of RS by little more than 80%; in turn, it was possible to obtain bioethanol at 7.71%, which presented a dilatant behavior (n = 1,765-1,767) with a viscosity of 1.88 mPa and a refractive index of 1.3362 ± 0.0004, typical characteristics of bioethanol samples. In conclusion, agitation favors the fermentation process and the production of bioethanol.

***Key words**: Brewers' spent grains, Residual yeast, Bioethanol, Rheology*

Introducción

Actualmente existe la necesidad de reducir los gases de efecto invernadero que son los principales causantes del cambio climático, para hacerle frente a este problema se busca la independencia de los combustibles fósiles y la revalorización de subproductos generados en procesos industriales o ganaderos [1]. Si bien los costos de producción de biocombustibles superan los generados por los combustibles fósiles, existen alternativas avanzados y de bajo coste de producción a base de residuos industriales [2]. México cuenta con una gran variedad de materias adecuadas para la producción de biocombustibles. En el periodo de 2012-2018 la producción de biocombustibles aumentó el 276.9%, este aumento interno solo aporta el 0.1% de la producción mundial de biocombustibles [3].

Para la producción de bioetanol es muy común utilizar la levadura *Saccharomyces cerevisiae* esto se debe a su gran capacidad para producir etanol y de tolerar un pH bajo en comparación con otras levaduras. Además, tiene la ventaja de tolerar compuestos tóxicos que suelen estar presentes en los hidrolizados de biomasas lignocelulósicas [4]. Esta levadura es utilizada para la producción de cerveza, la cual puede ser utilizada hasta en siete ocasiones y posteriormente se vuelve en uno de los subproductos que esta industria genera. La producción de cerveza es muy importante para México ubicándose entre las 19 principales actividades económicas del país

 ISSN: 2007 8102

[5]. Hay que recalcar que en México se producen 425,579 toneladas de bagazo cervecero (principal residuo generado). A nivel mundial se estima que por cada hectolitro se producen entre 15 y 18 kg de bagazo cervecero [6].

Los BSG consisten en capas de piel, pericarpio y semillas con cantidades residuales de endosperma y cebada usada como material crudo. Los BGS tienen 80 % humedad y material lignocelulósico [7]. Es caracterizado por contener grandes cantidades de fibra con más del 70 %, incluido celulosa, hemicelulosa y lignina, y un contenido en proteínas de 25-30% [8]. La levadura residual o brewers' spent yeast (BSY) es uno de los subproductos generados en la producción de la cerveza, si bien, esta puede ser reutilizada hasta por siete veces, siempre y cuando se mantenga bien conservada, el reutilizarlas tantas veces dependerá de la política de calidad de cada empresa ya que puede impactar directamente en las características sensoriales [9]. Las BSY se generan durante la fermentación y pueden concentrarse en el fondo o parte superior del fermentador, esto según el tipo de fermentación requerida. Se pueden generar entre 1.7 a 2.3 g/L, sin embargo, es uno de los residuos menos utilizados debido a su alta complejidad y particularidades, de modo que no existen procesos disponibles para utilizarlos [10].

El objetivo de esta investigación es conocer el efecto de añadir levadura residual (generada en la fermentación de cerveza artesanal) en la producción de bioetanol con bagazo cervecero pretratado con ultrasonido (HAUS). Se analizarán las propiedades reológicas del bagazo cervecero para la producción de azúcares fermentables, así como también del sustrato durante la fermentación para poder observar los cambios físicos que ocurren durante todo el proceso. Al utilizar ambos residuos de la industria cervecera se pretende reducir el impacto ambiental que ocasionan, así como revalorizar económicamente al producto final y contribuir a la generación de energías verdes.

Metodología

Muestreo, caracterización y pretratamiento del residuo cervecero artesanal

El residuo consistió en granos gastados de cervecería o BSG por sus siglas en inglés, obtenido de Altas Cervezas Brewing Co., de Orizaba, Veracruz. Una vez recolectados se mantuvieron en refrigeración hasta su uso (4 °C); el residuo fue secado durante 24 h a 105 °C, posteriormente triturado y tamizado en malla no. 50. Una vez tamizado el residuo se realizó una dilución con agua destilada a una concentración de entre 3 a 5 % sólidos totales (ST). Una vez realizada la dilución se caracterizó el sustrato obtenido de acuerdo con los parámetros y métodos fisicoquímicos mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos del residuo cervecero artesanal (BSG).

Parámetro	Método	Referencia
Sólidos totales (% m/v)	Método estándar 2540G de la APHA-AWWA-WPFC (2017)	[11]
Sólidos totales volátiles (% m/v)	Método estándar 2540G de la APHA-AWWA-WPFC (2017)	
Carbohidratos (g/L)	Antrona-sulfúrico	[12]
Azúcares reductores (g/L)	Método DNS	
Cenizas (%) *	Gravimétrico	[13]
Humedad (%)	Gravimétrico	[13]
pH (-)	Potenciométrico	[14]

* peso seco

Por otro lado, se caracterizó reológicamente para determinar los parámetros reológicos del residuo en dilución, así como antes y después del proceso fermentativo que se describirá más adelante. Para realizar la caracterización se utilizó un viscosímetro Brookfield DV2T con chaqueta de control de temperatura, se utilizó la aguja UL, a 25 °C de 0 a 517 s^{-1} o 1-200 rpm, estos datos se ajustaron al modelo Herschel-Bulkley (Ecuación 1).

$$\tau = \tau_o + (k \cdot \dot{\gamma}^n) \quad (1)$$

Donde τ_o= esfuerzo de corte (Pa), k= índice de consistencia, n= índice de flujo, $\dot{\gamma}$= velocidad de corte (s^{-1}).

Posterior a la caracterización se realizó un pretratamiento del sustrato para incrementar la disponibilidad de azúcares reductores (AR), el cual consistió en la hidrólisis asistida por ultrasonido (HAUS) que se muestra en la

 ISSN: 2007 8102

Figura 1, primero se aplicó el ultrasonido con una sonda Q500 Qsonica, durante 10 minutos; posteriormente, se realizó la etapa de hidrólisis durante 8 h a temperatura constante de 55 °C, pH de 5.5 con la enzima Celuzyme ® producida por una cepa de *Trichoderma reesei* por ENMEX S.A. de C.V., de esta se agregó a una concentración de 0.3 % p/v dado que fueron las condiciones recomendables descritas por Estrada-García *et al*., [15]. Los resultados obtenidos se analizaron con el software Minitab 2018 con un 95 % de confianza. Para este caso se verificaron los resultados al término de la hidrólisis para determinar la concentración de AR con el método DNS [12].

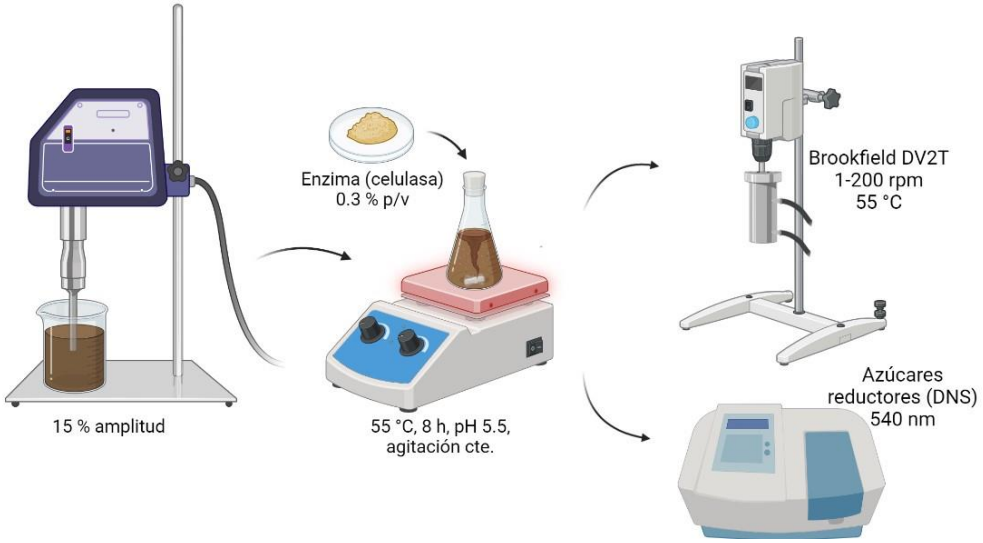


Figura 1. Procedimiento del pretratamiento al BSG, hidrólisis asistida por ultrasonido (HAUS).

Fermentación aerobia de BSG con levadura residual

Para este paso se aplicó un diseño unifactorial realizando variaciones en la dosis de levadura residual de 0.5, 0.8 y 1.0 % v/v y realizando pruebas con o sin agitación, el proceso de fermentación se realizó en matraces Erlenmeyer de 500 ml con un volumen de 400 ml, posterior al pretratamiento HAUS se enfrió la muestra para ajustar el pH a 6, una vez que se redujo la temperatura a 20 °C se agregó la concentración de levadura residual deseada. A los matraces se le colocaron tapones de huele con tres perforaciones para introducir un termómetro, y dos mangueras que correspondían a la toma de muestra y salida de CO_2 (Figura 2). De igual forma se caracterizó reológicamente el fermentado al final el proceso.

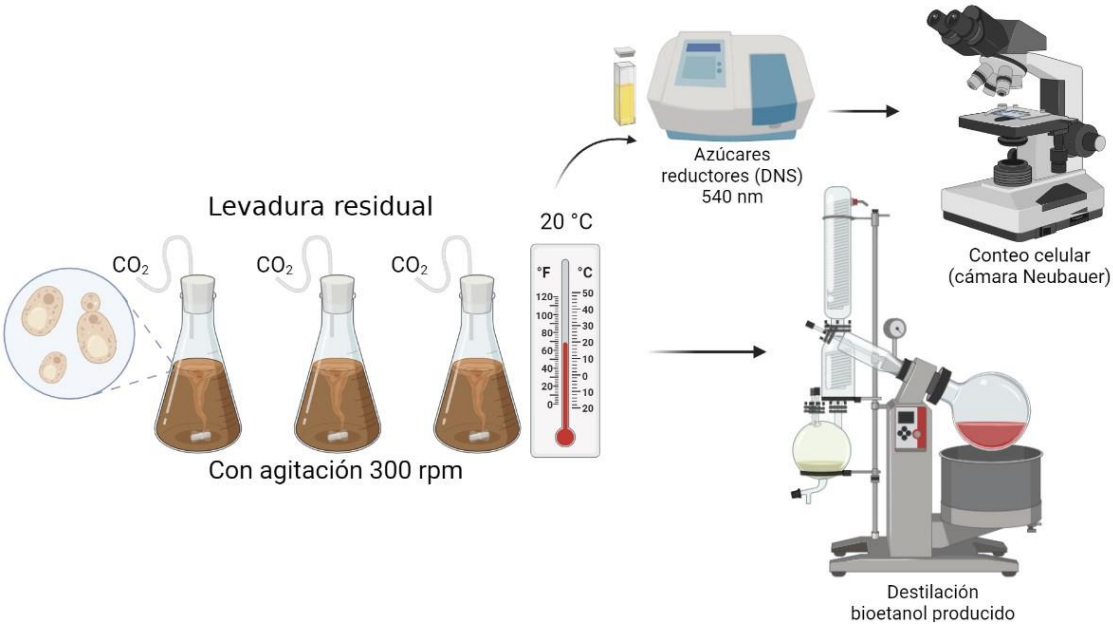


Figura 2. Metodología propuesta en el proceso de fermentación aerobia de BSG con levadura residual a diferentes concentraciones 0.5, 0.8, 1.0 % v/v.

 ISSN: 2007 8102

Las pruebas de fermentación se llevaron a cabo en una placa de calentamiento y agitación (300 rpm) para mantener la homogenización del sustrato durante el proceso. Para mantener la temperatura se utilizó el recirculador con un baño templado Brookfield. Las pruebas se realizaron durante 72 horas y tomaron muestras cada 4 h hasta el término del proceso, las muestras recolectadas se analizaron para determinar el consumo de AR por el método DNS y crecimiento celular de la levadura.

Al término del proceso se caracterizaron reológicamente las muestras fermentadas tal y como se describió anteriormente, las lecturas se tomaron a 20 °C. Además, se utilizó un rotavapor R-100 BUCHI el cual cuenta con tina de baño maría B-100, un recirculador Chiller F-105 con monitor para controlar la temperatura y una bomba de vacío V-100 con interfaz I-100 para controlar y monitorear la presión ejercida, para recuperar el bioetanol producido. Se ajustó la temperatura del rotavapor a 40 °C se procedió a dar marcha a la bomba de vació y hasta que se estabilizó a la presión de 175 mbar se ajustó la velocidad de rotación del matraz de ebullición girando la perilla.

El bioetanol recuperado se caracterizó físicamente para determinar sus propiedades físicas y asegurar que el líquido destilado es bioetanol. La caracterización consistió en hacer lecturas reológicas tal y como se describió previamente y por medio de un refractómetro ABBE haciendo una curva de calibración ($y = 0.0493x + 1.3327, R^2 = 0.9966$).

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica del residuo cervecero artesanal

En la Tabla 2 se muestra la caracterización fisicoquímica del BSG, respecto a los ST y STV se obtuvieron 3.85 ± 0.26% m/v y 3.73 ± 0.18% m/v (96.51 ± 0.21%) respectivamente, estos últimos se relacionan con la materia orgánica disponible como sustrato para el crecimiento de microorganismos. Bajo esas concentraciones de ST y STV, se tiene 11.52 ± 3.27 g carbohidratos/L que se espera que se incremente con el pretratamiento, con relación a esto se obtuvo una concentración de azúcares reductores o fermentables de 4.26 ± 0.35 g/L, de los parámetros anteriores no se tiene registro en la literatura.

Se sabe que altas concentraciones de humedad lo hacen susceptible al deterioro microbiano en un corto periodo de tiempo [16], que en este caso se obtuvo un valor de 96.2038 ± 0.2699 %, aunque se han reportado valores de 77.32% y 80.01% [17]. El contenido de cenizas de este caso (0.0880 ± 0.0060 %) es adecuado dado que concentraciones altas puede ocasionar problemas de combustión o ignición [18]; se han reportado valores superiores considerando que son en porcentaje base seca como 3.26 ± 0.06 %, 3.50-5.03 % [19, 18]. Finalmente, el pH tiende a ser ácido con 4.90 ± 0.04, este se ajustó para el pretratamiento siguiente con NaOH al 10%.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos del residuo cervecero artesanal (BSG).

Parámetro	Valor
Sólidos totales (% m/v)	3.85 ± 0.26
Sólidos totales volátiles (% m/v)	3.73 ± 0.18
Carbohidratos (g/L)	11.52 ± 0.53
Azúcares reductores (g/L)	4.26 ± 0.35
Cenizas (%) *	5.50 ± 0.05
Humedad (%)	94.31 ± 0.09
pH (-)	4.90 ± 0.04

Cinéticas de crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* en BSG

Posterior al pretratamiento HAUS se incrementó la concentración de AR de 4.26 ± 0.35 g/L a 14.32 ± 1.52 g/L con lo cual la disponibilidad de AR favoreció la fermentación alcohólica. En la prueba realizada con 0.5% de levadura se registró un consumo de AR del 73.37 % aproximadamente y un máximo de 2.29 x 10^8 cel/mL lo cual se muestra en la Figura 3A. En el caso de la concentración intermedia de levadura (0.8 %) se alcanzó un consumo de 53.30% AR siendo el menor consumo registrado, aunque la densidad celular es mayor que la concentración más baja (0.5 % v/v) con 3.14 x 10^8 cel/mL. Finalmente, con la carga mayor de 1.0 % v/v de levadura se alcanzó el mayor porcentaje de consumo de AR con 81.80% y a su vez un incremento de las células con 3.70 x 10^8 cel/mL (Figura 3C). Se tomó de está última prueba una imagen representativa de la levadura vida en el mosto fermentado,

 ISSN: 2007 8102

esta se observa en la Figura 3D, se aprecia su morfología representativa de la especie *Saccharomyces cerevisiae* unicelular y en forma esférica u ovalada.

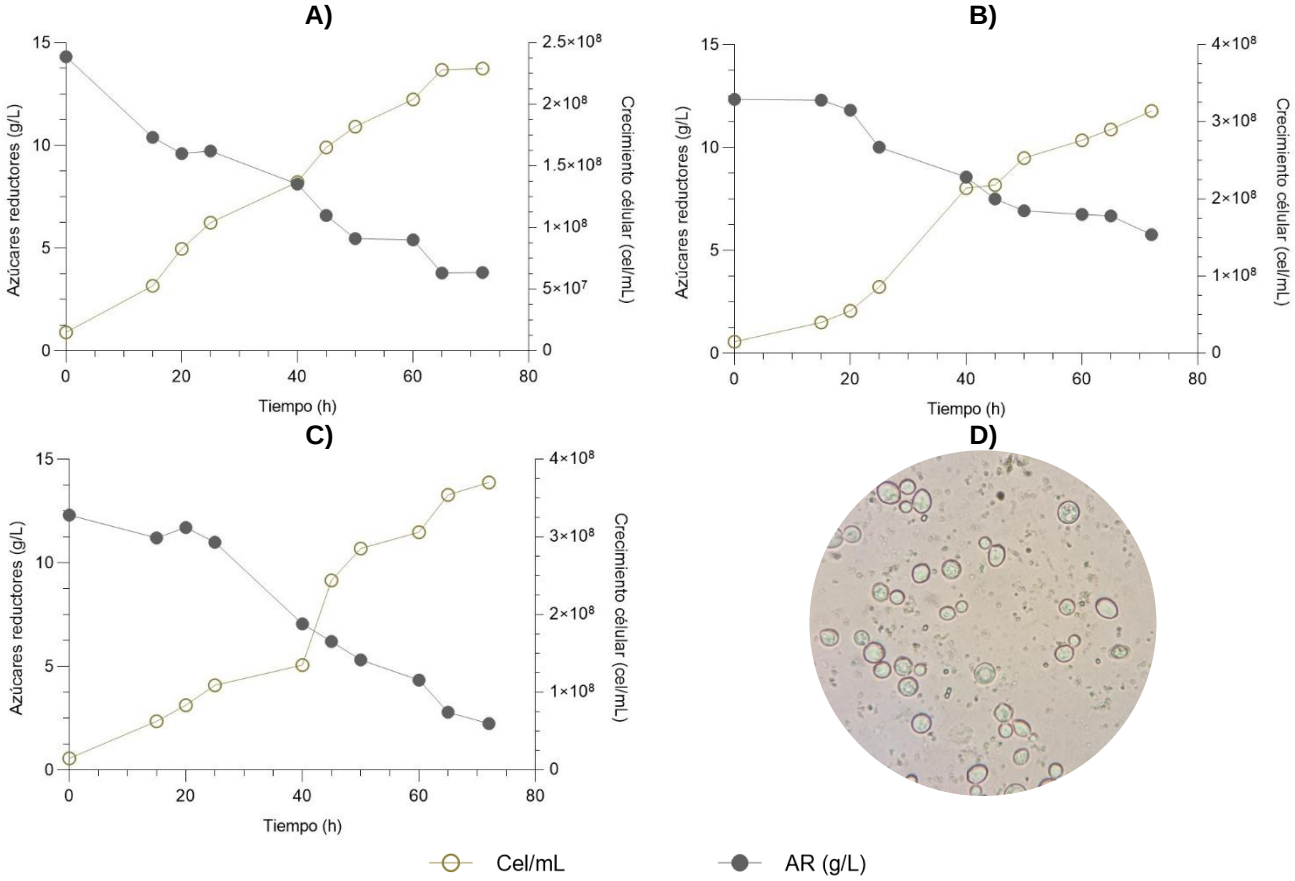


Figura 3. Cinéticas de crecimiento celular de levadura residual en BSG a diferentes concentraciones de inóculo A) 0.5 % v/v, B) 0.8 % v/v, C) 1.0 % v/v y D) *Saccharomyces cerevisiae* en BSG al término del proceso de fermentación vista en objetivo 100x

En la Figura 4 se muestra la comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza de 95%, que los pares de medias 1.0 - 0.5 % de inóculo son significativos en el crecimiento celular de modo que se incrementaría al utilizar estos niveles de inóculo. El modelo correspondiente se ajustó con un 93.02%, además que el factor resultó ser significativo para los datos obtenidos considerando las pruebas realizadas con la levadura residual y con agitación (p = 0.018). Para el caso del consumo de AR (%) se encontró que el factor concentración de inóculo no es significativo para la respuesta (p= 0.161).

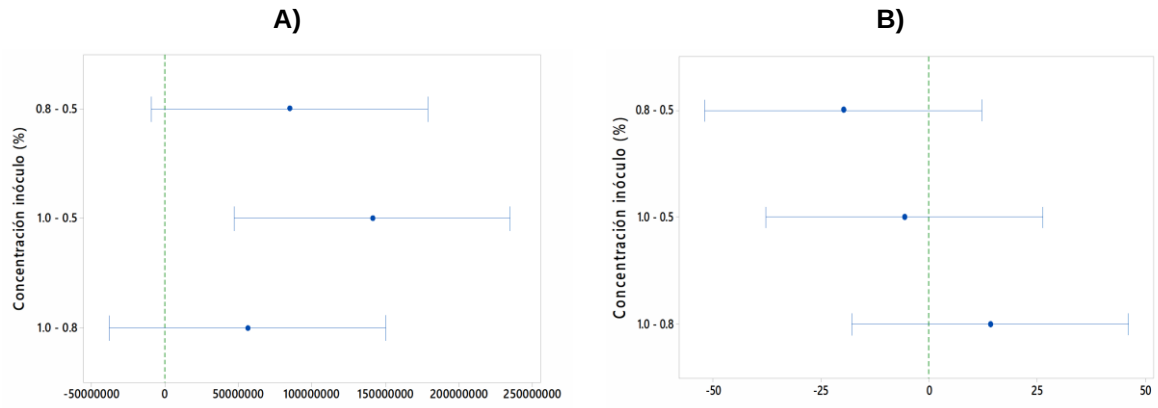


Figura 4. Gráficas de comparación de medias para el porcentaje de inóculo y con agitación A) Concentración celular (cel/mL), B) Consumo de AR (%).

 ISSN: 2007 8102

Parámetros reológicos del proceso fermentativo

Respecto a los parámetros reológicos del proceso de fermentación alcohólica se observó un cambio en la naturaleza del sustrato previo y al término de la fermentación, tal y como se aprecia en la Figura 5. A pesar de observar cambios en el desarrollo celular y consumo de AR, los cambios físicos fueron mínimos respecto al término y fin de la fermentación, sin embargo, si se observa un cambio notorio del residuo inicial o BSG crudo que presentó un índice de flujo (n) de 2.375 que fue calculado con el modelo de Herschel-Bulkley (R^2 = 0.99), siendo un fluido dilatante. Posteriormente el pretratamiento al que fue sometido el residuo adelgazó el fluido, de modo que ahora el índice de flujo disminuyó a 1.78 ± 0.17 (en promedio) y el índice de consistencia aumentó (k = 3.91 x 10^{-5} ± 3.04 x 10^{-5}) el cual está relacionado con la cantidad de sólidos y a la disminución del tamaño de partícula, esto se logró en mayor medida por el ultrasonido. Los valores calculados con el modelo reológico se muestran en la Tabla 3.

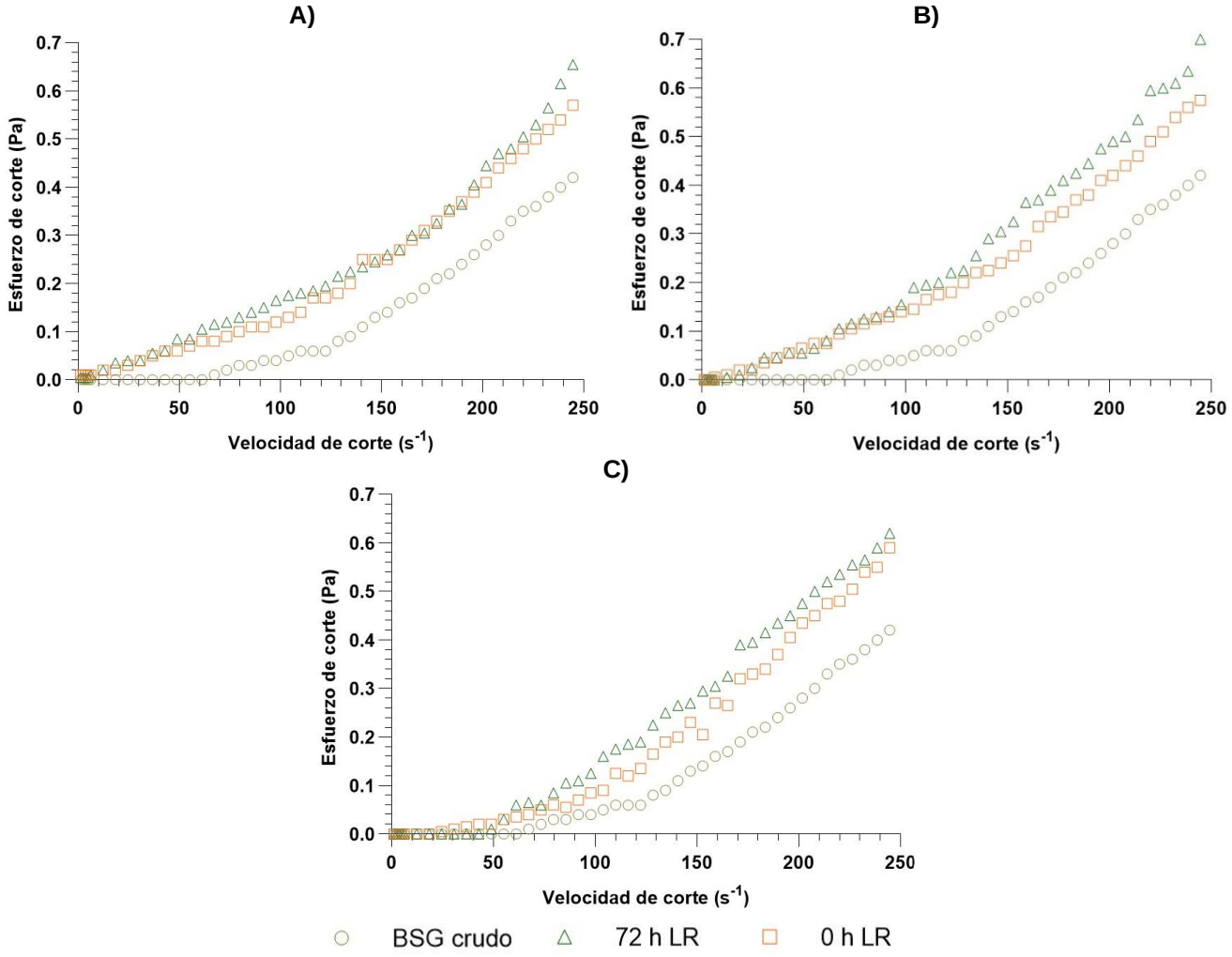


Figura 5. Curvas de flujo obtenidos durante el proceso fermentativo (BSG crudo, inicio y fin de la fermentación) a diferentes concentraciones de levadura residual A) 0.5 % v/v, B) 0.8 % v/v, C) 1.0 % v/v.

Del mismo modo, el proceso fermentativo realizó la degradación de compuestos orgánicos complejos para dar paso a la generación de bioetanol y el crecimiento celular, por lo que parámetros reológicos tuvieron un ligero cambio al término del proceso con n = 1.65 ± 0.13 (en promedio) y k = 8.81 x 10^{-5} ± 4.70 x 10^{-5}, este último incrementó ligeramente, pero es claro indicativo de que existió un incremento de la cantidad de sólidos, representado por la biomasa producida por las mismas levaduras. En todos los casos analizados se observó el mismo comportamiento en las propiedades físicas, lo cual sugiere que el monitoreo reológico de bioprocesos puede relacionarse con el desarrollo de estos, debido a la degradación de compuestos complejos y la generación de nuevos productos [20].

 ISSN: 2007 8102

Tabla 3. Parámetros reológicos obtenidos previo y al término del proceso de fermentación.

Concentración de inóculo (% v/v)	Etapa	Herschel-Bulkley			
		τ_0	k	n	R^2
0.5	Previo	0.018	3.36 x 10^{-5}	1.76	0.99
	Final	0.029	2.75 x 10^{-5}	1.81	0.98
0.8	Previo	0.010	7.20 x 10^{-5}	1.63	0.99
	Final	0.003	1.11 x 10^{-4}	1.57	0.99
1.0	Previo	0.004	1.18 x 10^{-5}	1.97	0.99
	Final	0.015	1.07 x 10^{-4}	1.58	0.99

donde: τ_0 es esfuerzo de corte, k índice de consistencia, n índice de comportamiento de flujo, R^2 coeficiente de correlación.

Caracterización reológica del bioetanol producido

Posterior al proceso fermentativo, las muestras fueron destiladas de acuerdo con lo anteriormente descrito. El mayor índice de refracción para el bioetanol producido con levadura residual y con agitación fue de 1.3362 ± 0.0004 con una concentración aproximada de 7.71 % etanol, y dado que el índice de refracción es directamente proporcional a la concentración de bioetanol, a mayor índice de refracción, será mayor la concentración de bioetanol producido [21]. Los valores son cercanos a los reportados para bioetanol que puede estar desde 1.3329 a 1.3358 en concentraciones de 7.64% y 8.44% respectivamente [22], o para bioetanol obtenido a partir de semillas de *Abrus precatorius* con 1.36 ± 0.27 [23].

La viscosidad del bioetanol producido con la mayor concentración (8.52 %) fue de 1.88 mPa·s medida a 20 °C, el cual es superior a los reportados para etanol puro 1.42 mPa·s [24], 1.20 mPa·s para bioetanol producido de restos de injera [25], 1.0209-1.1169 mPa·s para bioetanol producido a partir de manojos de aceite de palma [26]. En la Figura 6 se muestran las curvas de flujo de esfuerzo de corte de dos muestras obtenidas con 1.0% de levadura residual. De acuerdo con el modelo reológico de Herschel-Bulkley el fluido tiene una naturaleza dilatante con valores de n = 1.765-1.767.

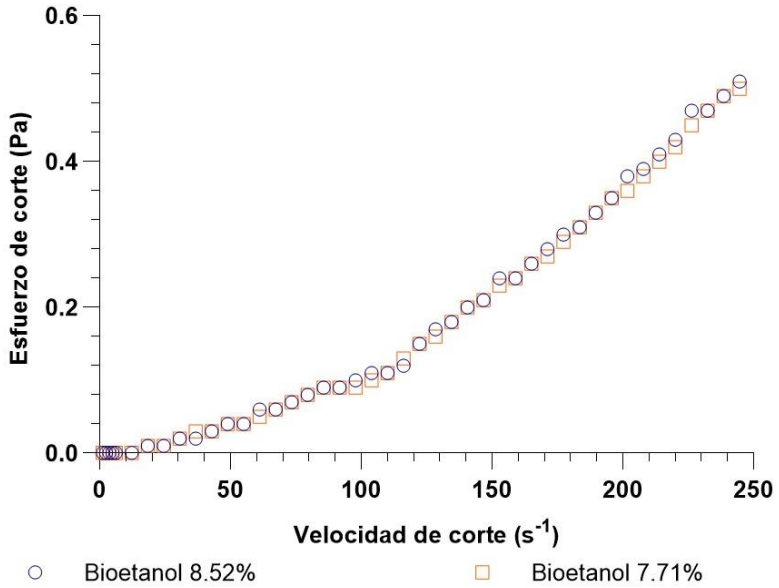


Figura 6. Curvas de flujo de dos muestras representativas con el mayor porcentaje de bioetanol producido con levadura residual (1.0 % v/v) y BSG.

Trabajo a futuro

Se realizarán pruebas con levadura comercial para comparar los resultados obtenidos con los presentados en este trabajo. Además, de realizar pruebas a escala piloto para monitorear las propiedades reológicas durante el proceso de fermentación.

 ISSN: 2007 8102

Conclusiones

Se estudió el proceso de fermentación de BSG utilizando levadura residual para la producción de bioetanol, a partir de la influencia de la agitación mecánica que fue evaluado durante 72 h, aplicando tres concentraciones de levadura residual en donde destaca que con 1.0% v/v se incrementa la concentración celular de la especie *Saccharomyces cerevisiae* (3.70×10^8 cel/mL) y el consumo de azúcares reductores (81.80%). Sin embargo, fue necesario aplicar un pretratamiento que consistió en hidrólisis asistida por ultrasonido, el cual incrementó notoriamente la concentración de AR lo que benefició el proceso fermentativo. Por otro lado, se caracterizó reológicamente el residuo crudo, previo y posterior a la fermentación alcohólica encontrando que el BSG crudo presentó un comportamiento dilatante con un índice de flujo (n) de 2.375 que fue calculado con el modelo de Herschel-Bulkley ($R^2 = 0.99$), posterior al pretratamiento el índice de flujo disminuyó a 1.78 ± 0.17 (en promedio) y el índice de consistencia aumentó ($k = 3.91 \times 10^{-5} \pm 3.04 \times 10^{-5}$) y al término de la fermentación los valores cambiaron a $n = 1.65 \pm 0.13$ (en promedio) y $k = 8.81 \times 10^{-5} \pm 4.70 \times 10^{-5}$. De igual forma se caracterizó el bioetanol destilado para comprobar la producción de este por medio de refractometría y reología, en este caso se determinó un índice de refracción de 1.3362 ± 0.0004 para una concentración aproximada de 7.71 % etanol y una viscosidad de 1.88 mPa y además comprobando que es un fluido dilatante.

Referencias

[1] Y. Liu, P. Cruz-Morales, A. Zargar, M. S. Belcher, B. Pang, E. Englund, and J. D. Keasling, “Biofuels for a sustainable future,” *Cell*, vol. 184, no. 6, pp. 1636-1647, 2021.

[2] A. Brown, L. Waldheim, I. Landälv, J. Saddler, M. Ebadian, J. D. McMillan, and B. Klein, B. “Advanced biofuels—potential for cost reduction,” *IEA Bioenergy*, vol. 88, pp. 1-3, 2020.

[3] S. A. Paredes-Cervantes, L. F. Barahona-Pérez, F. G. Barroso-Tanoira, and D. V. Ponce-Marbányÿ, “Biocombustibles y su potencial en el mercado energético mexicano - Biocombustibles y su potencial en el mercado energético mexicano,” *Revista de Economía*, vol. 37, no. 94, pp. 35-56, 2020.

[4] E. J. Oh, and Y. S. Jin, “Engineering of *Saccharomyces cerevisiae* for efficient fermentation of cellulose,” *FEMS yeast researc*h, vol. 20, no. 1, p. foz089, 2020.

[5] INEGI. “Colección de estudios sectoriales y regionales. Conociendo la Industria de la cerveza.” 2020.

[6] V. I. C. Camacho, and T. D. G. Grande, “Bagazo de malta (BSG): Biorresiduo con potencial aplicación a nivel funcional, material y energético,” *Prospectiva*, vol. 19, no. 1, 2021.

[7] A. Chetrariu, and A. Dabija, “Brewer’s Spent Grains: Possibilities of Valorization, a Review,” *Applied Sciencies*, vol. 10, p. 5619, 2020.

[8] J. Zeng, W. Huang, X. Tian, X. Hu, and Z. Wu, “Brewer’s spent grain fermentation improves its soluble sugar and protein as well as enzymatic activities using *Bacillus velezensis*,” *Process Biochemistry*, vol. 111, pp. 12-20, 2021.

[9] G. V. Marson, R. J. S. de Castro, M. P. Belleville, and M. D. Hubinger, “Spent brewer’s yeast as a source of high added value molecules: a systematic review on its characteristics, processing and potential applications,” *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 36, p. 95, 2020.

[10] A. S. Oliveira, C. Ferreira, J. O. Pereira, M. E. Pintado, and A. P. Carvalho, “Spent brewer´s yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) as a potential source of bioactive peptides: An overview,” *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 208, pp. 1116-1126, 2022.

[11] APHA, WPCF, AWWA, “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd ed., American Public Health Association (APHA),” Washington, DC., vol. 72, pp.2-66, 2017.

[12] X. López-Legarda, A. Taramuel-Gallardo, C. Arboleda-Echavarría, F. Segura-Sánchez, L. Restrepo-Betancur, “Comparación de métodos que utilizan ácido sulfúrico para la determinación de azúcares totales,” *Revista Cubana de Química*, vol. 29, no. 2, pp. 180-198, 2017.

[13] J. Castilla-Archilla, S. Papirio,P. N. L. Lens, “Two-step process for volatile fatty acid production from brewery spent grain: Hydrolysis and direct acidogenic fermentation using anaerobic granular sludge,” *Process Biochemistry*, vol. 100, pp. 272-283, 2021.

[14] J. Estrada-García, E. Hernández-Aguilar, N. A. Vallejo-Cantú, A. Alvarado-Lassman and J. M. Méndez-Contreras, “Monitoreo reológico del proceso de bioconversión de residuos agrocañeros por acción probiótica como control de bioprocesos,” *Memorias del XLII Encuentro Nacional de la AMIDIQ*, vol. 1, no. 3, pp. 87-92, 2021.

[15] J. Estrada-García, W. Zárate-Herández, J. M. Méndez-Contreras, and E. Hernández-Aguilar, “Obtención de azúcares reductores mediante hidrólisis asistida por ultrasonido de granos gastados de cervecería,” *Journal CIM*, vol. 10, no. 1, pp. 842-849.

 ISSN: 2007 8102

[16] A. Bianco, M. Budroni, S. Zara, I. Mannazzu, F. Fancello, and G. Zara, "The role of microorganisms on biotransformation of brewers' spent grain," *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 104, pp. 8661-8678, 2020.

[17] Z. Jin, Y. Lan, J. B. Ohm, J. Gillespie, P. Schwarz, and B. Chen, "Physicochemical composition, fermentable sugars, free amino acids, phenolics, and minerals in brewers' spent grains obtained from craft brewing operations," *Journal of Cereal Science*, vol. 104, p. 103413, 2022.

[18] M. A. Coronado, G. Montero, D. G. Montes, B. Valdez-Salas, J. R. Ayala, C. García, M. Carillo, J. A. León, and A. Moreno, "Physicochemical characterization and SEM-EDX analysis of brewer's spent grain from the craft brewery industry," *Sustainability*, vol. 12, no. 18, pp. 7744, 2020.

[19] A. Paz, D. Outeiriño, N. G. Pérez, and J. M. Domínguez, "Enzymatic hydrolysis of brewer's spent grain to obtain fermentable sugars," *Bioresource Technology*, vol. 275, pp. 402–409, 2019.

[20] J. Estrada-García, E. Hernández-Aguilar, D. I. Romero-Mota, and J. M. Méndez-Contreras, "Influence of anaerobic biotransformation process of agro-industrial waste with *Lactobacillus acidophilus* on the rheological parameters: case of study of pig manure," *Archives of Microbiology*, vol. 205, p. 99. 2023.

[21] D. S. Samosir, Y. Bow, and A. Hasan, "Production of Bioethanol from Bunches of Palm Oil Using Purification Equipment with Bioethanol Traps," *Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment*, vol. 6, no. 3, pp. 61-67, 2022.

[22] K. R. Ahmad, H. R. Kesuma, M. Al-Farabi, and Y. Haryono, "The Effect Of Variations In Starch Weight On The Manufacture Of Bioethanol From Plantain Waste (*Musa Sapientum*)," *Solid State Technology*, vol. 63, no. 6, 2020.

[23] J. O. Chikodili, E. O. Chekwube, and O. N. Uzoma, "Optimization and characterization of bioethanol production from Abrus seed flour," *International Journal of Energy Research*, vol. 45, no. 3, pp. 3883-3898, 2020.

[24] A. Todorut, A. Molea, and I. Barabás, "Predicting the Temperature and Composition – Dependent Density and Viscosity of Diesel Fuel – Ethanol Blends," *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, vol. 64, no. 2, pp. 213-220, 2020.

[25] A. B. Bekele, T. A Abeto, and S. B. Mustefa, "Process Optimization for Acid Hydrolysis and Characterization of Bioethanol from Leftover Injera Waste by Using Response Surface Methodology: Central Composite Design," *International Journal of Analytical Chemistry*, p. 4809589, 2022.

[26] D. S. Sanchia, Y. Bow, and A. Hasan, "Production of Bioethanol from Bunches of Palm Oil Using Purification Equipment with Bioethanol Traps," *Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment*, vol. 6, no. 3, pp. 61-67, 2022.

ISSN: 2007 8102

Efecto de la nanocelulosa sobre las propiedades de películas elaboradas con harina de garbanzo

Claudia Andrea Romero Bastida[1], Margarito Somera Gonzalez[1], Rosalía América González Soto[1],*

*[1]Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. *cbastida@ipn.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

Debido a la contaminación generada por los materiales sintéticos se han buscado alternativas biodegradables. Se han utilizado carbohidratos, proteínas y lípidos, pero se ha visto que una mezcla de las anteriores es la que da las mejores propiedades. Por lo anterior se han empleado harinas de cereales y leguminosas porque son una mezcla de las anteriores. Sin embargo, son sensibles a la humedad. Por lo que en este trabajo se plantea emplear harina de garbanzo para elaborar películas y utilizar nano celulosa cristalina como agente de refuerzo. Se evaluarán las propiedades mecánicas de barrera al vapor de agua y a la luz UV. Se encontró que la concentración de 7.5% fue la mejor para elevar la tensión a la fractura, disminuir la permeabilidad al vapor de agua y aumentar la barrera a la luz UV. Por su barrera a la luz UV se sugiere su uso en productos altos en grasa.

***Palabras clave**: nanocelulosa, harina de garbanzo, propiedades de películas*

Abstract

Due to pollution generated by synthetic materials, biodegradable materials have been sought. Carbohydrates, proteins, and lipids has been used but it has been seen that a mixture of the above is the one that gives the best properties. Therefore, cereal and legume flours have been used because there are a mixture of the above. However, they are sensitive to humidity. Therefore, in this work it is proposed to use chickpea flour to elaborate films using crystalline nanocellulose as a reinforcing agent. Mechanical, water vapor and UV light barrier properties will be evaluated. It was found that 7.5% concentration was the best to elevate tensile strength, decrease water vapor permeability and increase the barrier to UV light. Due to its barrier to UV light its use in high-fat products is suggested.

***Key words**: nanocellulose, chickpea flour, film properties*

Introducción

El uso excesivo de los materiales de empaque sintéticos ha creado un problema de contaminación ambiental, por lo que se han estado realizando investigaciones para elaborar materiales de empaque biodegradables que cumplan con su función protectora pero que no contaminen el ambiente. Estos materiales han sido proteínas, carbohidratos o lípidos extraídos de frutas, verduras o animales provenientes de la naturaleza (Díaz & Castro, 2021) [1]. Sin embargo, se ha visto que para tener mejores propiedades se mezclan entre sí para obtener el material final que es mezcla de las características propias de cada uno. Es por lo anterior, que se han realizado investigaciones con harina de cereales (Drako, et al. (2018) [2] y leguminosas (Keaupeng et al. 2022), [3] las cuales son por naturaleza una mezcla de estos componentes. La harina de garbanzo muestra una composición prometedora debido a que contiene componentes como proteínas de buena calidad y carbohidratos con una cantidad de amilosa adecuada para la elaboración de películas. Díaz et al. 2019 [ ] elaboraron películas por vertido en placa en las cuales evaluaron sus propiedades al variar el pH de la solución así como la cantidad de plastificante. Los resultados que obtuvieron mostraron que dependiendo de la cantidad de plastificante o pH empleado, podrían servir como empaque dependiendo de los requerimientos del alimento. Por ejemplo: con mayor cantidad de plastificante la elongación era mayor pero su barrera a la humedad era menor, además, si el pH era mayor la tensión a la fractura aumentaba.

 ISSN: 2007 8102

Aunque el garbanzo es considerado una excelente fuente de proteínas, carbohidratos y minerales, no obstante, las películas siguen teniendo ciertas desventajas como su baja resistencia a la tensión y barrera al vapor de agua. Por lo anterior se han empleado estrategias como la de adicionar materiales de refuerzo para mejorar estas características. Algunos investigadores (Almeida et al. 2022) [5] han reportado materiales como la montmorillonita, nanofibras de cáscara de plátano o de eucalipto, ya que consideran que cuando estas estructuras tienen dimensiones menores a los 100 nanómetros pueden mejorar las propiedades mecánicas de las películas. También se ha empleado la nanocelulosa, la cual ha sido empleada en películas de quitosano (Sogut, et al. 2018) [6] entre otras. Por lo que el objetivo de este trabajo es emplear harina de garbanzo para elaborar un material de empaque que provenga de la naturaleza empleando nanocelulosa como material de refuerzo y además, utilizar otro método de elaboración de películas como es el termoprensado.

Metodología

Materiales

El material para elaborar las películas será harina de garbanzo. Como plastificante se utilizará glicerol. Para la obtención de la nano celulosa se empleará celulosa microcristalina que servirá como material de refuerzo a la película. Para la hidrólisis ácida se empleará ácido sulfúrico.

Métodos

Obtención de la nano celulosa

Se llevó a cabo según lo reportado por Herrera (2019) [7] a partir de la celulosa realizando algunas modificaciones. Se realizó una hidrolisis ácida con ácido sulfúrico al 64% en una relación de 10 ml/gr de celulosa durante 45 minutos manteniendo una agitación y temperatura constante de 45°C posteriormente se diluyó a una relación 1:10 de agua desionizada a 4 °C con el fin de detener la reacción. Después se centrifugó a 3 200 rpm durante 20 minutos para formar un sedimento ácido. Éste se colocó en membranas de diálisis de celulosa regenerada con 12 000 Da de peso sumergidas en agua desionizada. Se midió el pH y se realizó el cambio de agua cada 8 horas hasta lograr un pH neutro. Finalmente, para aislar los nano cristales de celulosa, la suspensión obtenida se sonicó en baño de hielo, para evitar un calentamiento excesivo del sistema, durante 30 min a 40 % de amplitud. Se utilizó un equipo de ultrasonido marca Branson 1510. Posteriormente se filtró el sobrenadante a través de un crisol tipo Gooch con un tamaño de poro de 4,0-5,5 µm para finalmente realizar un secado a 60 ºC por 4 horas.

Microscopía electrónica de transmisión

Para la determinación del tamaño de las nanopartículas se evaluó mediante microscopia electrónica de transmisión en un microscopio JEOL, JEM-2100, (Alemania). La muestra se sónico por 30 minutos en un equipo de ultrasonido Vevor,Digital ultrasonic cleaner,(China). Posteriormente se depositó una gota de la muestra en una placa de vidrio y se observó al microscopio. Para determinar el tamaño de las nanopartículas se midieron usando un software analizador de imágenes DigitalMicrograph,Gatan, (Estados Unidos). Se realizaron al menos 50 mediciones por área de observación y el tamaño de partícula se calculó como el valor medio de los datos.

Elaboración de la película

Las muestras se elaboraron con harina de garbanzo con 20% de humedad y con 30% p/p de glicerol. Se dejó en almacenamiento a 4° C por 24 horas. Las muestras se cortaron en cuadros de 10 x 10 cm y se laminaron, con el fin de disminuir el espesor almacenándose en refrigeración por 24 horas. Se utilizó el método de termoprensado con las siguientes condiciones de operación: precalentamiento del equipo sin muestra, hasta alcanzar una temperatura de 135 °C, colocación de la muestra entre las dos placas de acero inoxidable del equipo sin presión durante 2 minutos. Aumento de la presión a 8500 psia por 2 min con una liberación de presión por 20 segundos. Esta parte del proceso se repitió dos veces más. Finalmente, la muestra se dejó con presión por 15 minutos sin calentamiento para posteriormente retirarse del equipo.

Permeabilidad al vapor de agua

Para la realización de la prueba se siguió el método de la ASTM E96-66. Las películas se acondicionaron a 57% HR por 48 horas antes de la prueba. Se utilizó una celda de acero inoxidable (55mm altura y 65 mm de diámetro) para la prueba. Se selló cada película sobre una superficie circular abierta, que fungió como la tapa de la celda.

 ISSN: 2007 8102

En el interior, la celda contenía sílica gel (0%HR) y ésta se colocó en un desecador que contenía una solución sobresaturada de cloruro de sodio al 75% HR a una temperatura de 25 °C. El área de transferencia de la celda fue de 53 mm en diámetro. Los datos fueron registrados cada hora durante 6 horas. La transferencia de vapor de agua se determinó de la ganancia en peso de la celda como una fusión del tiempo. La pendiente de la línea recta obtenida por regresión lineal se consideró como el flux de vapor de agua. El coeficiente de transferencia de vapor de agua (CTVA) se calculó de dividir el flux por el área de transferencia. La permeabilidad al vapor de agua se calculó dividiendo la CTVA por la diferencia de presión de vapor de agua en ambos lados de la película multiplicado por el espesor de la película. Las pruebas se realizaron por triplicado.

Determinación de propiedades mecánicas

Se determinaron usando un texturómetro TAXT2i- (Stable Micro Systems, England), con una celda de carga de 25 kg, de acuerdo con el método ASTM D882-02 [ASTM, 2002]. Se utilizaron rectángulos de 1x10 cm y se acondicionaron durante 2 días en un desecador, con una humedad relativa del 57%. Antes de realizar la determinación se midió el espesor de las muestras con un micrómetro digital (Mitutoyo Co., mod. 293-230, Japón), en seis puntos aleatorios de la película para determinar el área. La separación entre las pinzas fue de 6 cm. Se empleó una velocidad de ensayo de 2.20 mm/s. La tensión a la fractura se calculó dividiendo el pico de fuerza máxima entre el área trasversal de la película. El porcentaje de elongación (%E) se calculó dividiendo el cambio en la longitud en el punto de ruptura por la longitud inicial x 100.

Opacidad

El análisis de las propiedades de barrera a la luz UV se realizaron mediciones, en el rango UV-VIS (200 nm-800 nm) para lo cual se utilizó un espectrofotómetro, Genesys 105 uv-vis, cada muestra de película, se cortó en una pieza rectangular, con las dimensiones internas de la cubeta y se colocó directamente, en una celda de espectrofotómetro con aire como referencia. La opacidad (unidades arbitrarias/mm) de las láminas se calcularon dividiendo el valor de absorbancia a 500 nm por el espesor de la lámina(mm), todas las mediciones se realizaron por cuadruplicado.

Resultados y discusión

Tamaño de partícula

Se ha visto que la nanocelulosa ofrece propiedades atractivas como una alta área superficial lo que le confiere más interacción con el polímero debido a su tamaño y también a sus grupos hidroxilos. Estas propiedades se favorecen con su tamaño nanométrico. En la figura 1 se puede observar el tamaño de la nanocelulosa obtenida. El tamaño promedio de las nanopartículas de celulosa fue de 20.48 nm. La morfología que predominó fue la esférica. Esto concuerda con la literatura, la cual menciona que la extraída por hidrólisis ácida frecuentemente tiene una forma redondeada con tamaños cercanos a los 20 nm.

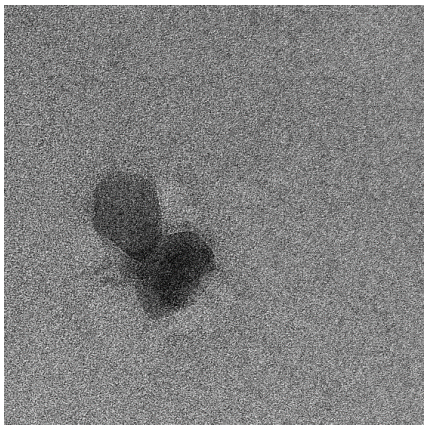


Figura 1. Nanopartículas de celulosa con 120,000 X de magnificación.

 ISSN: 2007 8102

Permeabilidad al vapor de agua

Esta propiedad es importante debido a que se ve influenciada por la humedad relativa del medio ambiente en el que se encuentra la película. Los empaques biodegradables, al provenir de la naturaleza, tienen un carácter hidrofílico. Es por lo anterior que se adicionaron diferentes concentraciones de nanocelulosa, las cuales se muestran en la Tabla 1. Aquí se puede observar que, a mayor concentración del agente de refuerzo, la permeabilidad disminuye. Este efecto concuerda con lo observado por Aseebee et al. 2021 [8] cuando utilizaron nanocristales de almidón de arroz en películas de almidón de arroz. Al igual que Yadav et al. (2020) [9], estos investigadores utilizaron nano cristales de celulosa para reforzar películas de quitosano y encontraron que adicionar este material causaba una disminución probablemente debido a una interacción entre el polímero y la nanocelulosa. También podría ser como una barrera física de la nanocelulosa que disminuye el paso de vapor de agua por la gran cantidad de regiones cristalinas fuertemente empacadas impermeables al agua

Tabla 1. Permeabilidad al vapor de agua de películas de harina de garbanzo con diferentes concentraciones de nanocelulosa

Porcentaje de nanocelulosa en la película	PVA (g/m s Pa)
0	6.26X10 ^-10[a]
2.5	1.41X 10^-10[b]
5	6.78 X 10^-11[c]
7.5	5.92 X 10^-12[d]

Tensión a la fractura

Otra de las propiedades importantes en una película es su resistencia a la fractura. En la figura 2 se muestra esta propiedad empleando varias concentraciones de nanocelulosa en la película de harina de garbanzo para darle mayor soporte. Puede observarse que la nanocelulosa actuó como un agente de refuerzo aumentando la tensión a medida que aumentaba la concentración. Siendo la concentración de 7.5% la que obtuvo el mejor resultado. Los resultados de este estudio concuerdan con lo encontrado por Aseebee, et al. (2021) [8]. Estos investigadores mencionan que las nanopartículas tienen una relación área superficial/volumen, grande, esto hace que parte del esfuerzo de la película se transfiera a las partículas aumentando sus propiedades. El efecto de la concentración puede variar dependiendo del polímero utilizado ya que se ha visto que en algunos estudios el aumentar por arriba de 7% ocasiona una disminución en la tensión a la fractura que sería el resultado de una agregación de las nanopartículas que destruiría el arreglo ordenado de la película.

 ISSN: 2007 8102

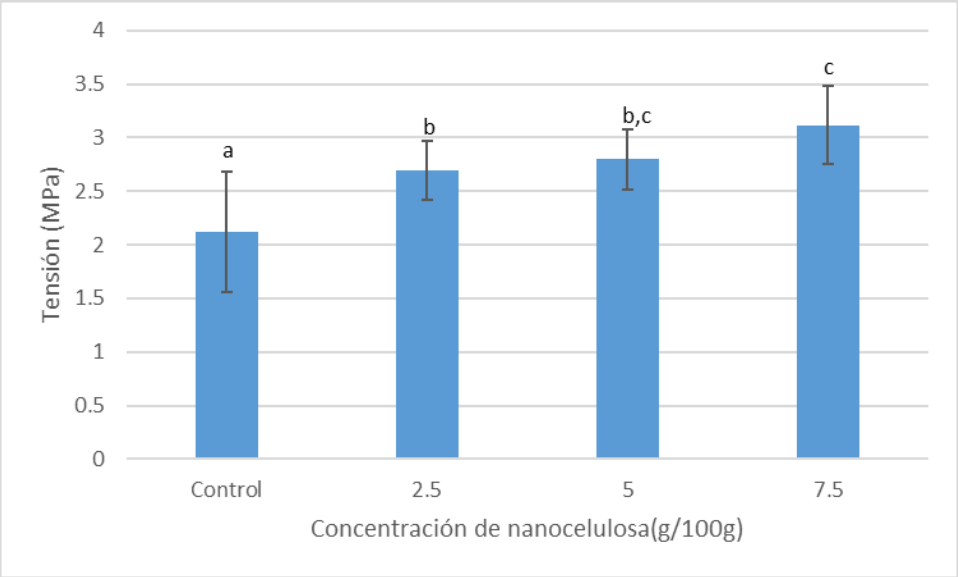


Figura 2. Tensión a la fractura de películas de harina de garbanzo con diferentes contenidos de nanocelulosa

Porcentaje de elongación

Además de la resistencia de las películas, la flexibilidad también es importante para poder soportar el manejo de esta. Dentro de los materiales de refuerzo que se han utilizado, se ha visto que la nano celulosa proporciona resistencia y elasticidad al polímero. Para que este sea efectivo, es necesario que haya una buena dispersión en el polímero. Sin embargo, si la concentración es excesiva se pueden disminuir sus propiedades debido a una agregación. En la figura 3 se muestran los resultados del porcentaje de elongación de las películas de harina de garbanzo con diferentes concentraciones de nano celulosa. Al comparar con la figura 2 se puede observar que estas dos propiedades mecánicas aumentan con un aumento en la concentración de nano celulosa. Sin embargo, con 7.5% el valor del porcentaje de elongación disminuye. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Maftoonazad et al. (2019) [10] para películas de harina de garbanzo y nano celulosa pero elaboradas con la técnica de vertido en placa.

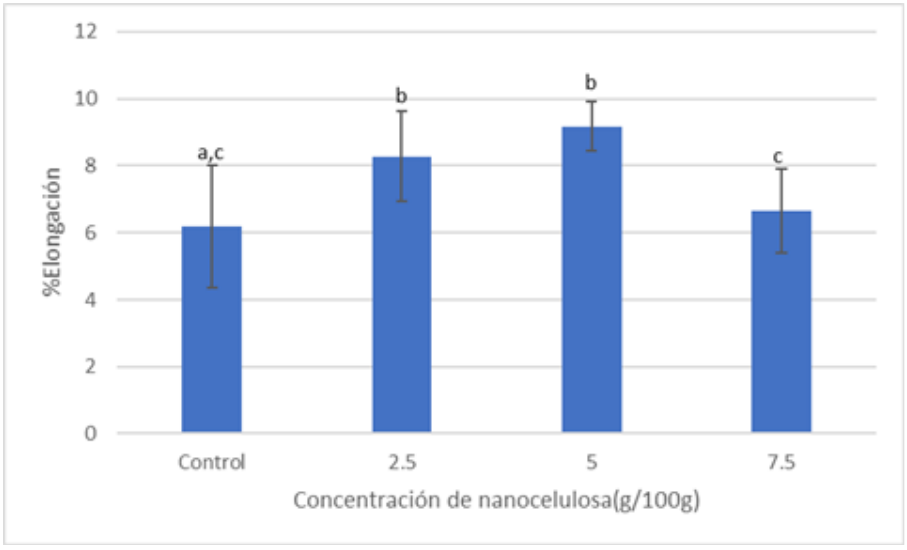


Figura 3. Porcentaje de elongación de películas de harina de garbanzo con diferentes contenidos de nano celulosa

ISSN: 2007 8102

Opacidad

Para algunos alimentos es necesario contar con empaques que tengan barrera a la luz ultravioleta para prevenir reacciones de oxidación que deterioren el alimento debido a la luz del sol. Por lo anterior, se requiere que tengan cierta opacidad. En la figura 4 se muestran los valores de opacidad para las películas. Los valores del control (2.3 AU/mm) fueron similares a los encontrados por Aguirre et al. (2021) [11] los cuales utilizaron películas de harina de garbanzo (3.56 AU/mm) pero elaboradas por el método de casting. El incluir diferentes concentraciones de nano celulosa incrementó más el valor. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Mohamed et al. (2022) [12] quienes utilizaron nanopartículas de Zn en películas de alginato de sodio. Ellos indican que el aumento en la barrera a la luz UV se debió a las interacciones entre el agente de refuerzo y la matriz polimérica. Igualmente, Yadav et al. (2020) [9] encontraron que a mayor concentración de nanocelulosa en películas de quitosano, aumentaba la opacidad. Esto indica que la nano celulosa bloquea la luz ultravioleta creando películas resistentes a la luz.

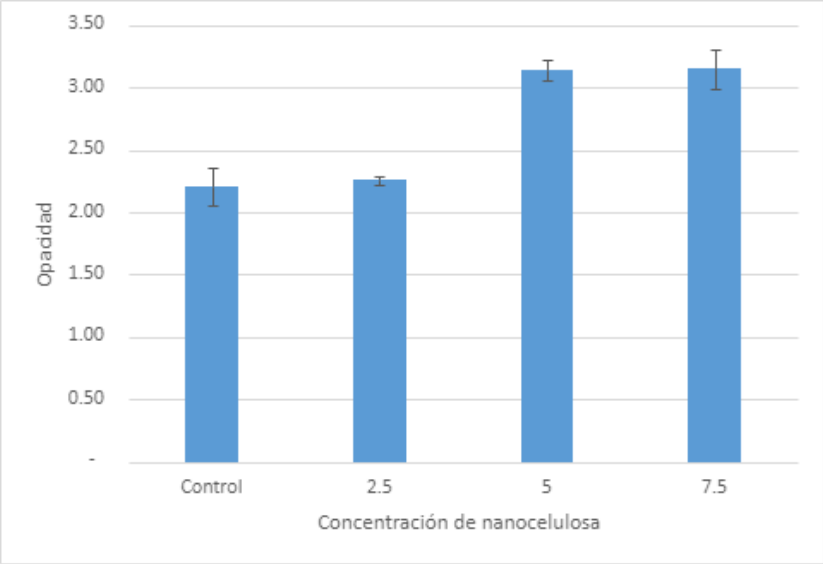


Figura 4. Opacidad de películas de harina de garbanzo con diferentes concentraciones de nanocelulosa

Trabajo a futuro

En este trabajo se utilizó harina de garbanzo como material de empaque biodegradable con diferentes concentraciones de nano celulosa. Faltaría concluir con la caracterización de la película como lo es la cristalinidad por rayos X, la microscopía electrónica de barrido por SEM, para ver la morfología de las películas y la interacción entre los componentes por FTIR.

Conclusiones

Se obtuvo nano celulosa cristalina a partir de la hidrólisis de la celulosa microcristalina con un tamaño de 20 nm. Estas dimensiones nanométricas pueden hacen posible que sea más fácil interaccionar con la matriz polimérica y así obtener mejores resultados. Fue posible elaborar películas de harina de garbanzo y nano celulosa a diferentes concentraciones, sin embargo, en la que se obtuvieron mejores resultados fue con 7.5% ya que aumentó la tensión a la fractura, disminuyó la permeabilidad al vapor de agua y aumentó la barrera a los rayos ultravioleta. Esto pudo deberse a la buena interacción entre la nanocelulosa y la harina de garbanzo. Además, el probar con otros métodos de obtención diferentes al vaciado en placa puede ofrecer otras alternativas para la elaboración de películas. Otro punto a favor fue que, debido a su barrera a la luz ultravioleta, podría servir para proteger alimentos altos en lípidos.

 ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] E. Díaz-Montes, and R. Castro-Muñoz, “Edible Films and Coatings as Food-Quality Preservers: An Overview”, *Foods*, vol.10. pp.249-275, 2021.

[2] A. Drakos, E. Pelava, V. Evageliou, “Properties of flour films as affected by the flour's source and particle size”, *Food Research International*, vol. 107, pp. 551-558, 2018.

[3] I. Keawpeng, S. Lekjing, B. Paulraj, and K. Venkatachalam, “Application of Clove Oil and Sonication Process on the Influence of the Functional Properties of Mung Bean Flour-Based Edible Film”, *Membranes,* vol. 12, pp. 535-550, 2022.

[4] Olga Díaz, O., Tania Ferreiro, T., José Luis Rodríguez-Otero, J. L., & Cobos, A. “Characterization of chickpea (Cicer arietinum L.) flour films: effects of pH and plasticizer concentration” *International Journal of Molecular Sciences,* vol.20, 1246. 2019.

[5] V. S. Almeida, I. M. Demiate, V. C. Ito, L. A. Pinheiro, B. R. V. Barretti, L. G. Lacerda, “Biodegradable Films with the Addition of Nanofibers: a Review Focusing on Raw Materials and Analysis”, *Brazilian Archives of Biology and Technology,* vol. 65, e22220141, 2022.

[6] E. Sogut, A. C. Seydim, “Development of Chitosan and Polycaprolactone based active bilayer films enhanced with nanocellulose and grape seed extract”, *Carbohydrate Polymers*, vol. 195, pp. 180-188. 2018.

[7] H. Herrera, L. Sinche, & O. Bonilla. “Obtención de Nanocelulosa a partir de Celulosa de Puntas de Abacá”, *Afinidad* LXXVI, pp. 123,131, 2019.

[8] M. D. F. Al-Aseebee A. H. Rashid, A.S. Naje, J. J. Jayaraj, T. Maridurai, “Influence of rice starch nanocrystals on the film properties of the bionanocomposite edible films produced from native rice starch”, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures,* Vol. 16, No. 2, pp. 697 – 704, 2021.

[9] M. Yadav, K. Behera, Y. Chang and F. Chyou Chiu “Cellulose Nanocrystal Reinforced Chitosan Based UV Barrier Composite Films for Sustainable Packaging”, *Polymers* vol. 12, pp. 202-214, 2020.

[10] N. Maftoonazad, F. Badii, A. Mohamed, H. Ramaswamy. “Evaluation of physicochemical, thermomechanical, and structural properties of chickpea flour composite films reinforced with crystalline nanocellulose”, *Journal of Applied Polymer Science*, vol 48389, pp. 1-13, 2020.

[11] A. Aguirre, X. Mendez, R. Borneo, “Characterization and storage study of chickpea flour films with UV-barrier and Cu-remove properties”, *Applied Food Research*, vol. 1, 100011.

[12] S. Mohamed, A. Aziz, H. E. Salama, “Development of alginate-based edible coatings of optimized UV-barrier properties by response surface methodology for food packaging applications” *International Journal of Biological Macromolecules,* vol. 212, pp. 294-302. 2022.

 ISSN: 2007 8102

Elaboración de películas con adición de vitamina C y cúrcuma como prevención para covid-19

Claudia Andrea Romero Bastida[1*], José Juan Islas Hernández[1]
[1]*Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. *cbastida@ipn.mx*

Área de participación: *Ingeniería química*

Resumen

La pandemia del Coronavirus ha sido la más crítica del siglo. En México se calcula un total de 29,616 infectados y 2,961 fallecimientos. Esto puede deberse a una deficiencia en la calidad alimenticia, asociado con padecimientos, cardiovasculares y de obesidad. Investigaciones han encontrado que algunas moléculas bioactivas pueden ayudar a disminuir el riesgo de contagio por COVID o ayudar a su recuperación. Una forma de incluir a estas moléculas activas en la dieta es a través de películas comestibles, por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue el desarrollo de películas con la adición de vitamina C y cúrcuma. Se evaluó la solubilidad, y las propiedades mecánicas y de barrera, así como el color. Las películas tuvieron 100% de solubilidad, buenas propiedades mecánicas y con un sabor y color aceptable por 20 días.

Palabras clave: *Películas comestibles, COVID, cúrcuma, vitamina C*

Abstract

The Coronavirus pandemic has been the most critical of this century. In Mexico, a total of 29,616 infected and 2,961 deaths are calculated. This could be due to a deficiency in nutritional quality, associated with, cardiovascular diseases and obesity. Investigations have found that some bioactive molecules could help reducing the risk of contagion from Covid or to help in the recovery. A way to include these active molecules in the diet is through edible films. therefore, the objective of this work was the development of edible films with the addition of vitamin C and curcuma. Solubility, mechanical and barrier properties were evaluated as well as color. The films had 100% solubility, good mechanical properties and acceptable flavor and color up to 20 days.

Key words: *Edible films, Covid, curcuma, vitamin C*

Introducción

La pandemia de COVID 19 fue provocada por el virus conocido como SARSCov-2, es un beta coronavirus de la familia coronaviridae. Es llamado así por su capa protectora lipoproteica de forma esférica que le da un aspecto de una corona. La infección por COVID 19 ha sido una de las pandemias más devastadoras en todo el mundo, se originó en china, y ha sido catalogada como emergencia de salud pública internacional. Esta enfermedad es transmitida de humano a humano por secreciones respiratorias, los signos y síntomas más frecuentes son fiebre, tos seca, dificultad para respirar, fatiga, abstemia, mialgias, cefalea, y diarrea. La población más afectada fue la de personas con enfermedad cardiovascular, diabetes, hipertensión y obesidad [1,2,3]

La vitamina C (ácido ascórbico) es una vitamina hidrosoluble esencial por su efecto antioxidante, se encuentra en diferentes frutas cítricas, guayaba, kiwi fresa etc. Esta vitamina tiene el atributo de donar electrones impidiendo la oxidación de otros compuestos, lo que permite evitar el daño celular y tisular del pulmón causado por la reacción inflamatoria del SARS-CoV-2. Así mismo, tiene efectos benéficos al actuar como regulador hormonal, participar en la transcripción y expresión genética y posee efectos antimicrobianos e inmunomoduladores que elevan el sistema inmunológico. También se ha observado que la vitamina C disminuye la duración de la enfermedad y el alivio de los síntomas de las infecciones de las vías respiratorias altas. Han observado que el tiempo requerido en cuidados intensivos y ventilación mecánica disminuye notablemente, así como la mortalidad de los pacientes

 ISSN: 2007 8102

en estado crítico [4,5,6]. Ante la ausencia de un fármaco especializado para la enfermedad por covid -19, algunos investigadores proponen la utilización de vitamina C como una posibilidad para el tratamiento terapéutico en el manejo del paciente con infección del covi-19 basándose en el conocimiento de un mecanismo de acción contra esta enfermedad [6,7]

Dentro de la medicina natural las plantas juegan un papel importante en las enfermedades, algunos fármacos son elaborados con extractos de una gran variedad de plantas, ya que poseen propiedades biológicas de gran importancia por sus principios activos y sus compuestos fitoquímicos naturales. La cúrcuma es una planta originaria de la india, es herbácea y perenne, sus rizomas presentan forma oblongada o cilíndrica, pertenece al género *Curcuma familiar* cercano al jengibre y al cardamomo. Se ha empleado como condimento en diferentes tratamientos medicinales y en diferentes estudios farmacológicos, se ha encontrado que el contenido de polifenoles, sesquiterpenos, monoterpernos etc son los que le dan su actividad. La cúrcuma se ha utilizado como antiinflamatorio para el padecimiento de dolores reumáticos, como antioxidante, inmunomodulador, antineoplásico, protector gástrico, hepatoprotector [8] hipoglucemiante, hipocolesterolémico entre muchos más.

La curcumina es el ingrediente activo de la cúrcuma, es un fotoquímico con acciones múltiples, y sus efectos protectores beneficiosos incluyen las de origen inflamatorio, neurológico, cardiovascular, pulmonar, metabólico, antimicrobiano. Ha demostrado actividad antiviral que engloba a varios tipos de virus por lo tanto podría una opción contra la infección del covid-19. La evidencia sugiere que tiene un efecto inhibitorio contra varias infecciones virales, entre las que se incluyen el virus de la estomatitis vesicular, el virus de la parainfluenza tipo 3, el virus del rebaño, el virus del herpes simple y el virus respiratorio sincitial [9]

En este trabajo se consideró importante que las moléculas bioactivas estén contenidas en un vehículo, por lo que se elaboraron películas comestibles agregando agentes antioxidantes y antimicrobianos como son la vitamina C y la cúrcuma. Estas películas pueden ser consumidas por personas que tienen problemas para tomar medicamentos ya que, al solubilizarse en la boca, serán consumidas sin problemas. Además, si se utilizaran para conservar frutas, podrían proteger el alimento y al mismo tiempo proporcionar un efecto nutritivo.

Metodología

Materiales

Para la elaboración de las películas se utilizó iota-carragenina refinada comercial de Industrias Alimentarias Fabpsa (Fapsagel 1313), así como la vitamina C. El plastificante utilizado fue glicerol marca Fermont. El sorbato de sodio fue de uso alimentario al igual que la cúrcuma, el colorante vegetal verde y los saborizantes de limón y naranja.

Métodos

Elaboración de las películas

Para elaborar las películas comestibles se utilizó carragenina iota en diferentes concentraciones (0.5-2%) debido a que son las recomendadas por el proveedor, la cual se disolvió en agua y se calentó a 65°C por 10 minutos siguiendo la metodología de Praseptiangga [10]. Se le adicionó glicerol en diferentes concentraciones (10% y 20%) y se utilizaron varias concentraciones de las moléculas bioactivas (20 y 30%). La cúrcuma se disolvió previamente en etanol y posteriormente se adicionó a la carragenina. Para las películas con vitamina C, ésta se añadió cuando la solución de carragenina se encontraba a 40°C. A estas películas también se les adicionó sorbato de sodio como conservador. La cúrcuma por su capacidad antimicrobiana no necesito de conservadores. A las dos se les incluyó un saborizante natural de limón y naranja para cada una. Las soluciones formadoras de película se vertieron en moldes de 10cm x 10 cm. Para formar la película, la solución se secó en una estufa a 60°C por 5 hr. Por último, las películas se desprendieron del molde y se guardaron en bolsas de plástico para su posterior uso.

Permeabilidad al vapor de agua.

La permeabilidad al vapor de agua se realizó siguiendo la técnica de la ASTM E96-66. Para lo anterior, se utilizó una celda de permeación (55mm altura y 65 mm en diámetro). Cada película se selló sobre la abertura circular de una celda de permeación, que contenía en su interior sílica gel. Las celdas se colocaron en desecadores que contenían una solución saturada de cloruro de sodio (HR 75%). El área de transferencia de la celda fue de 53

 ISSN: 2007 8102

mm de diámetro, y todo el sistema se mantuvo a 25°C. Las celdas se pesaron cada hora por un periodo de tiempo de 6 horas hasta peso constante. El coeficiente de transmisión de vapor de agua se determinó de la pendiente de graficar la ganancia en peso contra el tiempo. La permeabilidad al vapor de agua se calculó incluyendo la diferencia de presión parcial de vapor de agua y el espesor de la película. Las películas se acondicionaron a 57% HR por 48 horas antes de la prueba y se hicieron por triplicado.

Determinación de las propiedades mecánicas.

Se analizaron las propiedades mecánicas de tensión a la fractura (TF, MPa) y porcentaje de elongación (%E). Las muestras se evaluaron en un analizador de textura (TA Plus, Lloyd Instruments). Las muestras se cortaron en rectángulos de 100 x 10 mm de acuerdo con el método ASTM D88-02. La distancia inicial entre las pinzas del equipo fue de 60 mm y la velocidad de las pinzas fue de 1mm/s. Al menos 10 determinaciones se realizaron de cada película. La tensión a la fractura se calculó de dividir el pico de la fuerza máxima entre el área de la sección transversal de la película. El porcentaje de elongación se calculó de dividir el cambio de longitud alcanzada al momento de la ruptura entre la distancia original multiplicado por 100. Las películas se acondicionaron a 57% de HR por 48 horas antes de analizar las muestras

Solubilidad de las películas.

La solubilidad en agua de las películas (S), expresado en %, se determinó como el porcentaje de materia soluble de la película: La muestra se cortó con dimensiones 2 x 3 cm, se dejó en un desecador con sílica gel por una semana. Posteriormente se colocó en un vaso de precipitado con 80 ml de agua desionizada, se agitó por una hora. La muestra después se decantó y el residuo se secó en una estufa a 105°C hasta peso constante. Luego se calculó la solubilidad en agua como la diferencia en peso antes y después de la prueba.

Color

La determinación de color de la muestra se realizó por medio de un colorímetro ColorMate (Milton Roy Company.EUA) obteniendo los valores correspondientes a L*, a* y b* los cuales son los ejes de un plano tridimensional de color basado en un arreglo visual lógico del color. L* indica la luminosidad tiene valores de 0 (blanco puro) a 100(100 negro puro), los componentes verde-rojo donde +a es rojo y -a es verde) y los componentes azul-amarillo donde +b es amarillo y -b es azul. Para las mediciones, las películas se colocaron sobre el plato de calibración del colorímetro y se realizaron las lecturas en cuatro partes aleatorias de la muestra.

Contenido de Vitamina C

Para la determinación de la vitamina C, se utilizó el método de titulación. A la muestra (10 ml) se le añadieron 10 ml de una solución de meta fosfórico/ácido acético. Se agitó y se tituló con una solución de 2,6 dicloro fenol indofenol.

Resultados

Concentración de carragenina

Se utilizaron varias concentraciones de carragenina (0.5, 1 y 2%) para encontrar la que tuviera la mejor apariencia a la película. Con la de menor concentración se obtuvo una película muy delgada, difícil de separar de la placa donde se secó. La de mayor concentración tuvo una apariencia más gruesa y fue difícil de deshacerse en la boca. La mejor concentración fue la de 1% en la cual, fue fácil despegarla del molde y más viable de deshacerse en la boca.

Concentración de glicerol

También se probaron varias concentraciones de glicerol (0, 10 y 20%). Sin plastificante las películas fueron más complicadas de despegar de la placa y fueron quebradizas con el tiempo. En cambio, la de mayor porcentaje tuvo una apariencia pegajosa y fue difícil de manejar. El porcentaje intermedio (10%) fue adecuado para poder despegar y manejar la película.

Temperatura de secado

Se utilizaron 2 temperaturas de secado: ambiente y estufa a 60°C. El secado de las películas al medio ambiente se prolongó por un periodo de 24 horas, tiempo por el cual podría absorber impurezas del ambiente y la luz podría

degradar la vitamina C contenida en la película. Por lo anterior, se decidió mejor secar en estufa. El secado en estufa tuvo un tiempo menor (5 horas) además, este proceso ahorra tiempo y previene la degradación de la sustancia bioactiva.

Concentración de sustancias bioactivas

Se probaron diferentes concentraciones de las sustancias bioactivas (20 y 30%). La película con adición de cúrcuma fue difícil para disolverse, por lo que fue necesario una dilución previa en etanol. Se observó que la adición del 20% de cúrcuma, proporcionaba una mayor homogeneidad en la película. No fue necesario agregar colorante para mejor su apariencia, la cúrcuma en sí proporciona una coloración naranja a la película. No fue necesario agregar un conservador porque la cúrcuma, según la literatura, es antimicrobiana. Esto se confirmó al observar que, después de una semana, la película no mostraba signos de alguna contaminación por microorganismos.

Para el caso de la vitamina C, los dos porcentajes tuvieron la misma homogeneidad, sin embargo, fue necesario la incorporación de un colorante vegetal color verde y un saborizante sabor limón para mejorar su apariencia y sabor. Se observó que para esta película fue necesario la utilización de un conservador como el sorbato de potasio para evitar el crecimiento microbiano después de algunos días.



Figura 1. Películas de carragenina con a) vitamina C y b) cúrcuma

Propiedades mecánicas

Una manera de evaluar la resistencia de una película es a través de la tensión a la fractura y para conocer su elasticidad se mide el porcentaje de elongación. En la figura 2 se muestran los resultados de la tensión a la fractura de las películas elaboradas. Los valores de tensión a la fractura con cúrcuma fueron mayores que los de vitamina C, sin embargo, fueron menores a los encontrados por Liu et al. (2018) [11] para películas de carragenina al 2% con 7% de cúrcuma. Estos investigadores probaron varias concentraciones y observaron que después de cierta concentración la tensión disminuye por la difícil dispersión de la cúrcuma en la película. En este trabajo se observaron partículas en la película que podía ser cúrcuma sin disolver ya que se incluyó hasta un 20%. A pesar de todo, las propiedades mecánicas de las películas demostraron ser muy resistentes, solo se esperaba que resistieran el manejo previo a ser consumidas. Los resultados indican que las películas con vitamina C tuvieron una menor resistencia que las adicionadas con cúrcuma. Los valores encontrados para las películas de vitamina C fueron superiores a los encontrados por Rodriguez et al. (2020)]12] para películas de puré de papaya con ácido ascórbico al 3% (0.5 MPa).

 ISSN: 2007 8102

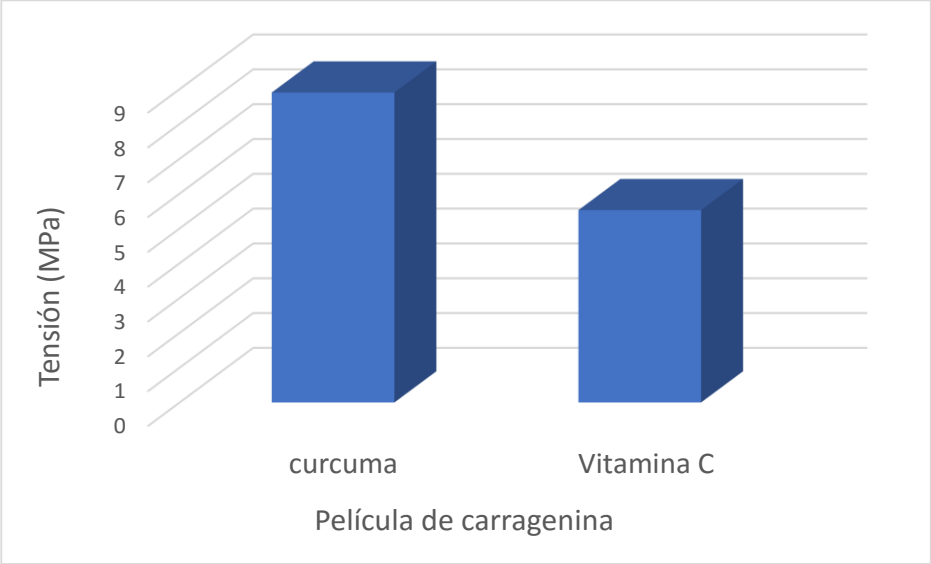


Figura 2. Tensión a la fractura de películas de carragenina con cúrcuma y vitamina C

Sin embargo, los valores de elongación tuvieron un efecto inverso (Figura 3), lo cual es normal debido a que al ser más fuerte la estructura es menos flexible. Las películas de cúrcuma tuvieron un valor menor a las de vitamina C, sin embargo, fueron superiores a los valores encontrados por Liu et al. (2018) [11] los cuales trabajaron con películas de carragenina y 7% de cúrcuma obteniendo valores de 22%. En cambio, la vitamina C provocó un aumento en la elasticidad de hasta un 50%. Este comportamiento ha sido también encontrado por este equipo de trabajo al utilizar ácido cítrico en películas de almidón de hueso de mango. Este efecto se atribuye a que los ácidos débiles como el cítrico y el ascórbico sirven como plastificante y es por eso el aumento del porcentaje de elongación. Este resultado es considerado aceptable, porque puede ser benéfico tanto en el manejo de la muestra como para su consumo. También si se utilizara como cobertura en frutos, la elasticidad le permitiría acoplarse al fruto sin riesgo de fracturas.

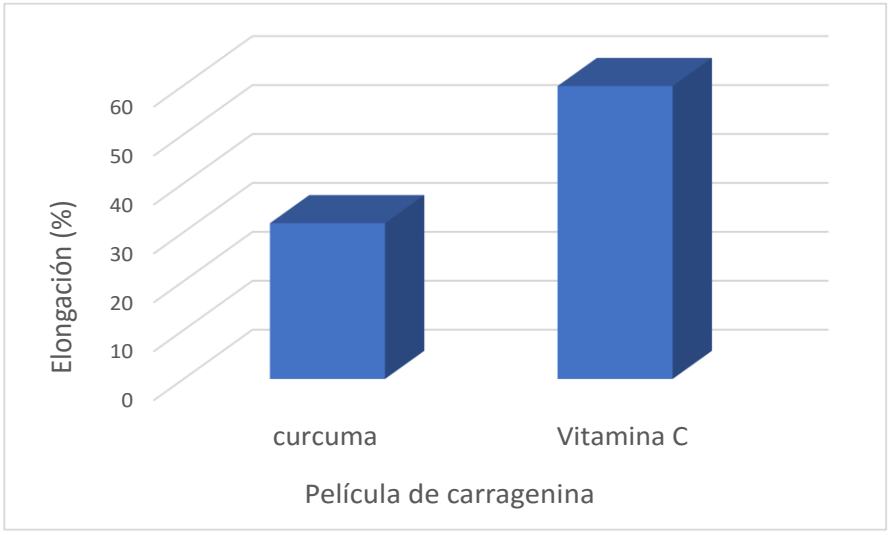


Figura 3. Porcentaje de elongación de películas de carragenina con cúrcuma y vitamina C

 ISSN: 2007 8102

Propiedades de barrera

Dentro de las propiedades de barrera se incluye la permeabilidad al vapor de agua. Cualquier sustancia que se le adicione a las películas puede modificar sus propiedades. En la figura 4 se observan los resultados de las películas de cúrcuma y vitamina C. Puede observarse que la permeabilidad de las películas con cúrcuma es mayor que las de vitamina C. Los valores encontrados en este trabajo fueron similares a los encontrados por Liu et al. (2018) [11] los cuales trabajaron con películas de carragenina al 2% con diferentes concentraciones de cúrcuma. Sin embargo, en este trabajo pudimos incorporar una mayor cantidad de cúrcuma sin afectar el valor de permeabilidad y así tener una mayor cantidad como agente antimicrobiano. La permeabilidad de las películas con cúrcuma es similar a las encontradas por Martiny, et al. 2020.[13] los cuales utilizaron películas de carragenina adicionadas con extracto de hoja de oliva (2.26×10^{-11} g/m s Pa), y aunque la molécula bioactiva es diferente, los dos contenían compuestos fenólicos y estos disminuyeron los valores de permeabilidad. Sin embargo, las películas de vitamina C tuvieron un valor menor, este resultado es aún menor que el encontrado por Kowalczyk et al. (2018) [14] para películas de almidón de papa con ácido ascórbico (4.13×10^{-10} g/m s Pa). Estos valores son bastantes bajos considerando que son películas hidrofílicas y que rápido pueden interaccionar con la humedad relativa del ambiente. Esta propiedad no sería importante si la película solo se ingiriera para aprovechar la vitamina. Sin embargo, su importancia radica al ser utilizada como cobertura en frutos ya que al tener una permeabilidad baja podría evitar que la fruta se deshidratara mientras se consume.

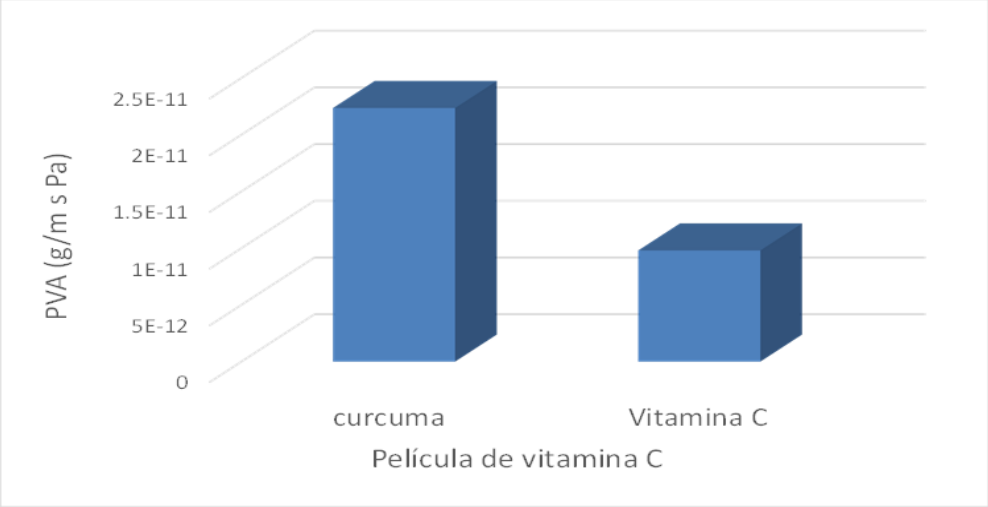


Figura 4. Permeabilidad al vapor de agua de películas de carragenina con cúrcuma y vitamina C.

Color

El color es un atributo importante para captar la atención del consumidor. Si la película se ingiere directamente, el color tiene un efecto importante en la aceptabilidad del consumidor. Por lo anterior, se adicionó colorante vegetal para el caso de las películas con vitamina C junto con un saborizante a limón para fomentar una mejor aceptación de la película. La cúrcuma de por sí proporciona una tonalidad naranja a la película, con lo cual no fue necesario adicionar un colorante. Sin embargo, se le adicionó saborizante de naranja para mejorar su aceptación. En la tabla 1 se puede observar que la luminosidad de las películas es elevada debido a que su valor es superior a 80, aunque la mayor luminosidad fue la película de vitamina C. Este hecho fue observado también por otros investigadores (Rodriguez et al. 2020).[12] los cuales trabajaron con películas de puré de papaya con adición de ácido ascórbico. Sin embargo, estas películas eran más opacas, debido a que los valores de luminosidad estaban en 33. El que la película de cúrcuma haya dado un valor menor, puede deberse a que había residuos sólidos que no alcanzaron a disolverse e interfirieron en la medición. Sin embargo, no se vio afectado como el reportado por Liu, et al 2018 [11]. Estos investigadores utilizaron 3% de cúrcuma en películas de κ-carragina obteniendo valores de luminosidad de 84. En este trabajo se utilizó 20% de cúrcuma. También puede ser que las impurezas propias del polímero afecten su luminosidad, como lo encontrado por Sedayu, et al. 2020 [15] para películas de carragenina semi refinada, en la cual las impurezas del procesamiento disminuyeron la luminosidad.

 ISSN: 2007 8102

En la coordenada a*, el valor de la película de carragenina con cúrcuma tiene un valor positivo, lo cual indica una tonalidad rojiza. En cambio, la película de carragenina con vitamina C, al tener un colorante verde en su composición, tuvo un valor negativo. Para el parámetro b*, las dos muestras mostraron un valor similar mostrando un color más hacia la tonalidad amarilla y menos hacia el azul (-b). El parámetro b* se vio afectado por la concentración de la cúrcuma, como lo demostró un trabajo realizado con κ-carragenina y cúrcuma. Los valores fueron desde negativos a baja concentración a positivos (+65) cuando se aumentó la concentración con 7%. Sin embargo, en este trabajo se utilizó 20% de cúrcuma y el valor de b* solo llegó a 75.

Tabla 1. Color de las películas de carragenina con compuestos bioactivos

Películas de carragenina	Coordenadas de color		
	L	a*	b*
Con cúrcuma	80.93	5.7	74.6
Con vitamina C	86.25	-25.23	75..58

Espesor

El espesor es un parámetro importante que puede influenciar el uso de estas películas en el empacado de alimentos. Se puede ver influenciado por el método de secado, ya que cuando se utiliza la temperatura ambiente, este es un proceso lento y menos controlado que si se hace en estufa, el cual es más rápido y mejor controlado. Por lo anterior se optó por secar en estufa. Otro factor que puede afectar es la composición, el plastificante usualmente aumenta el espesor como puede observarse en la tabla 2. Esto se debe a que aumentan los sólidos totales en la solución formadora de película. También el tipo de plastificante puede afectar esta medición, Rahmawati & Santiyantini, (2019).[16] utilizaron sorbitol en películas de carragenina y obtuvieron valores de 0.017 a 0.22 cuando variaron la concentración desde 2 al 6%. En este trabajo se utilizó glicerol como plastificante a una concentración del 10% y se obtuvieron valores menores incluso a concentraciones mayores de las que emplearon sorbitol. En cambio, hay otras sustancias que no varían mucho el espesor de la película, como el estudio realizado por Martiny, et al. (2020) [13] en películas de carragenina con extracto de hoja de olivo, el cual tuvo un promedio de 0.058, similar a la de este estudio utilizando películas de carragenina con vitamina C.

Tabla 2. Espesor de películas de carragenina con compuestos bioactivos secada en estufa a 60°C por 4 hr.

Películas de carragenina	Espesor (mm)	
	Sin plastificante	Con plastificante
Con cúrcuma	0.0857	0.1056
Con vitamina C	0.0653	0.1101

Solubilidad

El propósito de elaborar películas con iota carragenina, en lugar de la kapa carragenina fue que la primera es más soluble que la segunda y la intención era utilizarlas como vehículo acarreador de sustancias bioactivas que pudieran ingerirse como tal. Por lo anterior se procedió a determinar la prueba de solubilidad, resultando un 100% de desintegración en agua, consecutivamente se corroboró con una prueba preliminar de evaluación sensorial en el cual se probaron las películas para ver su solubilidad en la boca, mostrando desintegración total sin ningún sabor residual. La película con adición de colorante vegetal verde fue del agrado de las personas que evaluaron la película. Además de ser un suplemento en vitaminas, la película también podría ser utilizada como cobertura en frutas frescas cortadas, así evitaría que se oscurecieran por la capacidad antioxidante del ácido ascórbico y tendrían un suplemento de vitamina C al mismo tiempo.

Actividad de los compuestos activos

La actividad de los compuestos activos se puede ver influenciada por la temperatura, la luz, humedad relativa, cantidad de plastificante etc. De Nobili, et al (2016).[17] evaluaron la actividad del ácido ascórbico en películas de alginato observando que a mayor humedad relativa y mayor cantidad de plastificante, la actividad disminuía significativamente. Por otro lado, se han utilizado condiciones de refrigeración y oscuridad, temperatura ambiente

y oscuridad, temperatura ambiente con ciclos de luz y oscuridad. Los resultados encontrados fueron que la mayor retención de vitamina C se logra con la primera condición. Por lo que en este trabajo se utilizó una baja concentración de glicerol (10%), baja humedad relativa (33%) y en oscuridad. Con estas condiciones las películas de i-carragenina con vitamina C, lograron retener la vitamina C por 20 días. Esto podría asegurar que, si la película se ingiere dentro de ese lapso, se tendría disponible la vitamina C como suplemento. Por otra parte, si la película se utilizara como cobertura para proteger frutos frescos cortados también podría servir como antioxidante de los frutos.
Es necesario evaluar a los principios activos con el agente acarreador (polímero) ya que dependiendo de la matriz que se utilice como soporte para estas sustancias, las características de las películas pueden variar.

Trabajo a futuro

Debido a la capacidad antioxidante de la vitamina C reportada en la literatura y a la capacidad antimicrobiana de la cúrcuma, que se observó visualmente en el tiempo de la elaboración de esta investigación, sería necesario evaluar estas características en la película al momento de elaborarse y en el almacenamiento. Además, conociendo estas características se podría evaluar su uso en la conservación de frutas frescas cortadas para mejorar su calidad y alargar su vida de anaquel.

Conclusiones

La concentración de 1% del polímero fue suficiente para que las películas tuvieran buena resistencia mecánica y fueran fácil de disolverse en la boca, conservándolas a una temperatura ambiente de aproximadamente 25 C. Fue posible incorporar hasta 20% de vitamina C o cúrcuma en películas de i-carragenina. El aspecto visual y de sabor de las películas se mejoró con el colorante y los saborizantes.

Estas películas podrían tener 2 funciones: servir de vehículo para acarrear sustancias bioactivas que pueden actuar como suplementos que ayuden a evitar el contagio por Covid-19 al poder ser ingeridas o como coberturas para servir como antioxidante (vitamina C) o como antimicrobiano (cúrcuma) en alimentos. Aunque esto último habría de evaluarse en otros experimentos.

Referencias

[1] X. Escudero, J. Guarner, A. Galindo, M. Escudero, M. Alcocer y C. Del Río, “La pandemia de CoronavirusSARS-CoV-2 (COVID-19) Situación actual e implicaciones para México,” *Archivos de Cardiología en México*, pp 7-14, 2020.

[2] W. Guan, Z. Ni, Hu Y, W. Liang, C. Ou, J. He,” Clinical characteristics of coronavirus disease in China,” N *England Journal Medical*, (Epub ahead of print). 28: doi.10.1056/NEJMoa2002032, 2019, 2020.

[3] Z. Wu, JM. McGoogan, “Characteristics of and important lessons from the coronavirus 2019 (COVID-19) outbreak in China: summary of a report of 72,314 cases from the Chinese Center of Disease Control and Prevention” *Journal American Medical Association*,” 2020 Published on-line. doi:10.1001/jama.2020.2648.

[4] C. Flores Silva, A. Arroyo Sánchez,” Vitamina C y enfermedad por coronavirus,” *Revista del Cuerpo Médico Hospital Nacional* Almanzor Aguinaga Asenjo versión impresa ISSN 2225-5109versión On-line ISSN 2227-4731 Rev. Cuerpo Med. HNAAA vol.13 no.4 Chiclayo oct./dic 2020 http://dx.doi.org/10.35434/rcmhnaaa.2020.134.779

[5] G. Olivas Orozco, J. Salas Tovar, A., De la Peña-Baca, A., Pérez-Ordoñez, G., Pérez Corral, D., Hernández-Centeno, F., Amaro-Hernández, C., Escobedo-García, S., Ramos-Aguilar, A. L., Chacón-Flores, A., Rentería Soto, D., Molina-Corral, F., Sepúlveda, D. 2021, “Moléculas bioactivas de los alimentos como un aporte hacia una estrategia integral para el manejo de la enfermedad COVID-19 en México,” Revista Médica UAS vol. 11 no 4, pp. 351-382. 2021

[6] H. Hemilä,E. Chalker, " Vitamin C as a Possible Therapy for COVID-19," *Infection Chemotherapy*, Vol.52 pp 222, 2020

[7] L. Wang, Y. Wang, D.Ye, Q. Liu . Review of the 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2) based on current evidence. International *Journal of Antimicrobial Agents*. Vol. 55, no 6:105948, 2020

[8] C. Oneyda Clapé Laffita and. A. Alfonso Castillo, "Avances en la caracterización farmacotoxicológica de la planta medicinal Curcuma longa Linn," MEDISAN vol.16 no.1 Santiago de Cuba ene. vol.16 pp 97-114, 2019

[9] F. Zahedipour, SA. Hosseini, T. Sathyapalan, M. Majeed, T. Jamialahmadi, KAl-Rasadi, M. Banach, A. Sahebkar, "Potential effects of curcumin in the treatment of COVID-19 infection," *Phytotheraphy Research*, Vol 3 no 11, pp. 2911-2920. 2020 doi: 10.1002/ptr.6738. Epub 2020 Jun 23. PMID: 32430996; PMCID: PMC7276879

[10] Praseptiangga, D., Giovani, S. Manuhara, G. J., Rahadian, D., Muhammad, A. "Formulation and Characterization of Novel Composite Semi-refined Iota Carrageenan-based Edible Film Incorporating Palmitic Acid" *AIP Conf. Proc. 1884*, 030006-1–030006. 2020.

[11] J. Liu, H. Wang, P. Wang, M. Guo, S. Jiang, X. Li, S. Jiang. "Films based on k-carrageenan incorporated with curcumin for freshness monitoring" *Food Hydrocolloids* vol. 83 pp. 134-142, 2018.

[12] G. M. Rodríguez, J:C Sibaja, P.J.P Espitia, C. G Otoni, "Antioxidant active packaging based on papaya edible films incorporated with Moringa oleifera and ascorbic acid for food preservation" *Food Hydrocolloids*, 103:105630. 2020

[13] T. R. Martiny, B. S Pacheco, C. M. Pereira, A. Mancilla, M. S. Astorga, G. Dotto, C. C Moraes.,. "A novel biodegradable film based on κ-carrageenan activated with olive leaves extract*," Food Science Nutrition*, Vl. 8 no 3, pp. 147-3156, 2020.

[14] D. Kowalczyka, W. Kazimierczak, E. Ziębac, M. Mężyńskad, M. Basiura-Cembalae, S. Lisieckid, M. Karaśa, B. Baraniak, "Ascorbic acid- and sodium ascorbate-loaded oxidized potato starch films: Comparative evaluation of physicochemical and antioxidant properties", *Carbohydrate polymers*, vol. 181, pp. 317-326, 2018.

[15] B. B. Sedayu, M. J. Cran, and S. W. Bigger, "Reinforcement of Refined and Semi-Refined Carrageenan Film with Nanocellulose" *Polymers,* vol. 12, pp. 1145,2020.

[16] M. Rahmawati, M. Arief and W. H. Satyantini, "The Effect of Sorbitol Addition on the Characteristic of Carrageenan Edible Film", *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* vol. 236, 2020.

[17] De'Nobili, M. D., Soria, M Manuela R. Martinefski, R., Tripodi, V. P., Fissore, E. N., Rojas, A. M. "Stability of L-(þ)-ascorbic acid in alginate edible films loaded with citric acid for antioxidant food preservation" *Journal [10[of Food Engineering,* vol. 175 pp. 1-7. 2018.

 ISSN: 2007 8102

Desarrollo del composito Curcumina@HKUST-1 como estrategia para la generación de hidrógeno

Jesús Sebastián Rodríguez Girón[1], Luis Angel Alfonso Herrera[2], Alejandra M. Navarrete-López[3], Hiram Isaac Beltrán Conde[4], Daniel Sánchez Martínez[5]

[1]Universidad Autónoma de Nuevo León sebasrg2993@gmail.com, [2]Universidad Autónoma Metropolitana hallatf@hotmail.com, [3] Universidad Autónoma Metropolitana amnl@azc.uam.mx, [4]Universidad Autónoma Metropolitana amnl@azc.uam.mx hibc@azc.uam.mx,[5]Universidad Autónoma de Nuevo León dan_sanm@hotmail.com

***Área de participación**: ingeniería química*

Resumen

En este trabajo se propone la infiltración de curcumina (Cur) en HKUST-1 con la finalidad de crear un composito Cur@HKUST-1 con actividad mejorada hacia la evolución fotocatalítica de hidrógeno. El composito desarrollado fue estudiado por difracción de rayos X (DRX) en polvos, análisis termogravimétrico (TGA), espectroscopia FT-IR, y espectroscopia UV-Vis en estado sólido. Las técnicas mencionadas confirmaron la infiltración exitosa de la Cur dentro de las cavidades de la HKUST-1. Como resultado de la infiltración de Cur, el composito desarrollado produjo una mayor cantidad de hidrógeno en comparación con el material sin modificar. La mejor actividad fotocatalítica observada se atribuyó a un eficiente transporte de cargas en el sistema *huésped@anfitrion.*

***Palabras clave**: Marcos metal orgánicos, curcumina, sistemas huésped@anfitrión, evolución fotocatalítica de hidrógeno.*

Abstract

In this work, we proposed the infiltration of curcumine (Cur) into HKUST-1 to create a composite Cur@HKUST-1 with enhanced activity toward photocatalytic hydrogen evolution. The developed composite was studied employing X-ray diffraction in powders, thermogravimetric analysis (TGA), FT-IR spectroscopy, and UV-Vis spectroscopy in solid state. The mentioned tools indicated the successful infiltration of Cur in the cavities of HKUST-1. As a result of the infiltration process, the developed composited presented a higher hydrogen evolution rate compared with the pristine material. The higher photocatalytic activity of the composite was attributed to efficient charge transport in the host@guest system.

***Key words**: Metal Organic Frameworks, curcumine, host-guest systems, photocatalytic hydrogen evolution*

Introducción

Uno de los problemas más importantes que enfrenta la humanidad en la actualidad es el calentamiento global producido por un aumento en la concentración de gases efecto invernadero en la atmósfera. Dicho problema es causado en gran medida por el uso de combustibles fósiles; en consecuencia, el desarrollo de fuentes de energía alternativas es crucial para lograr una sociedad sustentable [1]. En este contexto surge el hidrógeno como una alternativa prometedora a los combustibles fósiles ya que este es un combustible limpio cuyo uso genera únicamente agua como subproducto [2]. Lamentablemente, los métodos actuales más utilizados para obtener hidrógeno, como el reformado de hidrocarburos o la electrolisis, requieren el uso de combustibles fósiles, por lo que estos procesos no pueden ser considerados libres de contaminantes [3]. Por otro lado, la fotocatálisis puede ser considerada una opción más prometedora que los procesos mencionados anteriormente, puesto que únicamente requiere el uso de energía solar para llevarse a cabo. No obstante, la mayoría de los fotocatalizadores empleados en la ruptura fotocatalítica del agua presentan importantes inconvenientes, como una baja absorción de luz o alta recombinación de cargas, que limitan su eficiencia en procesos fotocatalíticos [4]. En consecuencia, el desarrollo de nuevos fotocatalizadores es crucial para volver factible esta tecnología. Recientemente, se ha propuesto el uso de los Marcos metal orgánicos (MOFs por sus siglas en inglés) como materiales adecuados para

ISSN: 2007 8102

la producción fotocatalítica de hidrógeno debido a sus características únicas tales como una alta área superficial y versatilidad de diseño. Debido a tales características, algunos MOFs han conseguido tasas de evolución de hidrógeno tan altas como 68,830 µmol g^{-1} h^{-1}, siendo estos algunos de los resultados más sobresalientes encontrados en la literatura [5]. Al mismo tiempo, el desarrollo de sistemas huésped@anfitrión ha demostrado ser una estrategia viable para proveer a los MOFs de propiedades deseadas para diferentes aplicaciones; tales sistemas son creados mediante el almacenamiento de moléculas orgánicas en las cavidades de las MOFs. Por ejemplo, Tallin et al., en 2014 infiltraron TCNQ en la MOF HKUST-1 consiguiendo un aumento en la conductividad del material de 6 órdenes de magnitud [6]. En consecuencia, en este trabajo se exploró la infiltración de Cur en HKUST-1 como estrategia para incrementar la tasa de evolución fotocatalítica de este material. Se eligió la Cur como molécula huésped ya que esta es una biomolécula no toxica y con orbitales HOMO-LUMO de energías adecuadas para promover el transporte de cargas con HKUST-1 [7]. En cuanto a la MOF, se escogió la HKUST-1 como compuesto anfitrión debido a que esta contiene sitios metálicos abiertos que facilitan la infiltración de moléculas orgánicas a través de la formación de enlaces de coordinación, además de que en la literatura se ha demostrado la modulación exitosa de las propiedades fisicoquímicas de la HKUST-1 a través del proceso de infiltración.

Metodología

Síntesis de HKUST-1 y Cur@HKUST-1

Para la síntesis de HKUST-1 se pesaron 50 mg de ácido trimésico (0.24 mmol) que fueron activados con bicarbonato de sodio (0.72 mmol) en una mezcla de 20 mL etanol: agua, 4:1. Una vez teniendo el trimesato de sodio, a dicha mezcla se añadieron 167 mg de nitrato de cobre pentahemihidratado (0.36 mmol) predisueltos en 20 mL de etanol. La mezcla de reacción se mantuvo en agitación a temperatura ambiente durante 24 h. El polvo microcristalino obtenido se recuperó por centrifugación, y se lavó 3 veces con una solución etanol: agua 6:1. El polvo resultante fue secado en estufa a 100 ºC por 24 h. En cuanto al composito, se realizó el mismo procedimiento descrito anteriormente, con la diferencia que se añadió a la mezcla de reacción una cantidad de Cur equivalente al 10% molar de ácido trimesico, la cual equivale a 9 mg.

Equipos utilizados

Los equipos utilizados para esta investigación fueron: para DRX, Bruker D8 diffractometer (40 kV and 40 mA with Cu(Kα) radiation, λ = 1.5406 Å), 2θ de 5 a 70 ° a un paso de 0.05 ° y un tiempo de colecta de 0.05 s por paso; para FT-IR, un espectrómetro Perkin Elmer modelo Spectrum 100; para TGA, equipo Linseis STA PT 1600, en rango de temperatura de 20-900 °C a una velocidad de 10 °C·min^{-1}; para UV-Vis, un espectrofotómetro modelo Cary 5000 con esfera de integración difusa. La determinación del hidrógeno producido se realizó por cromatografía utilizando un cromatógrafo de gases marca Thermo-Scientific. La fuente de irradiación para los experimentos de fotocatálisis fue una lampara led (Gu10 6w 3000k 120v Philips Dimeable 400 Lumen) con emisión en la región visible del espectro electromagnético (400–700 nm).

Prueba fotocatalítica

La prueba de evolución de hidrógeno se realizó en un reactor Pyrex de 200 mL, en el cual fueron dispersados 200 mg del material a estudiar en 200 mL de agua desionizada. El reactor fue irradiado con luz visible por un total de tres horas midiendo la cantidad de hidrógeno producido en intervalos de 30 minutos.

Resultados y discusión

Caracterización por DRX, TGA, FT-IR y espectroscopia UV-Vis

El composito desarrollado, Cur@HKUST-1, se estudió por diferentes técnicas con la finalidad de confirmar la infiltración exitosa de la Cur. La Figura 1a muestra los difractogramas obtenidos para HKUST-1 sin modificar y Cur@HKUST-1, estos indicaron que los materiales presentaron la misma fase cristalina, lo que indicó que la presencia de Cur en el proceso de síntesis no indujo la formación de fases cristalinas adicionales a la deseada. Por otro lado, Cur@HKUST-1 presentó una menor cristalinidad que la HKUST-1 sin modificar, representado esto por una disminución en la intensidad de los picos de difracción. Tal resultado es una evidencia reportada que confirmó la infiltración molecular [8, 9]; no obstante, es importante mencionar que una alta cristalinidad suele

 ISSN: 2007 8102

proveer a los materiales de una actividad fotocatalítica eficiente debido a una mejora en el transporte de cargas [10], en consecuencia, la infiltración de mayores cantidades de Cur puede reducir la eficiencia de los materiales hacia procesos fotocatalíticos. Una segunda evidencia que confirmó la infiltración molecular es el desplazamiento de los picos de difracción hacia ángulos mayores, lo cual ~~se~~ indicó una contracción de la red cristalina [11]. Tal efecto es producido por las interacciones supramoleculares atractivas y homogéneas entre el huésped y el anfitrión. Finalmente, la ausencia de fases cristalinas a la de la HKUST-1 indicó que no hay Cur residual depositada en la superficie de la HKUST-1 [12].

Por otro lado, en la Figura 1b se presentaron los espectros FT-IR de los materiales estudiados. En concordancia con los resultados de DRX, los espectros FT-IR de HKUST-1 y Cur@HKUST-1 los cuales presentaron las bandas de absorción asociadas a los grupos funcionales de la HKUST-1, en particular, las bandas de absorción en 1650, 1455, y 1376 cm^{-1} fueron atribuidas a los grupos funcionales CO_2Cu y CO_2Cu_2, respectivamente [13]. En el espectro de Cur@HKUST-1 se observaron dos bandas de absorción adicionales a las típicas de HKUST-1, dichas bandas se encuentran en 1613 y 1556 cm^{-1} y son atribuidas a los grupos funcionales C=O y C=C presentes en Cur [14]. La presencia de estas bandas es una evidencia adicional que confirmó la infiltración [15].

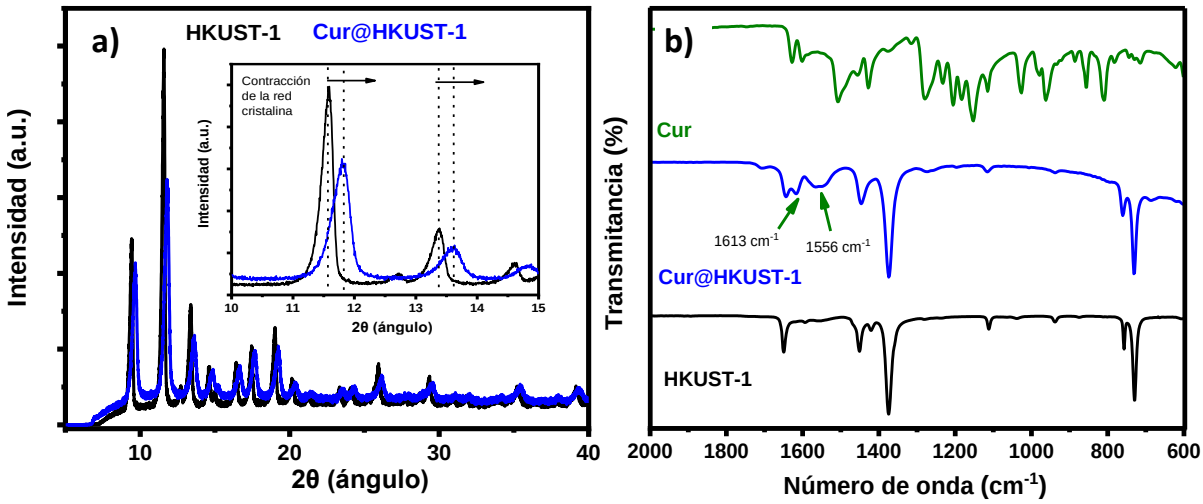


Figura 1. a) Difractogramas y b) espectros FT-IR obtenidos para Cur@HKUST-1 y HKUST-1 sin modificar

Con respecto a los experimentos TGA, la Tabla 1 muestra un resumen de los resultados obtenidos. La HKUST-1 sin modificar presentó una pérdida de peso de 30.84% en un rango de temperatura de 20-144 °C, la cual se atribuyó a la pérdida de agua adsorbida en las cavidades del material. En contraste, Cur@HKUST-1 presentó una pérdida de peso de 23.4% en el rango de temperatura de 20-141 °C, lo cual también se atribuyó a la deshidratación del material. Puesto que las moléculas de Cur se alojaron en las cavidades de la MOF, el proceso de infiltración disminuyó el espacio disponible para alojar moléculas de agua, lo cual provocó una menor cantidad de agua adsorbida (de la atmósfera) en los materiales infiltrados. Por otro lado, la HKUST-1 sin modificar presentó una temperatura de degradación en el rango de 20-141 °C, mientras que la Cur@HKUST-1 presentó un rango de degradación ligeramente menor 291-515 °C. Las variaciones en la estabilidad de un material son asociadas típicamente con la infiltración de moléculas [15], por lo que estos resultados son evidencias adicionales que confirmaron la infiltración de Cur en HKUST-1. Para este proceso en particular, la menor temperatura de degradación se relacionó con el menor rango de degradación de la Cur (a partir de 203 °C) en comparación con la HKUST-1.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 1. Resumen de los resultados obtenidos en TGA de Cur, HKUST-1 y Cur@HKUST-1

Material	Pérdida de peso (-%)	Rango de temperatura (°C)	
HKUST-1	30.84	20-144	-H_2O
	39.56	298-541	Degradación
Cur@HKUST-1	23.4	20-141	-H_2O
	43.72	291-515	Degradación
Cur	100	203-900	Degradación

Las propiedades ópticas de HKUST-1 y Cur@HKUST-1 fueron estudiadas por espectroscopia UV-Vis en estado sólido (Figura 2a), ambos materiales muestran espectros similares con bandas de absorción en ≈300 y 700 nm, las cuales se atribuyeron a transferencias electrónicas de tipo π→Cu y $Cu_{bajo\text{-}spin}$→$Cu_{Alto\text{-}spin}$, respectivamente [16]. La figura 2b muestra el cálculo del bandgap para la HKUST-1 y Cur@HKUST-1 mediante el método de Tauc; el valor obtenido para ambos materiales fue de 3.5 eV, lo que indicó que la infiltración de Cur tuvo un efecto poco significativo en las propiedades ópticas de la HKUST-1.

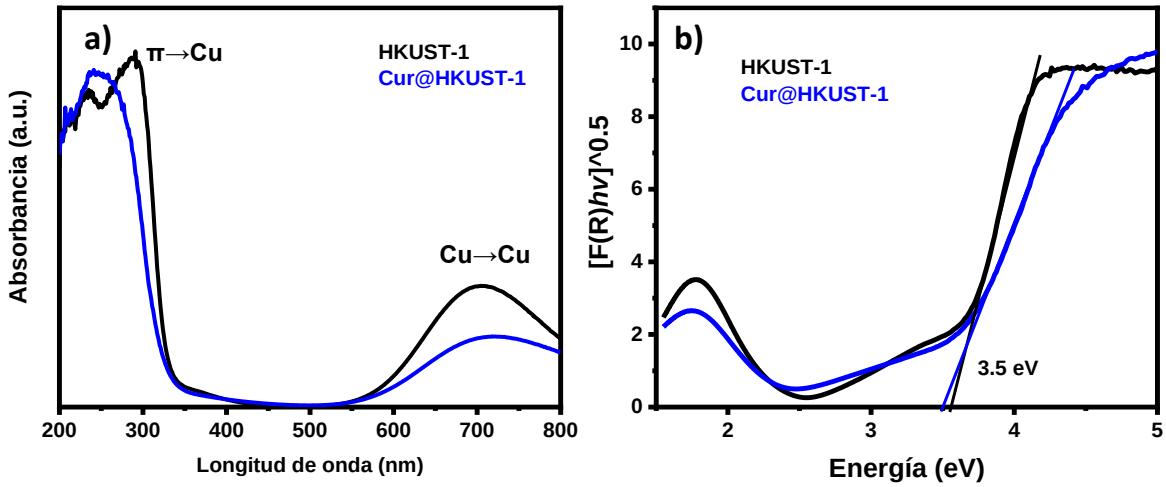


Figura 2. a) Espectros UV-vis de HKUST-1 y Cur@HKUST-1 y b) cálculo del bandgap

Mecanismo de transferencia de carga

La estructura de bandas de la HKUST-1 fue obtenida mediante cálculos DFT empleando el software CRYSTAL17, el funcional HSE06 y la base pob-DZVP. El bandgap calculado teoréticamente fue de 3.55 eV, concordando con los experimentos de UV-Vis. Por otro lado, se determinó la energía de la banda de valencia y conducción de la HKUST-1 en -6.96 y -3.69 eV, respectivamente. En cuanto a la Cur, en la literatura se ha establecido que esta tiene un HOMO-LUMO gap de 3 eV, y energías de los orbitales HOMO y LUMO de -5.8 y -3.62 eV, respectivamente [7]. En este sentido, se construyó el diagrama de bandas mostrado en la figura 3, el cual indicó que la banda de valencia de la HKUST-1 tuvo una energía menor que el orbital HOMO de la Cur; al mismo tiempo, la banda de conducción de la HKUST-1 tiene una energía menor que el orbital LUMO de la Cur. En consecuencia, el mecanismo de carga propuesto en este trabajo indicó que bajo irradiación de luz son generados los portadores de carga (electrones y huecos) en las bandas de valencia y conducción de los materiales, respectivamente. Dado que la banda de conducción de la HKUST-1 presentó una energía menor que el orbital LUMO de la Cur, los electrones son transferidos desde el orbital LUMO de la Cur hacia la banda de conducción de la HKUST-1. Al mismo tiempo, los huecos en la banda de valencia de la HKUST-1 son transferidos hacia el orbital HOMO de la Cur, puesto que un orbital HOMO o banda de conducción de mayor energía promueven un menor potencial de oxidación. En consecuencia, el material Cur@HKUST-1 fue semejante a una heteroestructura de tipo II [17],

 ISSN: 2007 8102

donde la oxidación del agua ocurriría en la Cur y la reducción de los protones generados en la anterior reacción se llevaría a cabo en la HKUST-1.

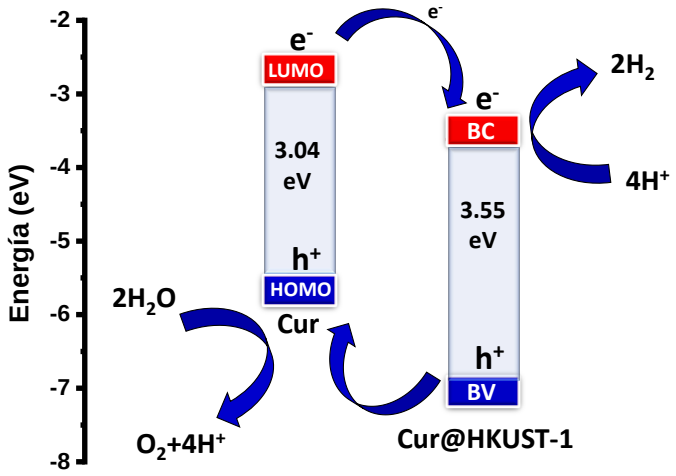


Figura 3. Diagrama de bandas/orbitales frontera y mecanismo de transferencia de carga en el composito Cur@HKUST-1

Evolución fotocatalítica de hidrógeno

La producción fotocatalítica de hidrógeno promovida por los sistemas HKUST-1 y Cur se muestra en la Figura 4. Cur@HKUST-1 produjo una mayor cantidad que el material sin modificar. En particular, en los primeros 30 minutos de la reacción (30.21 µmol vs 17.32 µmol), lo que confirmo que la formación de sistemas huésped anfitrión es una estrategia adecuada para mejorar la actividad fotocatalítica de materiales tipo MOF. El incremento en la evolución de hidrógeno se atribuyó a la transferencia de carga en el sistema huésped-anfitrión, que disminuyó la taza de recombinación en los materiales [18]. Puesto que los electrones son transferidos del orbital LUMO de la Cur hacia la banda de conducción de la HKUST-1, estos no pueden recombinarse con los huecos en el orbital HOMO de la Cur, favoreciendo así el proceso de oxidación del agua. De igual manera, dado que los huecos en la banda de valencia de la HKUST-1 son transferidos hacia el orbital HOMO de la Cur, los electrones en la banda de conducción no pueden recombinarse, favoreciendo el proceso de reducción. Sin embargo, vale la pena mencionar que, en tiempos de reacción prolongados, la mejora asociada a la infiltración de Cur disminuyó, probablemente debido al colapso de la red cristalina del material, en concordancia con los resultados observados en TGA que sugerían una menor estabilidad en el composito.

 ISSN: 2007 8102

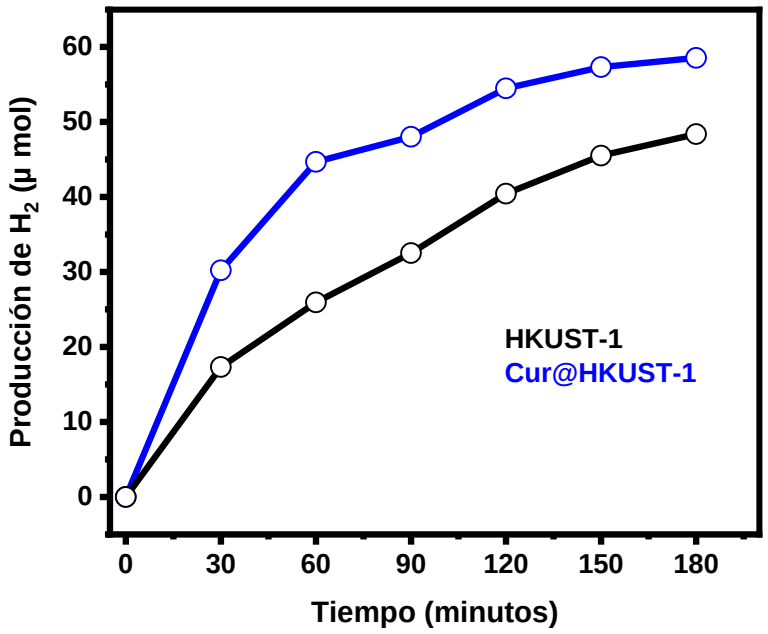


Figura 4. a) Evolución fotocatalítica de hidrógeno de HKUST-1 y Cur@HKUST-1

Conclusiones

Se desarrolló el composito Cur@HKUST-1 derivado de la infiltración de Cur en las cavidades de la HKUST-1. Las evidencias que confirmaron la infiltración de la Cur son: i) la menor cristalinidad en el material infiltrado con respecto a aquel sin infiltrar, ii) la contracción de la red cristalina observada en el material infiltrado, iii) la presencia de grupos funcionales atribuidos en la Cur observados en los espectros de FT-IR y iv) el ligero incremento en el valor de la banda prohibida del composito. Cur@HKUST-1 presentó una mayor evolución de hidrógeno que el material sin modificar debido a un transporte de cargas eficiente en el sistema huésped-anfitrión semejante a una heteroestructura tipo II.

Agradecimientos

Este trabajo contó con el apoyo de la UANL para el financiamiento directo, y de la UAM para el financiamiento a través del Proyecto de Investigación UAM-A, DCBI número CB005-22. También agradecemos al “Laboratorio de Supercómputo y Visualización en Paralelo” UAM Iztapalapa, por las facilidades computacionales brindadas para desarrollar la parte teórica de esta contribución. LAAH y JSRG agradecen a CONACyT por el Ph.D. becas de grado números 821611 y 824115, respectivamente.

Referencias

[1] M. Hoel and S. Kverndokk, "Depletion of fossil fuels and the impacts of global warming," Resource and Energy Economics, vol. 18, pp. 115-136, 1996.
[2] S. Elnashaie, Z. Chen, and P. Prasad, "Efficient Production and Economics of Clean-Fuel Hydrogen," International Journal of Green Energy, vol. 4, pp. 249-282, 2007.
[3] P. Nikolaidis and A. Poullikkas, "A comparative overview of hydrogen production processes," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 67, pp. 597-611, 2017.
[4] R. Marschall, "50 Years of Materials Research for Photocatalytic Water Splitting," European Journal of Inorganic Chemistry, vol. 2021, pp. 2435-2441, 2021.
[5] J. Li, H. Huang, P. Liu, X. Song, D. Mei, Y. Tang, et al., "Metal-organic framework encapsulated single-atom Pt catalysts for efficient photocatalytic hydrogen evolution," Journal of Catalysis, vol. 375, pp. 351-360, 2019.

 ISSN: 2007 8102

[6] A. A. Talin, A. Centrone, A. C. Ford, M. E. Foster, V. Stavila, P. Haney, et al., "Tunable Electrical Conductivity in Metal-Organic Framework Thin-Film Devices," Science, vol. 343, pp. 66-69, 2014.
[7] E. Gál and L. C. Nagy, "Photophysical Properties and Electronic Structure of Symmetrical Curcumin Analogues and Their BF2 Complexes, Including a Phenothiazine Substituted Derivative," Symmetry, vol. 13, p. 2299, 2021.
[8] C. Li, W. Qiu, W. Long, F. Deng, G. Bai, G. Zhang, et al., "Synthesis of porphyrin@MOFs type catalysts through “one-pot” self-assembly," Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, vol. 393, pp. 166-170, 2014.
[9] A.-X. Yan, S. Yao, Y.-G. Li, Z.-M. Zhang, Y. Lu, W.-L. Chen, et al., "Incorporating Polyoxometalates into a Porous MOF Greatly Improves Its Selective Adsorption of Cationic Dyes," Chemistry – A European Journal, vol. 20, pp. 6927-6933, 2014.
[10] L. G. Devi, B. N. Murthy, and S. G. Kumar, "Photocatalytic activity of TiO2 doped with Zn2+ and V5+ transition metal ions: Influence of crystallite size and dopant electronic configuration on photocatalytic activity," Materials Science and Engineering: B, vol. 166, pp. 1-6, 2010.
[11] S. Hermes, F. Schröder, S. Amirjalayer, R. Schmid, and R. A. Fischer, "Loading of porous metal–organic open frameworks with organometallic CVD precursors: inclusion compounds of the type [LnM]a@MOF-5," Journal of Materials Chemistry, vol. 16, pp. 2464-2472, 2006.
[12] H.-Q. Yin, J.-C. Yang, and X.-B. Yin, "Ratiometric Fluorescence Sensing and Real-Time Detection of Water in Organic Solvents with One-Pot Synthesis of Ru@MIL-101(Al)–NH2," Analytical Chemistry, vol. 89, pp. 13434-13440, 2017.
[13] S. Loera-Serna, L. L. Núñez, J. Flores, R. López-Simeon, and H. I. Beltrán, "An alkaline one-pot metathesis reaction to give a [Cu3(BTC)2] MOF at r.t., with free Cu coordination sites and enhanced hydrogen uptake properties," RSC Advances, vol. 3, pp. 10962-10972, 2013.
[14] S. Faham, R. Ghavami, H. Golmohammadi, and G. Khayatian, "Spectrophotometric and visual determination of zoledronic acid by using a bacterial cell-derived nanopaper doped with curcumin," Microchimica Acta, vol. 186, p. 719, 2019.
[15] S. Loera-Serna, E. Ortiz, and H. I. Beltrán, "First trial and physicochemical studies on the loading of basic fuchsin, crystal violet and Black Eriochrome T on HKUST-1," New Journal of Chemistry, vol. 41, pp. 3097-3105, 2017.
[16] M. Karimi, S. Sadeghi, H. Mohebali, Z. Azarkhosh, V. Safarifard, A. Mahjoub, et al., "Fluorinated solvent-assisted photocatalytic aerobic oxidative amidation of alcohols via visible-light-mediated HKUST-1/Cs-POMoW catalysis," New Journal of Chemistry, vol. 45, pp. 14024-14035, 2021.
[17] Y. Wen, P. Zhang, V. K. Sharma, X. Ma, and H.-C. Zhou, "Metal-organic frameworks for environmental applications," Cell Reports Physical Science, vol. 2, p. 100348, 2021.
[18] X. Zhang, Z. Cheng, P. Deng, L. Zhang, and Y. Hou, "NiSe2/Cd0.5Zn0.5S as a type-II heterojunction photocatalyst for enhanced photocatalytic hydrogen evolution," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 46, pp. 15389-15397, 2021.

 ISSN: 2007 8102

Contenido de polifenoles, capacidad antioxidante, microbiológica en bebidas de jugo de piña-té matcha y probiótico encapsulado

Jazmín Lorenzo Gonzalez[1], *María de los Ángeles Vivar Vera*[1], *Araceli Pérez Silva*[1], *Ernestina Paz Gamboa*[1]*.

[1]TecNM/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Laboratorio de Desarrollo de Nuevo Productos de la Maestría en Ciencias en Alimentos Av. Dr. Víctor Bravo Ahuja No. 561. Col. Predio el Paraíso, C.P.68350, San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México.

*ernestina.pg@tuxtepec.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el contenido de polifenoles, capacidad antioxidante y calidad microbiológica de bebidas formuladas a base de jugo de piña con inclusión té matcha (0.9%) en proporción 9:1, y encapsulados de *Lactobacillus acidophilus* a 1, 1.5 y 2%. Los resultados mostraron que los encapsulados de *L. acidophilus* en alginato de sodio y goma xantana fueron de forma esférica con diámetro de 1 mm y viabilidad de 8.95, 9.57 y 11.58 Log UFC/ mL. Las tres formulaciones de bebidas de jugo de piña-té matcha presentaron contenidos de 0.3445, 0.3395 y 0.4608 g GAE/100 mL de polifenoles; 5.89, 6.28 y 6.64 g EQ/100 mL de flavonoides; capacidad antioxidante de 13.85, 20.75 y 35.50 µmol Eq Trolox/100 mL (ABTS•+), así como 8.95, 9.28 y 16.50 µmol Eq Trolox/100 mL (FRAP). El análisis microbiológico no mostró presencia de mesófilos aerobios, mohos y levaduras en los 14 días de almacenamiento. Este trabajo demostró que la mezcla de jugo de piña y té matcha es una matriz efectiva para el *L. acidophilus* encapsulado para obtener bebidas funcionales con características probióticas y antioxidantes potencialmente benéficas a la salud humana.

Palabra clave: probiótico, jugo de piña, té verde matcha, polifenoles, capacidad antioxidante.

Abstract

The objective of the present study was to evaluate the polyphenol content, antioxidant capacity and microbiological quality of beverages formulated with pineapple juice including matcha tea (0.9%) in a 9:1 ratio, and encapsulated Lactobacillus acidophilus at 1, 1.5. and 2%. The results showed that the encapsulated L. acidophilus in sodium alginate and xanthan gum were spherical in shape with a diameter of 1 mm and viability of 8.95, 9.57 and 11.58 Log CFU/ mL. The three pineapple juice-matcha tea beverage formulations presented contents of 0.3445, 0.3395 and 0.4608 g GAE/100 mL of polyphenols; 5.89, 6.28 and 6.64 g EQ/100 mL of flavonoids; antioxidant capacity of 13.85, 20.75 and 35.50 µmol Eq Trolox/100 mL (ABTS•+), as well as 8.95, 9.28 and 16.50 µmol Eq Trolox/100 mL (FRAP). The microbiological analysis did not show the presence of aerobic mesophiles, molds and yeasts in the 14 days of storage. This work demonstrated that the mixture of pineapple juice and matcha tea is an effective matrix for encapsulated L. acidophilus to obtain functional beverages with probiotic and antioxidant characteristics potentially beneficial to human health.

Key words: probiotic, pineapple juice, matcha green tea, polyphenols, antioxidant capacity

Introducción

Los alimentos funcionales pueden considerarse alimentos que confieren un beneficio para la salud además del valor nutritivo habitual del alimento [1]. Actualmente la demanda por parte de los consumidores sobre nuevos productos funcionales se ha incrementado. El valor nutritivo y económico de jugos de frutas y plantas es bien conocido, por lo que estos en conjunto pueden ser mejores portadores de vitaminas, antioxidantes, bacterias probióticas y otras sustancias bioactivas que promueven la salud y mejoran el bienestar humano. Es por ello que el desarrollo de nuevas bebidas a base de plantas como el té verde mezcladas con otros ingredientes como jugos, entre otros, generan nuevas combinaciones sensoriales y brindan sabores novedosos que cada vez es más demandado por los consumidores. Dentro de las variedades de té existentes procedentes de *Camellia sinensis,* el té verde matcha ha causado un gran interés por su sabor y numerosos beneficios que trae consigo al consumidor. El matcha (*Camellia sinensis*) es un té verde en polvo que se elabora con las hojas jóvenes de

 ISSN: 2007 8102

arbustos de té que han sido sombreadas durante algunas semanas antes de la cosecha. Este proceso de obtención del té verde matcha le confiere características específicas en las hojas, como un alto contenido de fitoquímicos como los polifenoles (flavonoides), catequina y clorofila [2]. Asimismo, el uso de jugos como ingredientes de mezclas podrían mejorar el aroma y sabor del té verde matcha en el desarrollo de bebidas. Entre los jugos de frutas se encuentra la piña la cual se caracteriza por ser una fruta tropical muy apreciada por su aroma y sabor dulce único, es una rica fuente de minerales y vitaminas y antioxidantes que ofrecen una serie de beneficios para la salud, la variedad MD-2 es un hibrido conocido como “Honey Golden”, “Golden Sweet” o “piña miel”. El uso de té verde matcha y jugo de piña, puede ser una alternativa que en mezclas adecuadas dan como resultado una bebida refrescante, que podría funcionar como vehículo de probióticos para generar una bebida funcional y equilibrada en el contenido de compuestos fitoquímicos. Los probióticos son aquellos microorganismos vivos que administrados en cantidades adecuadas pueden conferir efectos benéficos a la salud del consumidor mejorando la microbiota intestinal. Un producto probiótico se considera funcional solo si contiene 10^7 UFC/ mL en el momento del consumo [3]., sin embargo, existen ciertos factores que afectan la viabilidad, como el pH, acidez y almacenamiento. Por lo que se recurre a tecnologías que favorezcan su estabilidad y viabilidad para permanecer fisiológicamente activos al momento del consumo, como la encapsulación, para proteger los microorganismos antes y después del consumo con el fin de asegurar su beneficio. El *Lactobacillus acidophillus,* es una bacteria heterofermentativa que puede crecer a temperaturas óptimas de 35 a 40 ºC, tiene la funcionalidad de mantener la microbiota intestinal y mantener la respuesta inmune. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar microbiológica y antioxidante de una bebida de jugo de piña-té verde matcha adicionada con probiótico encapsulado con la finalidad de observar el comportamiento de los compuestos de interés biológico.

Metodología

Materiales

El cultivo de *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 fue adquirido por Kwik-Stik™, Microbiologics, el cloruro de calcio, alginato de sodio, goma xantana de Sigma Aldrich® para la elaboración de los encapsulados. Las piñas fueron adquiridas de San Juan Bautista Tuxtepec con un grado de madurez 3 (½ de madurez), el té verde matcha de la marca McCormick®.

Activación y propagación del *Lactobacillus acidophilus*.

El cultivo liofilizado de ATCC 4356 se preparó mediante transferencia secuencial de dos veces en caldo MRS y luego se incubó anaeróbicamente a 37 ºC durante 72 h, se centrifugó a 3500 rpm durante 20 min a 4 ºC, las células se lavaron (4000 rpm durante 15 min a 4 ºC) en agua peptonada estéril al 1% (peso/vol.) [4].

Obtención del jugo de piña

Se utilizó piña (*Ananas comosus*) de la variedad MD-2 en escala de madurez 3 (color amarillo-anaranjado en prácticamente todo el fruto y solo los extremos presentan una pequeña tonalidad verde) [5]. Para la extracción del jugo, se lavó, desinfectó y eliminó la cáscara, se cortó en cubos y se procesó en un extractor de jugos marca Récords ®, se embotelló en frascos color ámbar de 120 mL, una vez embotellado se pasteurizó a 63 ºC por 30 min. Al jugo de piña se le agregó concentrado de té verde matcha en concentración de 0.9% en proporciones 9:1 jugo-té y *Lactobacillus acidophilus* encapsulado al 1, 1.5 y 2%.

Encapsulación de *Lactobacillus acidophillus*

La encapsulación se realizó según la metodología propuesta por Rodríguez et al., (2016), utilizando una mezcla de alginato de sodio (AlgNa) al 2% y goma xantana al 0.015% en agua a la cual se le adicionaron por separado 1, 1.5 y 2% de la suspensión activa (*L. acidophilus* 10^{10} UFC/ mL). La solución preparada fue agregada por extrusión con un tamaño de aguja de 21 G x 32. Sobre un termo agitador se colocaron 200 mL de $CaCl_2$ (0.2 M) como agente entrecruzante para la obtención de las cápsulas, a una agitación de 420 rpm durante 30 min.[6]. A las cápsulas obtenidas de *L. acidophillus* se les determinó el tamaño, peso, rendimiento, eficiencia y la viabilidad.

Calidad microbiológica

 ISSN: 2007 8102

Los análisis microbiológicos se realizaron a las bebidas de acuerdo con las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-130-SSA1-1995 por conteo de unidades formadoras de colonias (UFC/g) en placas. Las determinaciones que se realizaron fueron mesófilos aerobios, mohos y levaduras [7].

Contenido de polifenoles totales

El análisis del contenido de polifenoles totales fue determinado empleando el método de Folin-Ciocalteu empleando la metodología de Montreau [8], empleando una curva de ácido gálico como estándar, las muestras fueron leídas a 750 nm empleando un espectrofotómetro (Agilent Technologies, Cary 60 UV-Vis, Estados Unidos de América).

Contenido de flavonoides totales

El contenido de flavonoides totales se llevó a cabo siguiendo la metodología de Chang [9] empleando una curva de Quercetina como estándar, las muestras fueron leídas a 510 nm empleando un espectrofotómetro (Agilent Technologies, Cary 60 UV-Vis, Estados Unidos de América).

Determinación de capacidad antioxidante

a) Método 2,2 Azino-bis-(3-etilbenzo-tiazolina-6-sulfónico) ABTS*

Para la cuantificación de la actividad antioxidante se empleó el método descrito por Re [10], el cual se activó el reactivo incubando durante 16 horas, las lecturas se llevaron a cabo a 730 nm empleando un espectrofotómetro (Agilent Technologies, Cary 60 UV-Vis, Estados Unidos de América). Los resultados fueron expresados como µmol Eq Trolox/ 100 mL.

b) Método FRAP (Poder Antioxidante/Reducción Férrica)

La cuantificación fue determinada mediante el método propuesto por Pulido [11]. Donde el complejo TPTZ (tripiridiltriazina) con Fe (III) se reduce a la forma ferrosa, desarrollando un intenso color azul cuantificado espectrofotométricamente a 596 nm. Los resultados fueron expresados como µmol Eq Trolox/ 100 mL.

Análisis estadístico

Todos los análisis fueron realizados por triplicado y expresados como la media de tres repeticiones ± la desviación estándar, se utilizó una prueba de Fisher con un nivel de significancia del 100% utilizando el software estadístico Minitab versión 17.

Resultados y discusión

Encapsulación de *Lactobacillus acidophillus*

El aspecto de las cápsulas se observa en la figura 1, estos resultados coinciden con lo reportado por Lorenzo et al., 2022.



Figura 1. Encapsulados de *L. acidophillus*

Tabla 1. Parámetros de los encapsulados

Parámetro	% *L. acidophillus* encapsulado	Resultado
Tamaño (mm)		1
Peso (g)		0.011
Eficiencia (%)	1	89.07
	1.5	91.79
	2	99.54
Rendimiento (%)	1	78
	1.5	77
	2	76
Viabilidad (Log UFC/ mL	1	8.95
	1.5	9.57
	2	11.58

 ISSN: 2007 8102

Contenido de polifenoles y capacidad antioxidante del jugo de piña y té matcha

En la tabla 1 se muestra la caracterización de la materia prima antes de elaborar las bebidas.

Tabla 2. Contenido de polifenoles y capacidad antioxidante del jugo de piña y té matcha

Análisis	Jugo de piña	Té matcha
Contenido de polifenoles (g GAE/ 100 mL o g ms.)	0.5706±0.00^{b}	10.2364±0.01a
Contenido de flavonoides (g EQ/100 mL o g ms.)	1.0476±0.08b	9.10±2.05a
Actividad antioxidante ABTS •+ (µmol ET/ 100 mL o g ms.)	7.052±0.00b	187.4±0.00a
Actividad antioxidante FRAP (µmol ET/ 100 mL o g ms.)	3.85±0.29^{b}	291.00±0. 29^{a}

Todos los valores se expresan como la media ± desviación estándar. Medias con letras distintas en la misma columna significan diferencia estadística significativa mediante la prueba de Fisher ($p<0.05$). g GAE: gramos equivalentes de ácido gálico, g EQ: gramos equivalentes de Quercetina, µmol ET: micromol equivalentes de Trolox, g ms: gramos de muestra seca.

Contenido de polifenoles totales

En la tabla 2, se muestra el contenido de polifenoles totales del polvo de té matcha, el jugo de piña y de tres mezclas con diferentes concentraciones de probiótico encapsulado (1, 1.5 y 2%) adicionado con una concentración de polvo de té matcha (0.9%) y jugo de piña, teniendo como resultado que el polvo de té matcha tiene 10.23 g GAE/ 100 mL, mientras que el jugo de piña 0.57 g GAE/ 100 mL, esto como una caracterización de las materias primas. El contenido de polifenoles para las bebidas con el 0.9% del polvo de té matcha y probiótico al 1% fue de 0.3445, para el 1.5% 0.3395 y 2% 0.4608 g GAE/ 100 mL, observando que entre las bebidas hubo un incremento del 1.45 y 26.32%. Esto posiblemente se deba a que el probiótico se encuentra encapsulado y no provoca una fermentación en la bebida ya que después del proceso de fermentación hay una mayor disminución debido a la degradación de los compuestos fenólicos por las BAL, esto mencionado por Malik (2019).

Tabla 2. Contenido de polifenoles totales de las bebidas elaboradas

Muestra	g GAE/100mL
T1 (0.9% t.m. 1% *L.a.*)	0.3445 ± 0.009^{d}
T2 (0.9% t.m. 1.5% *L.a.*)	0.3395 ± 0.00^{d}
T3 (0.9% t.m. 2% *L.a.*)	0.4608 ± 0.00^{c}

Todos los valores se expresan como la media ± desviación estándar. Medias con letras distintas en la misma columna significan diferencia estadística significativa mediante la prueba de Fisher ($p<0.05$). gGAE: gramos equivalentes de ácido gálico, t.m: té matcha, *L.a: Lactobacillus acidophillus.*

Algunos polifenoles son hidrolizados por la microflora en varios ácidos aromáticos, el *L. acidophillus* es capaz de degradar más compuestos fenólicos que otras bacterias probióticas como el *L. casei* si se encuentra en estado libre.

Contenido de flavonoides totales

Los flavonoides forman parte de los polifenoles, en la tabla 3 se muestra el contenido de flavonoides totales en donde se evaluó el polvo de té matcha, el jugo de piña y las tres mezclas de jugo de piña-polvo de té matcha y

 ISSN: 2007 8102

probiótico. Las catequinas forman parte de la clase más general de flavonoides presentes en el té, conocidos como flavanan-3-oles o también conocidos como flavonoles. Los cuales pertenecen a la familia de los polifenoles del té matcha[12] Estos compuestos presentan actividad biológica que tiene numerosos beneficios a la salud del consumidor, en la tabla 2 se puede observar como a medida que aumenta el porcentaje de probiótico encapsulado hay un aumento del contenido de flavonoides entre las bebidas, para el 0.9% va de 5.89, 6.28 y 6.64 teniendo un aumento de 9.65 y 5.44 g Eq Quercetina/ 100 mL este contenido se debe al polvo de té matcha y al probiótico encapsulado el cual favorece a un mayor contenido de flavonoides ya que si el probiótico se encuentra de manera libre fermentaría la bebida pudiendo tener una disminución en su contenido esto se puede comparar con lo reportado por Malik 2019 donde un jugo de zanahoria no fermentado mostro el mayor contenido de flavonoides de 87.5 mg, mientras que el jugo fermentado mostro una disminución eso atribuido a la fermentación.

Tabla 3. Contenido de flavonoides totales de las bebidas seleccionadas

Muestra	µmol. eq trolox/ 100 mL
T1 (0.9% t.m. 1% *L.a.*)	13.85 ± 0.00^{d}
T2 (0.9% t.m. 1.5% *L.a.*)	20.75 ± 0.00^{c}
T3 (0.9% t.m. 2% *L.a.*)	35.50 ± 0.00^{b}

Todos los valores se expresan como la media ± desviación estándar. Medias con letras distintas en la misma columna significan diferencia estadística significativa mediante la prueba de Fisher ($p<0.05$). gEQ.Q: gramos equivalentes de Quercetina, *t.m: té matcha,* L.a: *Lactobacillus acidophillus*.

Esta disminución en la concentración de flavonoides totales se atribuye al proceso de fermentación según lo reportado por Li et at (2019) en el desarrollo de una bebida de remolacha sin fermentar.

Capacidad antioxidante 2,2 Azino-bis-(3-etilbenzo-tiazolina-6-sulfónico (ABTS•+)

El ensayo ABTS•+ cuantifica compuestos hidrofílicos y lipofílicos, en la tabla 4 se muestra los resultados de las tres mezclas de jugo de piña-polvo de té verde matcha y probiótico, observando un incremento de 33.25 y 41.54% µmol. eq trolox/ 100 mL entre las bebidas.

Tabla 4. Capacidad antioxidante por el método ABTS•+ de las bebidas

Muestra	g EQ. Q/100 mL
T1 (0.9% t.m. 1% *L.a.*)	5.89 ± 1.89^{b}
T2 (0.9% t.m. 1.5% *L.a.*)	6.28 ± 0.57^{b}
T3 (0.9% t.m. 2% *L.a.*)	6.64 ± 0.07^{b}

Todos los valores se expresan como la media ± desviación estándar. Medias con letras distintas en la misma columna significan diferencia estadística significativa mediante la prueba de Fisher ($p<0.05$). µmol. eq trolox: micromol equivalentes de Trolox, t.m: té matcha*, L.a: Lactobacillus acidophillus*.

Los resultados obtenidos se deben a que el método ABTS•+ es más sensible ya que hubo una reacción entre el radical ABTS•+ y los compuestos antioxidantes del polvo de té verde matcha y el jugo de piña, la disminución de los compuestos fenólicos y el aumento de la actividad antioxidante podría deberse a que la bacteria ácido láctica pueda degradar algunos compuestos fenólicos que producen compuestos que aumente la actividad antioxidante.

Capacidad antioxidante Poder Antioxidante/Reducción Férrica (FRAP)

En la tabla 5 se muestra la capacidad antioxidante por el método FRAP, se puede observar que el polvo de té verde matcha tiene un contenido de 291 µmol Eq Trolox/ 100 mL, el jugo de piña 3.85 µmol Eq Trolox/ 100 mL. Observando que en las diferentes bebidas hay un incremento entre bebidas de 3.55 y 43.75% esto podría deberse a que el probiótico tiene buena sinergia con los compuestos de la bebida teniendo un aumento en la actividad antioxidante conforme el aumento del probiótico a la bebida.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 5. Capacidad antioxidante por el método FRAP de las bebidas

Muestra	µmol Eq Trolox/ 100 mL
T1 (0.9% t.m. 1% *L.a.*)	8.95 ± 1.78[b]
T2 (0.9% t.m. 1.5% *L.a.*)	9.28 ± 2.32[b]
T3 (0.9% t.m. 2% *L.a.*)	16.50 ± 0.21[b]

Todos los valores se expresan como la media ± desviación estándar. Medias con letras distintas en la misma columna significan diferencia estadística significativa mediante la prueba de Fisher ($p<0.05$). µmol. eq trolox: micromol equivalentes de Trolox, t.m: té matcha, *L.a: Lactobacillus acidophillus*.

Los antioxidantes actúan rápidamente, siendo probablemente los más eficientes aquellos compuestos que muestran una mayor reducción de Fe (III) al comienzo de la reacción, este método nos permite medir la capacidad antioxidante con un amplio rango de diluciones de jugos.

Análisis microbiológico

El crecimiento de microrganismos indeseables puede estropear el producto y provocar enfermedades transmitidas por los alimentos que afecten al consumidor. Es obligatorio realizar análisis microbiológicos en productos a base de probióticos para evaluar su seguridad. En la tabla 6 se muestra el análisis microbiológico de las bebidas con jugo de piña, polvo de té matcha (0.9%) y probiótico encapsulado (1, 1.5 y 2%) durante 14 días de almacenamiento, se puede observar que no presentó carga microbiana en las diferentes concentraciones de polvo de té matcha y probiótico encapsulado, esto puede ser atribuido a la acidez y bajo pH causado por el jugo de piña que contiene ácido cítricos, málico, succínico y propiónico, fibra dietaría, polifenoles y aceites esenciales, estos últimos se utilizan como conservadores naturales debido a su amplio espectro de actividades biológicas, incluidos los efectos antimicrobianos y antioxidantes, así mismo al polvo de té matcha ya que se ha comprobado que ejerce un efecto antimicrobiano además de que el probiótico se encuentra encapsulado. Estos resultados indican que las condiciones bajo las cuales se procesó la bebida y su posterior almacenamiento cumplen con los requerimientos que la NOM-130-SSA1-1995 estipula para las bebidas a base de jugos (tabla 6) donde se muestra que en las formulaciones hay ausencia de mesófilos aerobios, mohos y levaduras por lo que son seguros para ser consumidos. Orizaga et al., 2020 evaluó la carga microbiana de una bebida de jugo de naranjita y té matcha no encontrando presencia de mesófilos, coliformes totales, hongos y levaduras, a la atribuido a la función de los compuestos fenólicos, tanto del jugo de naranjita como el té matcha el cual pueden actuar en forma individual o sinérgico.

Tabla 6. Recuento de microorganismos indeseables en las bebidas elaboradas durante 14 días de almacenamiento a 4 ± 1 ° C.

Microorganismos	Tratamientos	Tiempo (días)			Límites máximos (UFC/g)
		1	7	14	
Mesófilos aerobios	0.9%-t.m-1%-*L. a*	--	--	--	100
Mohos	0.9%-t.m-1.5%-*L. a*	--	--	--	
Levaduras	0.9%-t.m-2%-*L. a*	--	--	--	25

Todos los valores se expresan como la media ± desviación estándar. Sin presencia (--)

Trabajos a futuro

Realizar la cuantificación de los compuestos fenólicos, actividad antioxidante por 1, 7, 14 y 21 días de almacenamiento, así como un incremento en el porcentaje del polvo de té matcha (0.9, 1.3 y 1.4%), cuantificación de vitamina C y una evaluación sensorial.

 ISSN: 2007 8102

Conclusión

El contenido de polifenoles totales disminuye en las bebidas obtenidas en comparación con lo determinado en la materia prima polvo de té matcha y jugo de piña, esta reducción podría atribuirse a las condiciones de pasteurización utilizadas. La actividad antioxidante determinada en las bebidas por los diferentes métodos (FRAP, ABTS•+) se ve favorecida conforme se incrementa el porcentaje de *Lactobacillus acidophillus*, en cuanto al análisis microbiológico se pudo observar que no hubo presencia de mesófilos aerobios, mohos y levaduras durante 14 días de almacenamiento. Por tal motivo es importante establecer que a los 14 días de almacenamiento resulta suficiente para conservar una bebida inocua y estable fisicoquímicamente. Los resultados expresan que el desarrollo de la bebida funcional a base de jugo de piña-polvo de té matcha y *Lactobacillus acidophillus* es un alimento que puede aportar compuestos antioxidantes al consumidor.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) y al Instituto Tecnológico de Tuxtepec, por su apoyo para la realización de este proyecto de investigación.

Referencias

[1] G. Gallego and W. J. Salminen,” Novel probiotics and prebiotics: How can they help in human gut microbiota dysbiosis” Applied Food Biotechnology 3(2), 72-81, 2019.
[2] T. Koláčková, K. Kolofiková, I. Sytařová, L. Snopek, D. Sumczynsk and J. Orsavová. “Matcha Tea: Analysis of Nutritional Composition, Phenolics and Antioxidant Activity” Plant Foods for Human Nutrition 75(1), 48-53, 2020. [3] D. Charalampopoulos, S.S. Pandiella and C. Webb, “Application of cereals and cereal components in functional foods: A review”. International Journal of Food Microbiology, 79: 131-141 2018.
[3] D. Charalampopoulos, S.S. Pandiella and C. Webb, “Application of cereals and cereal components in functional foods: A review”. International Journal of Food Microbiology, 79: 131-141 (2018).
[4] F. Ortakci and S. Sert, “Stability of free and encapsulated Lactobacillus acidophilus ATCC 4356 in yogurt and in an artificial human gastric digestion system”. Journal og Dairy Science Vol.95 No. 12, 2017.
[5] BANCOMEXT, “Norma de calidad para piña fresca”. CIAD, A.C. Tecnología de alimentos de origen vegetal, 1999.
[6] K. Pérez, M. Vivar, J. Rodríguez, E. Paz. “Effect of a multi-polymeric compound on the coencapsulation of Lactobacillus reuteri exposed to high temperaturas”. Advances and Perspectives in Biotechnology and Agricultural Sciences, 31-49, 2016.
[7] Montreau, F. Sue le dosaje des composés phénoliques totaux dans les vins par la méthode Folin-Ciocalteu. Journal international des science de la vigne et du vin. 6(4). 397-404. https://doi.org/10.20870/oeno-one, 1972.
[8] J. H. Lane and L. Eynon. “Volumetric determination of reducing sugars by means of Fehling's solution, with methylene blue as internal indicator”, IS1 XXV: 143-149, 2005.
[9] Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice-Evans, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine, 26, 1231–1237, 1999.
[10] Pulido, R., Bravo, L. & Saura-Calixto, F. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48, 3396–3402, 2000.
[11] NOM-130-SSA1-1995. Norma Oficial Mexicana NOM-130-SSA1-1995, Bienes y servicios. Alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico, 1995.
[12] Sang, S., Lambert, J. D., Ho, C. T., y Yang, C. S. The chemistry and biotransformation of tea constituents. Pharmacological research, 64(2), 87-99 2020

 ISSN: 2007 8102

Validación de un Modelo Matemático para un Concentrador Solar Cilindro-Parabólico de Flujo en Dos Fases

Alejandro Torres Aldaco[1], Raúl Lugo Leyte[2], Marco A. Polo Labarrios[3], Heriberto Sánchez Mora[4,*]
[1]Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, ata@xanum.uam.mx, [2]Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, lulr@xanum.uam.mx, [3]Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, mpolo@xanum.uam.mx , [4]Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, hsam@xanum.uam.mx

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

El modelado matemático es una excelente manera de representar la realidad en sus conceptos más simples, útil para el diseño y representa un ahorro excesivo de tiempo y recursos de trabajo experimental. En el presente trabajo se muestra un modelo para un concentrador solar cilindro-parabólico para flujo en dos fases que tiene la capacidad de ser evaluado de forma transitoria. Tomando en cuenta un modelo de parámetros distribuidos, el modelo es validado con datos experimentales, los cuales exhiben la capacidad del modelo en predecir la temperatura del fluido y la caída de presión dadas diferentes condiciones de operación, con una diferencia máxima entre el modelo y los valores experimentales de 6.45 % con respecto a la temperatura; y para la diferencia máxima de presión a la salida del concentrador una diferencia fue de 2.02%.

***Palabras clave**: Concentrador solar Cilíndrico-Parabólico, Flujo en dos fases, Caída de Presión, Termosolar.*

Abstract

Mathematical modeling is an excellent way to represent reality in its simplest concepts, useful for design and excessive savings in experimental analysis. This paper shows a model for a parabolic-trough solar concentrator for flow in two phases that has the capacity to be evaluated in a transitory way. Taking into account a distributed parameter model, the model is validated with experimental data, which exhibit the model's ability to predict fluid temperature and pressure drop given different operating conditions, with a maximum difference between the model and the experimental values of 6.45 % with respect to temperature; and for the maximum pressure difference at the outlet of the concentrator, a difference was 2.02%.

***Key words**: Parabolic-trough solar concentrator, Two-phase flow, Pressure Drop, Thermosolar.*

Introducción

El combate al cambio climático y sus efectos negativos al ambiente requiere de acciones urgentes a nivel mundial para alcanzar el objetivo de evitar el aumento de la temperatura global en 2°C con respecto a niveles pre-industriales. Actualmente, se sabe que los riesgos que implica un aumento de temperatura en 2°C son muchos mayores comparados con los riegos debidos a un aumento de 1.5 ° C; por lo tanto, se debería de tener como meta un aumento máximo de 1.5°C. Para alcanzar este objetivo, se requiere un cambio de tecnología radical, en los siguientes 30 años, que permita la transición mundial hacia una economía basada en la descarbonización.

Las fuentes renovables de energía podrían ser una solución; de hecho, están llamando fuertemente la atención de diversos grupos de investigadores a nivel mundial [1]. La energía solar es la fuente de energía renovable más abundante a nivel mundial, además es limpia y fiable. Las tecnologías que aprovechan el recurso solar una vez integradas a los sistemas de generación y consumo de energía pueden ser parte de una solución sostenible a largo plazo para mitigar los efectos negativos derivados del uso de combustibles de origen fósil, el cual se da para satisfacer la creciente demanda de energía ocasionada por el aumento de la población a nivel mundial [2].

Básicamente, se puede aprovechar la energía solar para producir electricidad, mediante tecnología fotovoltaica, y para producir calor, mediante colectores solares. Los colectores solares se pueden clasificar en concentradores y no concentradores. Este trabajo se enfoca a los colectores solares concentradores. Con los colectores solares de tipo concentradores es posible obtener temperaturas más elevadas en los fluidos caloportadores, en comparación con los no concentradores; de hecho, es posible obtener trabajo mecánico si se concentra lo suficiente la radiación solar que incide sobre la superficie del captador para posteriormente generar energía eléctrica. Por lo tanto, los colectores solares de tipo concentradores tienen múltiples aplicaciones en los sectores: industrial y doméstico, así como en la ciencia y en la ingeniería [3–5].

El modelado matemático de los concentradores solares de cilindro parabólico es una herramienta importante para analizar los procesos de transferencia de calor y optimizar su funcionamiento, maximizando su desempeño térmico, óptico e hidráulico [6]. Con los modelos matemáticos y la simulación se pueden realizar análisis económicos, confiables y rápidos; adicionalmente, permiten enfocarse en aspectos que pueden ser complejos o peligrosos de determinar mediante la experimentación. Para operaciones donde se tiene cambio de fase y, por lo tanto, flujo bifásico la mayoría de los modelos desarrollados en la literatura son unidimensionales o tienen múltiples simplificaciones; como consecuencia, el modelo no ofrece una estimación aceptable de pérdidas de calor y de la fracción volumétrica de vapor [7]; es decir, los modelos no abordan de forma rigurosa el cambio de fase del fluido caloportador dentro del tubo absorbedor. Los modelos tridimensionales existentes de concentradores solares de cilindro parabólico se han implementado en software tipo CFD (Computational Fluid Dynamics) (por ejemplo, [7–10]). Si bien los CFD ofrecen ventajas, también presenta inconvenientes como la demanda de grandes recursos computacionales para realizar las simulaciones y el tiempo de ejecución que éstas pueden requerir. Por lo tanto, es necesario desarrollar modelos matemáticos de amplia aplicación para el análisis del desempeño/sensibilidad de la generación directa de vapor. Con el objetivo de analizar el comportamiento dinámico de la temperatura, calidad y presión del fluido caloportador a través del tubo absorbedor y de la longitud del sistema, en este trabajo se desarrolla un modelo matemático en estado transitorio que considera cuatro ecuaciones, que representan el transporte de momento, calor y masa, para cada fase del fluido de trabajo, y una ecuación de la conducción de calor en la pared del tubo absorbedor del concentrador solar, así como la temperatura del vidrio alrededor del tubo absorbedor. Este modelo predice el calentamiento del agua, el cambio de fase y el sobrecalentamiento a medida que fluye a través del tubo absorbedor; el modelo se valida con las condiciones de operación del experimento DISS Project [11]. Además los resultados son comparados con resultados obtenidos por CFD [11].

Metodología

Modelo Matemático

En esta sección se presenta el desarrollo del modelo matemático dinámico para describir el comportamiento del flujo bifásico. Este modelo consiste en cuatro ecuaciones que representan el transporte de momento, el transporte de calor, y el transporte de masa para cada fase del fluido de trabajo, bajo la consideración de flujo unidimensional y transitorio de una mezcla homogénea; así y de una ecuación para describir la transferencia de calor en la pared del tubo absorbedor del concentrador solar, tomando en cuenta los efectos de transferencia de calor por convección, y las pérdidas de calor por el tubo absorbedor por emisión de radiación.

Flujo en dos fases

Las Ecs. (1-4) es un sistema de ecuaciones acopladas para la descripción de un flujo en dos fases [12]. La Ec. (1) representa la ecuación de conservación de momento, la Ec. (2) es la ecuación de transporte de energía por el fluido, la Ecs. (3,4) son las ecuaciones de continuidad para la fase vapor y la fase líquida, respectivamente.

$$\frac{\partial G_m}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{G_m^2}{\rho_m}\right)=-\frac{\partial p}{dz}-f\,\frac{G_m|G_m|}{2\rho_m D_h} \tag{1}$$

$$\rho_m \frac{\partial h_m}{\partial t} + G_m \frac{\partial h_m}{\partial z} = \frac{q'' P_w}{A_f} + \frac{G_m}{\rho_m}\left(f \frac{G_m |G_m|}{2\rho_m D_h} + \frac{dp}{dz} \right) \tag{2}$$

$$\frac{\partial(\rho_v \alpha)}{\partial t} + \frac{\partial(G_m x)}{\partial z} = \Gamma_v \tag{3}$$

$$\frac{\partial(\rho_l [1-\alpha])}{\partial t} + \frac{\partial(G_m [1-x])}{\partial z} = \Gamma_l \tag{4}$$

donde G_m es el flux de masa de la mezcla homogénea, ρ_m es la densidad de la mezcla, ρ_l es la densidad del líquido, ρ_v es la densidad del vapor, p es la presión, f es el coeficiente de fricción, D_h es el diámetro hidráulico, h_m es la entalpía de la mezcla, q'' es la potencia por unidad de área transferida entre el fluido y la pared de contacto, P_h es el perímetro mojado, α es la fracción de vacíos, x es la calidad del vapor, Γ_v es generación de masa de vapor por unidad de volumen, Γ_l es generación de masa de líquido por unidad de volumen, A_f es el área de flujo, z es la componente axial espacial y t es el tiempo.

Caída de presión por fricción

Para calcular el coeficiente de fricción para el flujo monofásico, se aplica la correlación de Blasius [13],

$$f = 0.316\,\mathrm{Re}^{-0.25} \tag{5}$$

donde, Re es el número de Reynolds, el cual se describe como,

$$\mathrm{Re} = \frac{G_m D_h}{\mu} \tag{6}$$

donde μ es la viscosidad del fluido. El factor de corrección, ϕ^2, para el coeficiente de fricción para flujo en dos fases se determina con la correlación de Friedel [14]. Ésta se expresa como,

$$f = f_B \phi^2 \tag{7}$$

donde f_B es el coeficiente de fricción de Blasius (Ec. 5) [13], y, el coeficiente de corrección está dado por,

$$\phi^2 = E + \frac{3.24\,F\,H}{\mathrm{Fr}^{0.045}\mathrm{We}^{0.0334}} \tag{8}$$

donde, Fr y We, son los números Froud y Weber, respectivamente, y son calculados como,

$$\mathrm{Fr} = \frac{G_m^2}{g D_h \rho_l^2} \tag{9}$$

$$\mathrm{We} = \frac{G_m^2}{\rho_l \sigma_s} \tag{10}$$

donde, g es la aceleración de la gravedad, σ_s es la tensión superficial. Los demás coeficientes se determinan de la siguiente forma,

 ISSN: 2007 8102

$$E = (1-x)^2 + x^2\left(\frac{\rho_l}{\rho_v}\right)\left(\frac{f_v}{f_l}\right) \tag{11}$$

$$F = x^{0.78}(1-x)^{0.224} \tag{12}$$

$$H = \left(\frac{\rho_l}{\rho_v}\right)^{0.91}\left(\frac{\mu_v}{\mu_l}\right)^{0.19}\left(1-\frac{\mu_v}{\mu_l}\right)^{0.7} \tag{13}$$

f_l y f_v son los coeficientes por fricción de la fase líquida y vapor del fluido, respectivamente, que para un flujo estratificado (Re > 1055) éstos están dados por [15],

$$f_{l/v} = \left[0.86859\ln\left(\frac{\mathrm{Re}}{1.964\ln(\mathrm{Re})-3.8215}\right)\right]^{-2} \tag{14}$$

Los subíndices *l*/*v* denota la aplicación para la fase vapor o líquida.

De lo anterior, la caída de presión por fricción se define como

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{fric} = f\frac{G_m^2}{2\rho_m D_h} \tag{15}$$

Coeficiente de transferencia de calor

El flux de calor entre el tubo absorbedor y el fluido está modelada por,

$$q'' = h_c(T_t - T_m) \tag{16}$$

donde T_t es la temperatura del tubo absorbedor que está en contacto con fluido, q'' es el flux de calor, y h_c es el coeficiente de transferencia de calor por convección. Para flujo monofásico se emplean las siguientes correlaciones:

Flujo en una fase

Correlación de McAdams, Re < 2300 [16],

$$h_c = 4.36\frac{k}{D_h} \tag{17}$$

Correlación de Pethukov [17], 2300 <Re <10000,

$$h_c = \left[\frac{0.125\,\mathrm{Re}\,\mathrm{Pr}^{1/3}}{(0.79\ln\mathrm{Re}-1.64)^2}\right]\frac{k}{D_h} \tag{18}$$

Correlación de Dittus-Boltter [18], Re > 10000,

$$h_c = \left(0.023\,\mathrm{Re}^{0.8}\,\mathrm{Pr}^{0.4}\right)\frac{k}{D_h} \tag{19}$$

donde, Pr es el número de Prantl y *k* es la conductividad térmica del fluido.

Flujo en dos fases

Para flujo en condiciones de ebullición nucleada y ebullición sub-enfriada, se aplica la correlación de Chen [19]. Dicha correlación considera la contribución, de cada una de las fases en el coeficiente de transferencia de calor. De forma general, el flux de calor en este régimen se modelada de la siguiente manera,

$$q'' = h_{cl}\left(T_t - T_m\right) + h_{cv}\left(T_t - T_{sat}\right) \tag{20}$$

donde h_{cl} es el coeficiente de transferencia de calor proveniente de la fase líquida, y h_{cv} es el coeficiente de transferencia de calor de la fase vapor.

Ebullición nucleada

En este régimen de transferencia de calor se entiende, que la temperatura del fluido es igual a la temperatura de saturación. La contribución para el coeficiente de transferencia de calor en la fase líquida está dada por,

$$h_{cl} = 0.023\left[\frac{G_m\left(1-x\right)D_h}{\mu_l}\right]\mathrm{Pr}^{0.4}\,\frac{k_l}{D_h}F_c \tag{21}$$

donde, F_c es un factor de corrección, y se expresa de la siguiente manera,

$$F_c = 1, \qquad \frac{1}{X} < 0.1 \tag{22}$$

$$F_c = 2.35\left(0.213 + \frac{1}{X}\right)^{0.736}, \qquad \frac{1}{X} > 0.1 \tag{23}$$

donde, *X* es el parámetro de Lockhart y Martinelli [20],

$$\frac{1}{X} = \left(\frac{x}{1-x}\right)^{0.9}\left(\frac{\rho_l}{\rho_v}\right)^{0.5}\left(\frac{\mu_v}{\mu_l}\right)^{0.1} \tag{24}$$

La contribución de la fase vapor se expresa por la siguiente ecuación,

$$h_{cv} = S\left(0.00122\right)\left[\frac{k_l^{0.79}Cp_l^{0.45}\rho_l^{0.49}}{\sigma_s^{0.5}\mu_l^{0.29}\lambda^{0.24}\rho_v^{0.24}}\right]\left(T_t - T_{sat}\right)^{0.24}\left(p_{sat}\big|_{T_t} - p_{sat}\big|_{T_{sat}}\right)^{0.75} \tag{25}$$

donde, *Cp* es el calor especifico a presión constante, *λ* es la entalpía de cambio de fase, y *S* es el factor de supresión, y se determina por,

$$S = \frac{1}{1 + 2.53\times10^{-6}\,\mathrm{Re}_s^{\,1.17}} \tag{26}$$

$$\mathrm{Re}_s = \mathrm{Re}\, F_c^{1.25} \tag{27}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{G_m (1-x) D_h}{\mu_l} \tag{28}$$

Ebullición sub-enfriada

Para este caso, se realiza el mismo procedimiento que el mostrado para ebullición nucleada, tomando F_c=1 y, S se calcula para una calidad igual a cero [21].

Transferencia de calor en el tubo absorbedor

La conducción de calor a través del tubo absorbedor se modela de forma unidimensional en componente radial, y de forma transitoria mediante la siguiente ecuación,

$$(\rho Cp)_t \frac{\partial T_t}{\partial t} = k_t \frac{\partial}{\partial r}\left(r \frac{\partial T_t}{\partial r} \right) \qquad r_{in} \le r \le r_{out} \tag{29}$$

donde r, es la componente radial, ρCp es el producto de la densidad y el calor especifico a presión constante, el subíndice t asocia la propiedad al tubo absorbedor, y los subíndices *in* y *out* asocian el radio interno y externo, respectivamente. En un sistema nodalizado axialmente, la Ec. (29) es aplicada para cada nodo axial, es decir, se considera que la transferencia de calor en la componente radial tiene mucho mayor impacto que en la componente axial del tubo. Las condiciones de frontera de la Ec. (29) toman en cuenta la convección con el fluido en el radio interno del tubo; y en el radio externo se considera el calor recibido por la radiación solar y las pérdidas de calor por la emisión de radiación del tubo. Dichas condiciones se establecen en las Ecs. (30-31),

$$k_t \left.\frac{\partial T_t}{\partial r}\right|_{r=r_{in}} = h_c \left(T_t\big|_{r=r_{in}} - T_m \right) \tag{30}$$

$$-k_t \left.\frac{\partial T_t}{\partial r}\right|_{r=r_{out}} = q_i - q_{loss} \tag{31}$$

donde, q_i es la radiación concentrada del espejo reflector al tubo absorbedor y q_{loss} es la radiación emitida por el tubo absorbedor. Éstas se expresan como,

$$q_i = \frac{A_m \hat{\rho}}{2\pi r_{out} L_t} q_{solar} \tag{32}$$

$$q_{loss} = \frac{\sigma\left(T_t^4\big|_{r_{out}} - T_g^4 \right)}{\frac{1}{\varepsilon_t} + \frac{r_{in,g}}{r_{out}} \frac{(1-\varepsilon_g)}{\varepsilon_g}} \tag{33}$$

donde, A_m es el área efectiva del espejo reflector, $\hat{\rho}$ es la reflectividad del espejo, L_t es la longitud del espejo, q_{solar} es la radiación solar normal a los espejos, σ es la constante de Stefan-Boltzmann, ε es la emisividad de radiación, $r_{in,g}$ es el radio interno del tubo de vidrio, y T_g es la temperatura del tubo de vidrio.

Para determinar la temperatura del tubo de vidrio se establece un balance de energía entre el calor que es absorbido por tubo de vidrio que es calor perdido por el tubo absorbedor y el calor perdido por convección debido al aire circundante del ambiente. Este balance se realiza por cada nodo axial, y el cual resulta como,

$$\left(\rho Cp\right)_g \frac{dT_g}{dt} = \frac{2}{r_{out,g}^2 - r_{in,g}^2}\left[r_{in,g} q_{loss} - r_{out,g} h_{am}\left(T_g - T_{am}\right)\right] \tag{34}$$

donde $r_{out,g}$ es el radio externo del tubo de vidrio, el subíndice *g* hace alusión a las propiedades del vidrio, y el subíndice *am* relaciona las variables a las propiedades del ambiente.

Solución e implementación

Las Ecs. (1-2) son discretizadas de forma explícita, y se resuelven por el método de Runge-Kutta 4^{rto} orden. La Ec. (29) se discretiza de manera implícita, generando un sistema de ecuaciones lineales representadas por una matriz tridiagonal,

$$a_i T_{t_{i-1}} + b_i T_{t_i} + c_i T_{t_{i+1}} = d_i, \qquad i = 1, \cdots, n_r \tag{35}$$

donde *i* corresponde al nodo i-ésimo, y n_r corresponde a la cantidad de nodos radiales. El sistema de ecuaciones de la Ec. (35) es resuelto con el algoritmo de Thomas, para cada nodo axial del tubo absorbedor. La Ec. (34) es resuelta por el método de Euler hacia adelante para cada nodo axial del tubo absorbedor.

El modelo es implementado en el lenguaje de programación C++, donde la cantidad de nodos axiales son 70 y el número de nodos radiales son 6.

Modelo experimental

El modelo desarrollado se valida con los resultados obtenidos del proyecto DISS Project [11] que es un concentrador solar del tipo parabólico, en modo operativo de paso único. Las condiciones detalladas de la configuración y los resultados experimentales se muestran en las **Tablas 1** y **2**, respectivamente; en donde el flujo de agua, como fluido caloportador se somete a diferentes condiciones de operación: presión, temperatura de entrada, radiación y flujo. Los resultados reportados por este proyecto, puntualizan a la temperatura y presión del fluido en diferentes posiciones del tubo absorbedor.

Tabla 1. Configuración de DISS Project [11].

Parámetro	
Longitud del concentrador/ancho, (m)	500/5.76
Diámetro del tubo absorbedor: interno/externo, (m)	0.05/0.07
Diámetro del tubo de vidrio: interno/externo, (m)	0.119/0.125
Superficie total de espejos, (m^2)	2760
Eficiencia óptica, (%)	0.73

Tabla 2. Condiciones de operación de DISS Project [11].

Caso	P_{in} **(MPa)**	T_{in} **(°C)**	$\dot{m}$ **(kg s^{-1})**	q_{solar} **(W m^{-2})**
1	3.42 ± 0.06	205 ± 2	0.47 ± 0.05	822 ± 10
3	6.25 ± 0.06	239 ± 2	0.55 ± 0.05	971 ± 10
5	10.19 ± 0.06	237 ± 2	0.59 ± 0.05	960 ± 10

Resultados

La **Figura 1** muestra el proceso transitorio de calentamiento del absorbedor del concentrador bajo las condiciones de operación del Caso 1, alcanzando el estado estacionario alrededor de los 900 s de simulación.

 ISSN: 2007 8102

En la figura es posible observar que, una vez alcanzado el estado estacionario, en la región central del colector la temperatura se mantiene prácticamente constante, esto es atribuido a que el fluido se encuentra en un régimen de calentamiento de calor latente porque en esa región ocurre el cambio de fase del fluido, lo cual es constatado en la **Figura 2**, donde se muestra en cambio de la calidad en función de la posición del tubo así como el aumento de entalpía, además, se muestra el calor pérdido del tubo absorbedor en las diferentes regiones del colector, exhibiendo una pérdida entre 1905 Wm^{-2} y 1804 Wm^{-2} en la zona de ebullición, y un valor por encima de 2000 Wm^{-2} en la zona de sobrecalentamiento.

En la **Figura 3** se muestran las comparaciones con los valores de la temperatura y presión obtenidos experimentalmente. Las predicciones del modelo desarrollado en este trabajo para todo el lazo de concentradores, se muestran que las variaciones de temperatura y presión entre los resultados de la simulación y los resultados experimentales se encuentran dentro de los límites aceptables, al comparar los Casos 1, 3 y 5 presentados por [11]. En la **Figura 3** se muestra una buena concordancia con la temperatura de los resultados experimentales con las predicciones del modelo de los Casos 1 y 3; y para el Caso 5, la variación máxima de las temperaturas es de 6.45% en la región de 400 a 470 m, del mismo modo, se muestra que las variaciones de presión a la salida del sistema con respecto a los resultados experimentales son de 2.02% para el Caso 1; para el Caso 3, para una presión de trabajo cercana a 6 MPa, la diferencias de presión entre la experimental y la predicción del modelo es del 0.048%; y para el Caso 5 a una presión de trabajo aproximada a 10 MPa, la variación de la presión a la salida es de -0.14%. Para calcular dicho error, se aplicó la siguiente ecuación,

$$error = \frac{V_{sim} - V_{ex}}{V_{ex}} \times 100\% \tag{36}$$

donde V_{sim} es el valor obtenido por la simulación, y V_{ex} es el valor obtenido por el experimento.

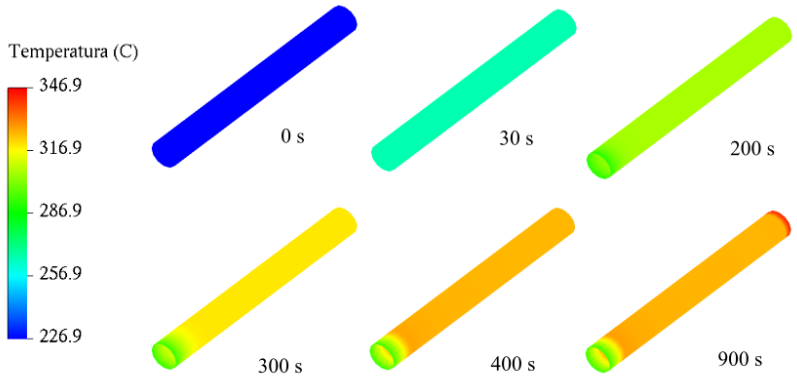


Figura 1. Calentamiento transitorio del tubo absorbedor con las condiciones de operación del Caso 1.

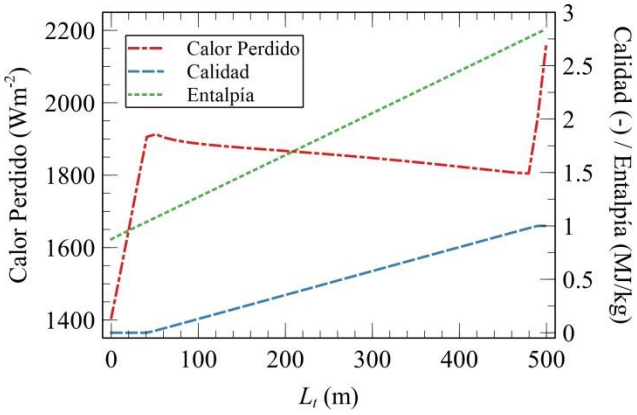


Figura 2. Calor perdido del concentrador, calidad y entalpída del fluido a través del tubo del colector solar del Caso 1.

 ISSN: 2007 8102

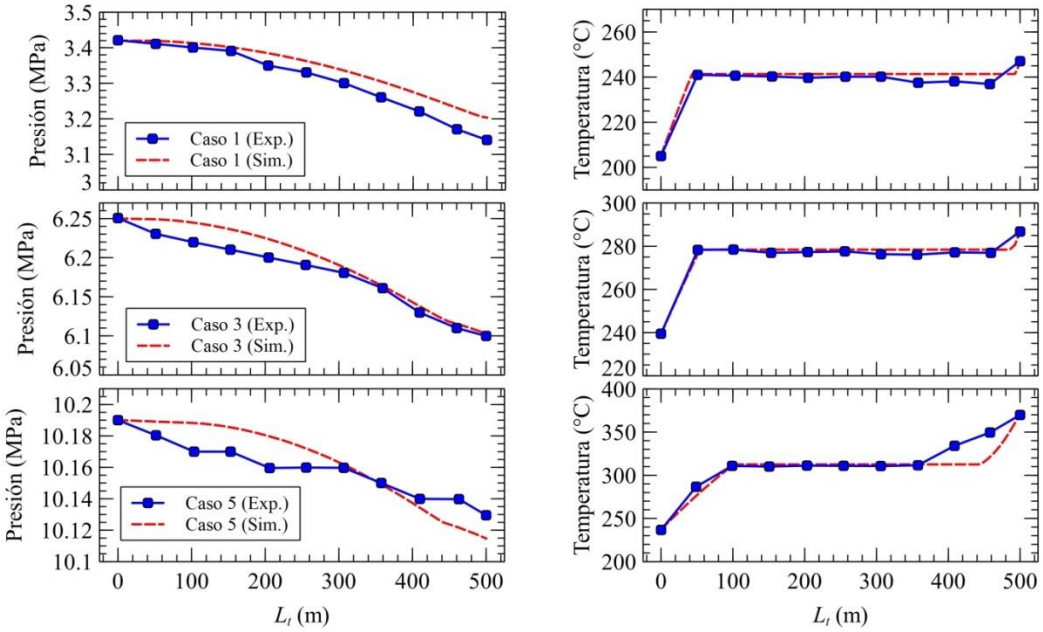


Figura 3. Validación del modelo desarrollado en este trabajo con los resultados, caída de presión y temperatura del fluido, experimentales del proyecto DISS [11].

Con lo reportado experimentalmente y lo obtenido por medio de la simulación, los resutlados son practimente marginales. Para constatar, en el trabajo de Lobón et al. [11], se realizó la simulación de este experimento mediante CFD, en la **Tabla 3** se comparan los resultados de Lobón et al. [11] con lo reportado experimentalmente, asimismo, lo obtenido en este trabajo, donde se muestran la presión a la salida del concentrador y las temperaturas en los casos seleccionados. En la **Tabla 3**, se muestra que los errores con respecto a la experimentación, tanto la utilización de CFD como un modelo unidimensional y transitorio, muestran errores relativamente bajos para la simulación de flujo en dos fases.

Tabla 3. Error de resultados experimentales con el presente trabajo y simulación con CFD [11].

Caso		Presión a la salida (error %)	Temperatura de salida (error %)
1	Lobón et al. [11]	0.7	0.49
	Presente Trabajo	2.02	-0.32
3	Lobón et al. [11]	0.18	-0.38
	Presente Trabajo	0.048	-0.01
5	Lobón et al. [11]	0.05	-1.03
	Presente Trabajo	-0.14	0.44

Conclusiones

El modelo desarrollado para concentradores solares del tipo cilindro-parabólico hace énfasis en el flujo en dos fases, y presentó una aceptable reproducción del experimento DISS Project [11] para los Casos 1, 3 y 5. En cada caso, se compararon los resultados obtenidos en el perfil de temperatura y la presión del fluido a través tubo absorbedor, con una diferencia máxima entre el modelo y los valores experimentales de 6.45 % para el Caso 5 con respecto a la temperatura; y para el Caso 1, en la presión a la salida del concentrador, la diferencia fue de 2.02%, lo anterior corresponde a un resultado cualitativa y cuantitativamente aceptable. Esto refleja que, para términos prácticos de análisis y de simulación agilizada, la consideración de un flujo homogéneo y unidimensional es útil en términos ingenieriles. Con base a lo anterior, el modelo tiene la capacidad de ser

 ISSN: 2007 8102

evaluado de forma transitoria, mostrando así la evolución de los parámetros en un sistema dinámico, ya que la fuente solar para estos sistemas es una fuente variable en función de las horas del día. La comparación del presente modelo y lo obtenido de la utilización de código CFD [11] en la evaluación de los datos experimentales no mostró una diferencia significativa en ambos casos en cuanto al error, por lo que se muestra la capacidad del presente modelo de predecir la presión y temperatura a la salida del cocentrador solar.

Referencias

[1] S.F. Moosavian, D. Borzuei, A. Ahmadi, Energy, exergy, environmental and economic analysis of the parabolic solar collector with life cycle assessment for different climate conditions, Renew. Energy. 165 (2021) 301–320. doi:10.1016/J.RENENE.2020.11.036.
[2] S.K. Sansaniwal, V. Sharma, J. Mathur, Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: A comprehensive review, Renew. Sustain. Energy Rev. 82 (2018) 1576–1601. doi:10.1016/J.RSER.2017.07.003.
[3] W. Fuqiang, C. Ziming, T. Jianyu, Y. Yuan, S. Yong, L. Linhua, Progress in concentrated solar power technology with parabolic trough collector system: A comprehensive review, Renew. Sustain. Energy Rev. 79 (2017) 1314–1328. doi:10.1016/j.rser.2017.05.174.
[4] M. Khana, T. Salahuddin, M. Awais, B. Al Alwan, Thermo-physical properties of fluid and gases near a solar rough rotating disk, Waves in Random and Complex Media. (2022). doi:https://doi.org/10.1080/17455030.2022.2070685.
[5] H. Price, E. Lüpfert, D. Kearney, E. Zarza, G. Cohen, R. Gee, R. Mahoney, Advances in parabolic trough solar power technology, J. Sol. Energy Eng. Trans. ASME. 124 (2002) 109–125. doi:10.1115/1.1467922.
[6] S. Thappa, A. Chauhan, Y. Anand, S. Anand, Analytical comparison of two distinct receiver tubes of a parabolic trough solar collector system for thermal application, Mater. Today Proc. 28 (2020) 2212–2217.
[7] A. Najafi, A. Jafarian, A. Arabkoohsar, A thorough three-dimensional simulation of steam generating solar parabolic trough collectors, a benchmark of various methods' accuracy, Sustain. Energy Technol. Assessments. 47 (2021) 101456. doi:10.1016/J.SETA.2021.101456.
[8] S.E. Ghasemi, A.A. Ranjbar, Effect of using nanofluids on efficiency of parabolic trough collectors in solar thermal electric power plants, Int. J. Hydrogen Energy. 42 (2017) 21626–21634. doi:10.1016/J.IJHYDENE.2017.07.087.
[9] M. Siavashi, M. Vahabzadeh Bozorg, M.H. Toosi, A numerical analysis of the effects of nanofluid and porous media utilization on the performance of parabolic trough solar collectors, Sustain. Energy Technol. Assessments. 45 (2021) 101179. doi:10.1016/J.SETA.2021.101179.
[10] R. Kumar Pal, K. Ravi Kumar, Two-fluid modeling of direct steam generation in the receiver of parabolic trough solar collector with non-uniform heat flux, Energy. 226 (2021) 120308. doi:10.1016/J.ENERGY.2021.120308.
[11] D.H. Lobón, E. Baglietto, L. Valenzuela, E. Zarza, Modeling direct steam generation in solar collectors with multiphase CFD, Appl. Energy. 113 (2014) 1338–1348. doi:10.1016/j.apenergy.2013.08.046.
[12] N.E. Todreas, M.S. Kazimi, Nuclear Systems I: Thermal Hydraulic Fundamentals, Hemisphere Publishing Corporation, USA, 1990.
[13] R.B. Bird, W.E. Stewart, E.N. Lightfoot, Transport Phenomena, Wiley, 1924.
[14] L. Friedel, Improved friction pressure drop correlation for horizontal and vertical two-phase pipe flow, European Two-phase Flow Group Meeting Paper E2, spra, Italy, 1979.
[15] L. Wang, J. Sun, Z. Zhang, J.J. Wei, A trans-dimensional multi-physics coupled analysis method for direct-steam-generation parabolic-trough loop, Appl. Therm. Eng. 193 (2021) 117011. doi:10.1016/j.applthermaleng.2021.117011.
[16] J.R. Sellars, M. Tribus, J.S. Klein, Heat transfer to laminar flow in a round tube or flat conduit : the Graetz problem extended. WADC Technical Report 54-255, 1954.
[17] B.S. Pethukov, Heat Transfer and friction in turbulent pipe flow with variable physical properties, Adv. Heat Transf. 6 (1970) 504–564.
[18] F.W. Dittus, L.M.K. Boelter, Heat Transfer in Automobile Radiators of the Tubular Type, Int. Commun. Heat Mass Transf. 12 (1985) 3–22.
[19] J.C. Chen, A Correlation for Boiling Heat Transfer or Saturated Fluids in Convective Flow, ASME Pap. 63-HT-34. (1963).
[20] R.W. Lockhart, R.. Martinelli, Proposed correlation of data for isothermal two-phase, two component flow in pipes, Chem. Eng. Prog. 45 (1949) 39–48.
[21] J.G. Collier, J.R. Thome, Convective Boiling and Condensation, 3rd ed., New York: Oxford, 1994.

 ISSN: 2007 8102

Bioaumentación mejorada con biosurfactante de suelo contaminado con petróleo

*Yuridia Evelin Hernández Cardeño[1], *Marcia Eugenia Ojeda-Morales[2], Ana Laura Severo Domínguez[3], , Sulma Guadalupe Gómez Jiménez[4], Claudia Ponce Sánchez[5]*

[1]División Académica de Ingeniería y Arquitectura UJAT, evelin.hernandez@ujat.mx
[2]División Académica de Ingeniería y Arquitectura UJAT, marcia.ojeda@ujat.mx
[3]División Académica de Ingeniería y Arquitectura UJAT, ana.severo@ujat.mx
[4]División Académica de Ingeniería y Arquitectura UJAT, sgomez@ujat.mx
[5]División Académica de Ingeniería y Arquitectura UJAT, claudia.ponce@ujat.mx

**Autor para correspondencia*

***Área de participación**: Ingeniería química*

Resumen

En este trabajo se propone la bioaumentación mejorada con biosurfactante de suelo Fluvisol éutrico en Cunduacán, Tabasco, México. En la muestra de suelo se encontraron cinco cepas fúngicas, de las cuales H1 mostró crecimiento en medio sólido y medio líquido suplementado con petróleo. La cepa H1, identificada como *A. terreus*, fue cultivada en un biorreactor para obtener el biosurfactante. Posteriormente se realizó un ensayo de biorremediación, en el que la tierra contaminada con hidrocarburos totales de petróleo (HTP) fue tratada con la cepa fúngica además del biosurfactante. Después de 30 días, se cuantifico solo 24% de las HTP iniciales en el sistema tratado con el hongo más el biosurfactante. El grado de remoción de los sistemas de referencia (hongo solo y hongo más biosurfactante comercial) fue menor. Es decir, la biorremediación fue más eficaz utilizando el método de bioaumentación mejorada con biosurfactante.

***Palabras clave**: bioaumentación, A. terreus nativo, biosurfactante, biorremediación*

Abstract

In this work a bioaugmentation method enhanced with biosurfactant of Eutric Fluvisol soil in Cunduacan, Tabasco is proposed. Among five fungal strains found from the soil sample, H1 strain was chosen given its performance in oil-supplemented solid and liquid media culture. The H1 strain, identified as A. terreus, was cultured in a bioreactor to produce the biosurfactant. Then, a bioremediation experiment was performed with soil contaminated with petroleum total hydrocarbons (PTH). The contaminated soil was treated with the H1 strain plus the biosurfactant. Other samples were treated with pure H1 strain and H1 strain plus commercial biosurfactant. After 30 days, only 24% of initial PTH remained in the soil treated with H1 strain plus biosurfactant. The PTH quantification was higher in the reference systems (H1 alone or H1 plus commercial biosurfactant) indicating a lower removal efficiency. Thus, the bioaugmentation method enhanced with the biosurfactant proved to be a more effective approach for bioremediation.

***Key words**: bioaugmentation, native A. terreus, biosurfactant, bioremediation*

Introducción

El petróleo sigue siendo la columna vertebral de la economía mundial y su extracción, purificación y distribución conlleva al riesgo inherente de contaminación por fugas o derrames. La problemática radica en la característica recalcitrante y altamente hidrofóbica del petróleo, lo que dificulta su biodegradación [1]. Por ello se requiere la implementación de métodos para restaurar los suelos y cuerpos de agua contaminados.

 ISSN: 2007 8102

En ocasiones, la flora comienza a utilizar los contaminantes como fuente de carbono, logrando la reducción o atenuación natural de los mismos. No obstante, este proceso puede mejorarse significativamente a través de la bioestimulación y la bioaumentación [2]. La bioestimulación se logra incorporando elementos que favorezcan el crecimiento de los microorganismos autóctonos. En cambio, la bioaumentación consiste en la introducción deliberada de consorcios microbianos externos para enriquecer la diversidad de la población y, por ende, aumentar el potencial de biorremediación. En este sentido, recientemente se ha sugerido incluir el uso de biosurfactantes como método de bioaumentación [3]. Estos compuestos tienen la capacidad de reducir la tensión superficial de los hidrocarburos presentes en el petróleo, lo que mejora su biodisponibilidad para los microorganismos degradadores [4]. Un ejemplo de esto es el trabajo de Pérez-Vargas *et al.* [5] quienes reportaron la bioaumentación de suelo contaminado con fenantreno y antraceno utilizando bacterias fijadoras de nitrógeno. Sus resultados demostraron la remoción de hasta 90% fenantreno y 98% de antraceno en el suelo tratado con una combinación del microorganismo más el biosurfactante. Joe et al. [6] utilizó este mismo enfoque para la recuperación de suelo contaminado con petróleo crudo, logrando una degradación de hasta 75% cuando se aplicó la bacteria *Shewanella sp*. más su correspondiente biosurfactante. Además de las bacterias, los hongos también poseen la capacidad de utilizar petróleo como fuente de carbono. Un beneficio adicional es su resistencia a condiciones extremas de pH y temperatura, así como su capacidad de extenderse gracias a sus filamentos [7]. Estas características hacen que los hongos sean una opción prometedora para la biorremediación. En este estudio, se propone llevar a cabo la bioaumentación de suelo Fluvisol éutrico utilizando hongos nativos, combinados con su biosurfactante correspondiente. Se espera que esta estrategia de biorremediación ayude a restaurar los suelos contaminados con petróleo de manera efectiva y sostenible.

Metodología

Obtención de muestra de suelo y análisis fisicoquímicos y biológicos

Las muestras se obtuvieron a partir de un suelo Fluvisol éutrico en Cunduacán, Tabasco (17º34'17'' latitud norte y 92º57'09'' longitud oeste) de acuerdo con lo establecido en el Apartado 6.1 de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNACT-2000 [8]. Se tomaron muestras a 30 cm de profundidad desde 4 puntos diferentes, obteniendo 18 kg de suelo; el material fue secado, triturado, molido y tamizado.

La caracterización fisicoquímica consistió en los análisis descritos a continuación. La humedad se midió siguiendo el método NMX-AA-052 de la NOM-138-SEMARNAT-2012 [9]. La textura, densidad aparente, densidad real y pH se midieron de acuerdo con los métodos AS-09, AS-03- AS-04 y AS-02 de la NOM-021-RECNAT-2000 [8]. Además, se midió la temperatura de la muestra con un termómetro de mercurio.

La densidad microbiana se determinó por la técnica de conteo en placa, utilizando agar papa y dextrosa (PDA) suplementado con rosa de bengala (0.05 g/L) como inhibidor bacteriano. Diez gramos de suelo se mezclaron con 90 mL de agua, a partir del cual se realizaron diluciones seriadas hasta 10^{-4}. Después, 0.1 mL de cada dilución fueron inoculados y distribuidos uniformemente en las cajas Petri preparadas previamente. Después de 72 h de incubación a 28°C, se cuantificó el número de colonias expresadas en la superficie de la caja. El resultado se reportó en unidades formadoras de colonia (UFC)/g de suelo seco. Este experimento se realizó por triplicado para cada dilución [10].

Aislamiento de cepas fúngicas

A partir del cultivo descrito anteriormente, se identificó visualmente los diferentes tipos de hongos. Con ayuda de un sacabocado (1 cm^3) se extrajo una muestra de cada hongo y se resembro en cajas Petri con PDA. Este procedimiento se realizó sucesivamente hasta obtener cultivos aislados (axénicos). Cada cultivo se describió en términos de su morfología, agrupación y color además de observar su crecimiento radial durante 18 días.

Selección de cepas fúngicas degradadoras de petróleo

Etapa I. El primer acercamiento para identificar las cepas fúngicas degradadoras de petróleo se realizó mediante un ensayo en medio sólido. Para ello una muestra del hongo (1 cm^3) se tomó del cultivo axénico, se resembro en una caja Petri con PDA y en la tapa de la caja se colocó papel filtro impregnado con petróleo crudo (1 cm^2). El crecimiento radial del hongo se observó por 18 días. El petróleo crudo utilizado fue destilado para eliminar las fracciones volátiles y obtener la fracción pesada (hidrocarburos de más de 7 carbonos), llamados desde ahora hidrocarburos totales de petróleo (HTP).

Etapa II. El crecimiento de las cepas fúngicas se evaluó en medio mineral líquido suplementado con petróleo como única fuente de carbono. Con ayuda de un asa de disección, se tomó una muestra de cada cultivo axénico,

 ISSN: 2007 8102

después la punta del asa fue sumergida en un tubo de ensayo con 5 mL de agua. Del tubo se tomó 1 mL de muestra y fue inoculado en 100 mL de medio mineral líquido. El crecimiento de las cepas fúngicas se cuantifico por el método de conteo en placa por 3 y 6 días.

Cinética de crecimiento y obtención del biosurfactante

Etapa III. La cepa con mejor adaptación al medio mineral líquido se cultivó en un biorreactor de 19 L con sistema de venteo y aireación. El medio de cultivo fue preparado a partir de: glucosa (10 g/L), $(NH)_2SO_4$ (1 g/L), $MgSO_4$ (0.5 g/L), KH_2PO_4 (0.875 g/L), K_2HPO_4 (0.125 g/L), $CaCl_2.H_2O$ (0.1 g/L), NaCl (0.1 g/L), $FeSO_4$ (0.001 g/L), $MnCl_2.4H_2O$ (0.05 g/L) y polipeptona (2 g/L). En la fase estacionaria el contenido del biorreactor se filtró para separar las fracciones líquida y sólida. El biosurfactante se obtuvo de la fracción líquida, haciendo extracciones con acetona y con cloroformo/metanol. Los solventes remanentes se eliminaron por evaporación.

Ensayo de biorremediación de suelo contaminado con petróleo

Para evaluar la capacidad de biorremediación de las cepas fúngicas se establecieron unidades de estudio *in vitro* utilizando muestras del suelo Fluvisol éutrico (Tabla 1). El suelo se contaminó con 63800 ppm de HTP y se agregó el hongo purificado en esta investigación ($18x10^2$ UFC/g de suelo) más el biosurfactante obtenido del mismo hongo. Se establecieron otras dos unidades de estudio, una de ellas suplementada con un biosurfactante comercial y la otra sin surfactante. El crecimiento microbiano y la concentración de HTP se estudiaron a 1, 15 y 30 días.

Tabla 1. Unidades de estudio *in vitro* para ensayo de biorremediación (n=3)

Suelo	Hongo	Biosurfactante
Fluvisol éutrico contaminado con HTP	A. Terreus	Ninguno Orgánico obtenido de A. terreus Comercial (aceite de naranja)

Resultados y discusión

Propiedades del suelo Fluvisol éutrico

El suelo Fluvisol éutrico mostró una textura arcillosa-limosa con un contenido de arcilla, limo y arena de 49%, 41% y 10% respectivamente. La composición de minerales, así como los valores de densidad real y aparente son consistentes con estudios previos en sitios cercanos a la zona de estudio del presente trabajo (Tabla 2) [11]. Este tipo de suelos con contenido de arcilla cercano a 40% tiene la ventaja de ser susceptible a la biorremediación, gracias a que la porosidad facilita el intercambio de oxígeno [12]. La Tabla 2 presenta otras propiedades fisicoquímicas, dentro de las que destaca el alto porcentaje de humedad, así como una temperatura y pH apropiada para el crecimiento microbiano [7, 11, 13]. La densidad microbiana encontrada fue de $18x10^2$ UFC/g suelo, este valor es diferente a lo encontrado por Ojeda-Morales et al. [11] y Mena Sanchez [14]. Estas diferencias están relacionadas a la variación de las propiedades fisicoquímicas del suelo, a pesar de ser zonas aledañas.

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo Fluvisol éutrico

Característica	Humedad (%)	Densidad aparente (g/cm^3)	Densidad real (g/cm^3)	pH	Temperatura (°C)	Densidad microbiana (UFC/g suelo)
Cantidad	55	1.05	1.05	7.9	23	$18x10^2$

 ISSN: 2007 8102

Cultivos axénicos de las cepas fúngicas presentes en el suelo

A partir del suelo estudiado, se realizaron cultivos sucesivos de las poblaciones fúngicas y se encontraron cinco cepas diferentes denominadas H1, H2, H3, H4 y H5. Las cepas H1, H2 y H3 mostraron crecimiento durante 18 días del estudio. En cambio, la actividad de las cepas H4 y H5 se inhibió a los 6 y 9 días respectivamente, por esta razón se descartaron (Figura 1). Considerando que la finalidad de aislar hongos nativos es aplicarlos como agente biorremediador, aquellos que muestren mejor tasa de proliferación in vitro tienen más probabilidades de ser candidatos a la producción a escala comercial [15]. Las cepas fúngicas H1, H2 y H3 se expresaron tal como se muestra en la Figura 2. El análisis morfológico indica que las cepas pertenecen al género *Aspergillus* por la forma redondeada, además poseen un halo claro en los bordes y textura suave [16, 17].

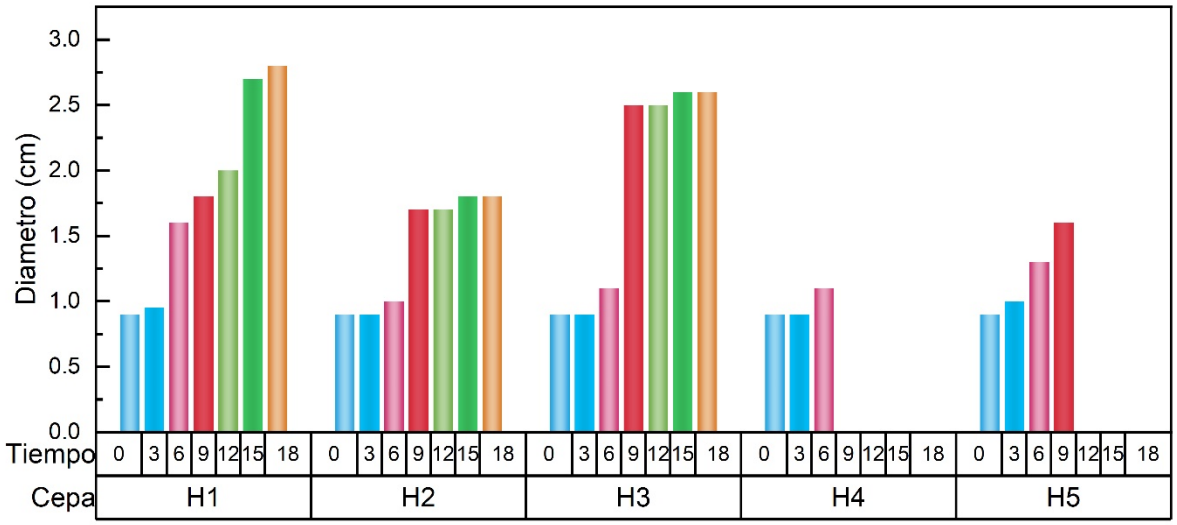


Figura 1. Crecimiento radial de las cepas fúngicas cultivadas en PDA



Figura 2. Cultivos axénicos de las cepas H1, H2 y H3

Cultivos axénicos en medio suplementado con petróleo

La Tabla 3 muestra los resultados de la evaluación de la capacidad hidrocarbonoclasta de las cepas aisladas del suelo Fluvisol éutrico. En la etapa 1, las cepas H1, H2 y H3 mantuvieron un crecimiento sostenido durante 18 días de estudio. En términos del diámetro alcanzado, las cepas con mayor a menor crecimiento fueron H1>H3>H2. Posteriormente las tres cepas fueron evaluadas en medio líquido (Etapa II). En esta etapa, la cepa H1 mostró la mejor capacidad de utilizar al petróleo como única fuente de carbono, ya que la densidad se duplic[o a 3 días de cultivo. Después se observó una reducción en el crecimiento, probablemente relacionada al consumo

 ISSN: 2007 8102

de los nutrientes del medio. En el mismo tiempo, el crecimiento de las cepas H2 y H3 fue menor por lo que fueron descartadas. La cepa H1 fue seleccionada para ser cultivada en un biorreactor (Etapa III). Durante el cultivo se estudió la cinética de crecimiento y los datos revelaron que el punto máximo ocurrió a los 9 días de cultivo. Después, la densidad microbiana disminuyo drásticamente. Cisneros et al. [17] indican que este comportamiento puede relacionarse a la producción de toxinas derivadas del TPH que no está completamente degradado. A los 9 días, la biomasa se extrajo del biorreactor y se purifico hasta obtener el biosurfactante orgánico derivado de la cepa H1. De acuerdo con Decesaro *et al.* [18]. la mayor cantidad de biosurfactante se produce durante el momento de máximo crecimiento. Cabe señalar que el hongo H1 fue identificado como *Aspergillus terreus (A. terreus)* [19].

Tabla 3. Crecimiento de las cepas fúngicas en medio suplementado con petróleo

Días	Etapa I Crecimiento en medio sólido (Diámetro, cm)			Etapa II Crecimiento en medio líquido (UFC/mL)*10^{-2}			Etapa III Cultivo en biorreactor (UFC/mL)*10^{5}
	H1	*H2*	*H3*	*H1*	*H2*	*H3*	*H1*
0	0.9	0.9	0.9	163	25	20	0.00023
3	0.95	0.96	0.96	306	46	34	0.055
6	1.53	1.4	1.03	123	25	20	0.42
9	2.06	1.9	2.5				167
12	2.2	1.96	2.53				77
15	2.7	2.2	2.6				8.8
18	2.8	2.3	2.6				6.9
21							12.5
24							20.1
27							6.9

Ensayo de biorremediación

Durante el ensayo de biorremediación, se observó el comportamiento de la cepa H1 en un suelo contaminado con HTP durante 30 días. Se estudiaron tres modelos, uno sin biosurfactante, otro con biosurfactante derivado de la cepa H1 y el tercero con un biosurfactante comercial (aceite de naranja). La figura 3(a) muestra que la densidad microbiana fue más alta en el suelo tratado con H1 más el biosurfactante. En cambio, el crecimiento del hongo fue menor en el suelo sin biosurfactante y con el biosurfactante comercial. En los tres casos, la densidad microbiana alcanzó el máximo punto a 15 días de haber iniciado el experimento y disminuyó posteriormente. Este comportamiento está fuertemente relacionado al consumo de los nutrientes del medio [20]. Por otro lado, se analizó el contenido de HTP después de 30 días (Figura 3b). Es interesante notar que el hongo *A. terreus* por sí solo tuvo un efecto leve en la degradación de HTP, reduciéndolo en alrededor de 20%. Además, la tierra tratada con H1 más el biosurfactante comercial alcanzó un nivel de remoción de 70%. Sin embargo, el mejor resultado se obtuvo cuando la tierra fue tratada con H1 combinado con su correspondiente biosurfactante ya que se logró un nivel de remoción de 75%. Estos resultados indican que existe un efecto sinérgico entre el *A. terreus* y el biosurfactante orgánico. Por un lado, el biosurfactante mejora la biodisponibilidad de la materia orgánica para que sea consumida por la cepa fúngica, lo que a su vez coadyuva su proliferación [21]. Lo anterior sugiere que se puede alcanzar mejores tasas de biorremediación combinando estos dos elementos [5, 6].

 ISSN: 2007 8102

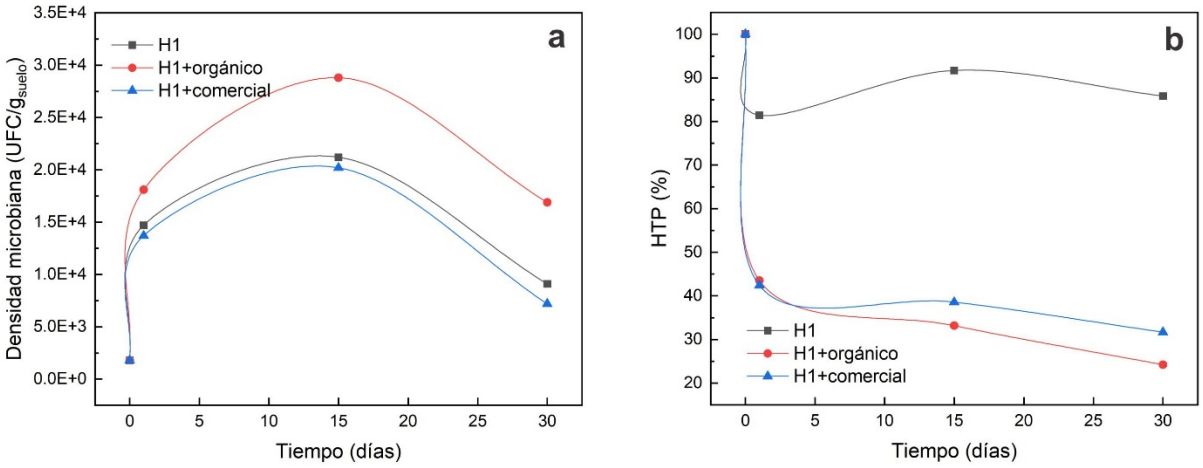


Figura 3. Densidad microbiana (a) y porcentaje de HTP (b) en muestras de suelo contaminado con petróleo

Trabajo a futuro

Este trabajo demostró la capacidad de la cepa fúngica nativa (identificada como *A. terreus*) como agente biorremediador de suelo contaminado con hidrocarburos totales de petróleo. Se sugiere realizar la identificación de la cepa con la técnica de amplificación cadena del ADN polimerasa. Además, se recomienda estudiar esta capacidad ante diferentes concentraciones de petróleo para conocer la máxima eficiencia de biorremediación.

Conclusiones

El suelo Fluvisol éutrico contaminado con hidrocarburos totales de petróleo fue tratado utilizando el método de bioaumentación. Durante la exploración se encontraron cinco cepas fúngicas, de las cuales H1 mostró la capacidad de usar petróleo como fuente de carbono. El consumo del petróleo se logra gracias a que la cepa H1, identificada como *A. terreus*, es productora de biosurfactante. Los experimentos revelaron el potencial de la cepa nativa *A. terreus* más el biosurfactante producido por la misma como método de biorremediación del suelo estudiado. Este método de bioaumentación mejorada con biosurfactante demuestra ser una estrategia eficaz para abordar la contaminación por hidrocarburos, ofreciendo perspectivas prometedoras en la biorremediación de suelos contaminados con petróleo.

Referencias

[1] A. H. A. Khan, S. Tanveer, A. Kiyani, R. Barros, M. Iqbal, and S. Yousaf, "Biosurfactant-producing Aspergillus, Penicillium, and Candida Performed Higher Biodegradation of Diesel Oil than a Non-producing Fungal Strain," *Applied Biochemistry and Microbiology,* vol. 59, no. 3, pp. 282-289, 2023.

[2] S. V. Kulkarni, A. S. Palande, and M. V. Deshpande, "Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons in Soils," in *Microorganisms in Environmental Management*, 2012, pp. 589-606.

[3] C. Calvo *et al.*, "Fungal Bioremediation of Soils Contaminated by Petroleum Hydrocarbons," in *Applied Biotechnology for Emerging Pollutants Remediation and Energy Conversion*, 2023, pp. 145-166.

[4] R. S. Yehia, "Highlighting the potential for crude oil bioremediation of locally isolated Cunninghamella echinulata and Mucor circinelloides," *Brazilian Journal of Microbiology,* 2023.

[5] J. Pérez-Vargas, S. E. Vigueras-Carmona, O. Gómez-Guzmán, and G. Calva-Calva, "Degradación microbiana con BFNA de hidrocarburos aromáticos por bioaumentación en biopilas," *CENIC Ciencias Biológicas,* vol. 46, pp. 416-423, 2015.

 ISSN: 2007 8102

[6] M. Joe *et al.*, "Simultaneous Application of Biosurfactant and Bioaugmentation with Rhamnolipid-Producing Shewanella for Enhanced Bioremediation of Oil-Polluted Soil," *Applied Sciences,* vol. 9, no. 18, 2019.
[7] L. Naranjo-Briceño *et al.*, "Potential Role of Extremophilic Hydrocarbonoclastic Fungi for Extra-Heavy Crude Oil Bioconversion and the Sustainable Development of the Petroleum Industry," in *Fungi in Extreme Environments: Ecological Role and Biotechnological Significance*, 2019, pp. 559-586.
[8] *NOM-021-RECNAT-2000*, 2002.
[9] *NOM-138-SEMARNAT-2012*, 2013.
[10] T. L. Madigan *et al.*, "A microbial spoilage profile of half shell Pacific oysters (Crassostrea gigas) and Sydney rock oysters (Saccostrea glomerata)," *Food Microbiology,* vol. 38, pp. 219-227, 2014.
[11] M. E. Ojeda-Morales, Y. Córdova-Bautista, J. G. Álvarez-Ramírez, J. d. l. S. López-Lázaro, G. Martínez-Pereyra, and C. M. Morales-Bautista, "Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos empleando sustancias húmicas de vermicomposta," *Terra latinoamericana,* vol. 41, pp. 1-18, 2023.
[12] A. Haghollahi, M. H. Fazaelipoor, and M. Schaffie, "The effect of soil type on the bioremediation of petroleum contaminated soils," *Journal of Environmental Management,* vol. 180, pp. 197-201, 2016.
[13] S. Irfan, M. M. A. N. Ranjha, B. Shafique, M. I. Ullah, A. R. Siddiqui, and L. Wang, "Bioremediation of Soil: An Overview," in *Advances in Bioremediation and Phytoremediation for Sustainable Soil Management*, 2022, pp. 1-16.
[14] C. U. M. Sánchez, "Modelos de clasificación y cuantificación quimiométrica de hidrocarburos fracción pesada durante la biorremediación de un histosol contaminado con petróleo crudo," Maestría en Ciencias Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas Colegio de Postgraduados, Cárdenas, Tabasco, México, 2021.
[15] S. B. Valle-Ramírez, R. Torres-Gutiérrez, W. O. Caicedo-Quinche, R. V. Abril-Saltos, and D. J. Sucoshañay-Villalba, "Aislamiento y caracterización de Metarhizium spp. de cultivos de caña de azúcar y su patogenicidad contra Mahanarva andigena (Hemiptera: Cercopidae)," *Ciencia & Tecnología Agropecuaria,* vol. 23, no. 1, 2022.
[16] A. M. Sule, B. Inuwa, S. Z. Bello, M. Gero, H. A. Mohammed, and Z. A. Muhammad, "Isolation, Characterization and Heavy Metals Tolerance Indices of Indigenous Fungal Flora from a Tannery located at Challawa Industrial Estate of Kano State, Nigeria," *Journal of Applied Sciences and Environmental Management,* vol. 26, no. 7, pp. 1289-1298, 2022.
[17] S. Cisneros-de-la-Cueva, M. A. Martínez-Prado, and J. López-Miranda, "Aerobic degradation of diesel by a pure culture of Aspergillus terreus KP862582," *Revista Mexicana de Ingeniería Química,* vol. 15, no. 2, pp. 347-360, 2016.
[18] A. Decesaro, M. R. Rigon, A. Thomé, and L. M. Colla, "Produção de biossurfactantes por microrganismos isolados de solo contaminado com óleo diesel," *Química Nova,* vol. 36, no. 7, pp. 947-954, 2013.
[19] E. Saied *et al.*, "Aspergillus terreus-Mediated Selenium Nanoparticles and Their Antimicrobial and Photocatalytic Activities," *Crystals,* vol. 13, no. 3, 2023.
[20] T. S. Machado *et al.*, "Effects of homemade biosurfactant from Bacillus methylotrophicus on bioremediation efficiency of a clay soil contaminated with diesel oil," *Ecotoxicology and Environmental Safety,* vol. 201, 2020.
[21] A. R. Othman *et al.*, "Potential of indigenous biosurfactant-producing fungi from real crude oil sludge in total petroleum hydrocarbon degradation and its future research prospects," *Journal of Environmental Chemical Engineering,* vol. 10, no. 3, 2022.

 ISSN: 2007 8102

Subproductos de uva para la conservación postcosecha de la fresa (*Fragaria vesca*)

D.G. Martínez Vázquez[1], R. Rodríguez Herrera[2], S.C. Rangel Ortega[1], A.V. Charles Rodríguez[1], L.A. Soriano Melgar[2,3]*
[1]Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro, 1923. Buenavista, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.
[2]Facultad de Ciencia Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Blvd. Venustiano Carranza s/n, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.
[3]Cátedras CONAHCyT. Programa de Investigadoras e Investigadores por México, CONAHCyT.
**lluviasoriano_fcq@uadec.edu.mx*
***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

Se consideró el uso de extractos de orujo de uva como tratamiento postcosecha de la fresa. Se prepararon dos diferentes extractos de orujo de uva [acuoso y etanólico (70 %, v/v)] mediante un método de extracción híbrido (ultrasonido-microondas). Los extractos se aplicaron en la fresa en dos diferentes diluciones (1:10 y 1:5) mediante inmersión (2 min), empacándolas en domos de poliestireno y almacenándolas a dos diferentes temperaturas (2 y 6 °C). A lo largo del almacenamiento se monitorearon los cambios físicos visuales del fruto y la aparición de microorganismos, así como, el contenido de vitamina C, compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante. Los resultados muestran menor ablandamiento y degradación de la vitamina C, y mayor contenido de fenoles y capacidad antioxidante en los frutos tratados con extracto etanólico de orujo de uva, principalmente en la dilución 1:10. Por lo que este puede proponerse como una alternativa para la conservación de fresas postcosecha.

***Palabras clave**: Ultrasonido, Microondas, Tecnologías Emergentes, Extractos*

Abstract

The use of grape residue extracts as a postharvest treatment of strawberries was considered. Two different grape residue extracts [aqueous and ethanolic (70 %, v/v)] were prepared by a hybrid extraction method (ultrasound-microwave). The extracts were applied on strawberries in two different dilutions (1:10 and 1:5) by immersion (2 min), packed in polystyrene domes, and stored at two different temperatures (2 and 6 °C). During storage, the visual physical changes of the fruit and the appearance of microorganisms were monitored, as well as the vitamin C content, total phenolic compounds, and antioxidant capacity. Results show less softening and degradation of vitamin C, and higher phenolic content and antioxidant capacity in fruits treated with ethanolic extract of grape residue, mainly in the 1:10 dilution, so it can be proposed as an alternative for the preservation of postharvest strawberries.

***Key words**: Ultrasound, Microwaves, Emerging Technologies, Extracts*

Introducción

Durante los próximos años, la agricultura se enfrentará a diversos e importantes retos para poder producir alimentos debido al incremento de su demanda a nivel internacional y al incremento poblacional [1]. Es por ello que, además de enfocar los esfuerzos en la producción de alimentos de origen vegetal, es importante y necesario enfocar esfuerzos en su conservación y en la reducción de los desperdicios, reintroduciendo a la cadena de valor todos aquellos subproductos que contengan compuestos de interés.

La industria agrícola genera grandes volúmenes de residuos sólidos, de origen orgánico, cuya disposición final presenta costos y es un problema ambiental que sigue siendo difícil de resolver a la fecha. Sin embargo, estos residuos contienen una gran cantidad de compuestos con diversas propiedades, ya sea de naturaleza bioactiva

 ISSN: 2007 8102

y/o fitoquímica, tales como: fenoles, antioxidantes, pigmentos, carotenos, clorofilas, fibras, celulosas, pectinas, vitaminas, enzimas, aceites, oligosacarinas, bioestimulantes, etc. con un potencial económico importante [2,3].

La uva (*Vitis vinifera*) es una de las frutas más cultivadas en todo el mundo, a nivel mundial se produjeron 77,137,016 ton de uva y a nivel nacional 472,708 ton durante el año 2019 [4]. De esta producción, de entre un tercio hasta un 60 % es empleada para la elaboración de vinos, generando una cantidad considerable de residuos orgánicos [5,6]; de entre un 20 a 30 % de su masa total [7]. Los residuos típicos de las uvas van desde la cáscara o pieles, semillas y podas de viñedo o tallos, los cuales generalmente son empleados para la generación de alcohol o extracción de algunos pigmentos. Sin embargo, aún se pueden obtener diversos fitoquímicos, incluyendo compuestos fenólicos y fibra dietética [8], ácido tartárico, lignocelulosa, biocombustible o como composta [9], proantocianidinas con propiedades antivirales [10], compuestos (quercetina, miricetina, ácido gálico y derivados) con propiedades antiparasitarias [11, 12], compuestos con propiedades antibacterianas [13], compuestos elicitores de plantas para la protección contra *Phytophthora* parasítica [14] o como agentes citotóxicos contra líneas celulares de origen tumoral de cérvix [15] De entre todos los compuestos presentes en los orujos de uva, los flavonoides [7] y las antocianinas son los de mayor interés comercial para su aplicación en la industria de alimentos funcionales [16].

En la extracción de los compuestos de interés antes mencionados, es útil el uso de métodos conocidos como tecnologías emergentes o alternativas, ya que éstos reducen significativamente el tiempo de extracción, el gasto energético por el uso de elevadas temperaturas, así como el uso de solventes orgánicos que presentan un riesgo para la salud por su grado de toxicidad. Algunas de estas tecnologías son las microondas y el ultrasonido, ambas ofrecen ventajas como la reducción del tiempo de extracción, el uso de solventes considerados como seguros, así como rendimientos más elevados. Adicionalmente, existe la posibilidad de combinar dos o más tecnologías emergentes mediante su aplicación simultánea, conocida como híbrida, teniendo la posibilidad de obtener extractos con mejores propiedades [17].

La fresa es muy apreciada por su sabor, color y forma, siendo muy atractiva para la elaboración de diferentes platillos y postres. Por lo que presenta una fuerte demanda comercial tanto nacional como internacional, siendo México uno de los principales productores y exportadores de este fruto [18]. Como fruto, contiene diversos compuestos bioactivos, tales como: antocianinas, aminoácidos y vitaminas [19]. Lo que conocemos como fruto de fresa es altamente perecedero, cuya vida útil no supera los 10 días ya que, durante la poscosecha, el fruto es muy susceptible a daños y al ataque de patógenos como *Colletotrichum*, *Fusarium, Phytophthora*, entre otros, lo cual genera grandes pérdidas económicas [20]. Como tratamiento poscosecha para evitar estos daños, se emplean pesticidas sintéticos, que pueden tener efectos nocivos para la salud y al ambiente [21]. Por lo que es importante el buscar alternativas más naturales para controlar los diferentes agentes patógenos que se desarrollan durante la poscosecha de diferentes productos. Por lo anterior, en este trabajo se consideró la aplicación de extractos de orujos de uva para la conservación de la fresa y, de esta forma aprovechar estos subproductos gracias a sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes.

Metodología

Materia prima

Los frutos de fresa empleados fueron cosechados en el Rancho Guadalupe ubicado en la localidad de Huachichil (El Huache), Arteaga, Coahuila de Zaragoza, México. En particular, en este lugar el cultivo de fresa se realiza bajo condiciones de invernadero con riego por goteo y fertirriego automatizado. Los frutos recién cosechados fueron seleccionados y transportados en condiciones de frio (alrededor de 15 °C) al Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Los frutos de fresa fueron seleccionados por tamaño, color y libre de daños, posteriormente fueron lavados con agua y jabón para eliminar los contaminantes de campo.

Residuos agroindustriales

El orujo de uva fue obtenido de los viñedos localizados en Parras, Coahuila. Los residuos se deshidrataron a una temperatura entre 50 – 60 °C, utilizando una estufa de secado convencional por un periodo de entre 48 – 60 h, fueron pulverizados en un molino convencional y tamizados con una malla con tamaño de partícula de 150 μm.

 ISSN: 2007 8102

Obtención de extractos

Las muestras homogenizadas se introducen en un equipo de extracción (Marca Atpio, Modelo XO-SM400, Nanjing, China) utilizando el método de ultrasonido-microondas, conocido también como híbrido. Las condiciones de obtención de los extractos se muestran en la Tabla 1. El objetivo de utilizar esta tecnología emergente fue evitar la degradación de los compuestos bioactivos presentes en los esquilmos de uva, empleando tiempos más cortos de extracción, la posibilidad de usar solventes seguros (como el agua y etanol), así como rendimientos de extracción más altos.

Tabla 1. Condiciones experimentales para la obtención de extractos de orujo de uva.

Componentes	Método de Extracción Híbrido	Extracto
44 g de material seco 1000 mL agua	Ultrasonido Potencia: 20 W Frecuencia: 25 KHz Tiempo: 20 min	El extracto obtenido fue filtrado y almacenado en un ultracongelador a -80 °C hasta su aplicación.
44 g de material seco 1000 mL etanol al 70 %	Microondas Potencia: 800 W Temperatura: 70 °C Tiempo: 5 min	

Diseño experimental para el estudio postcosecha de fresa

Se realizó un diseño experimental de bloques completamente al azar, con las características mostradas en la Tabla 2:

Tabla 2. Condiciones experimentales para el estudio postcosecha en frutos de fresa.

Tratamientos	
1. Testigo o control (sin tratamiento, sólo agua). 2. Extracto etanol [solvente para la extracción etanol/agua (70/30), dilución extracto:agua (1:10)]. 3. Extracto etanol [solvente para la extracción etanol/agua (70/30), dilución extracto:agua (1:5)]. 4. Extracto agua [solvente para la extracción agua, dilución extracto:agua (1:10)]. 5. Extracto agua [solvente para la extracción agua, dilución extracto:agua (1:5)].	
Toma de muestras: 0, 4, 7, 10 y 13 días de almacenamiento.	
Temperaturas de almacenamiento: 2 °C (refrigeración) 6 °C (cuarto frío)	**Tamaño de muestra:** 5 Tratamientos, 3 frutos, 3 repeticiones, 5 días de muestreo + frutos iniciales = 234 frutos de fresa por temperatura Total de frutos = 468 frutos de fresa
NOTA: Los frutos fueron empacados en domos de poliestireno considerando como unidad experimental un domo, contando con 3 repeticiones por tratamiento para las determinaciones destructivas y 3 repeticiones por tratamiento para las determinaciones no destructivas.	

Aplicación de los extractos de orujo de uva

Las fresas fueron tratadas primero con un desinfectante comercial (Microdyn® 7.5 mL/L durante 5 min) según las indicaciones del comerciante, para disminuir la carga microbiológica procedente de campo y presentar condiciones iniciales homogéneas para todos los frutos. Posteriormente, se enjuagaron con agua purificada y se aplicaron los diferentes tratamientos. Éstos se llevaron a cabo por inmersión durante 2 min, los extractos empleados fueron a partir de diferentes solventes [agua y etanol (70 %, v/v)] y cuyas diluciones fueron realizadas con agua purificada (1:10 y 1:5), empleando un grupo testigo (sólo agua) (Tabla 2). Las fresas fueron puestas sobre papel secante y empacadas en domos de poliestireno para luego ser almacenadas a dos diferentes temperaturas (2 y 6 °C) y tomar muestras a los días 0, 4, 7, 10 y 13 días de almacenamiento.

 ISSN: 2007 8102

Calidad visual de los frutos de fresa

Para determinar la conservación de los frutos de fresa por efecto de los tratamientos, se evaluaron las principales características que afectan la calidad visual del fruto mediante escalas arbitrarias. El primer parámetro a evaluar fue la pérdida de firmeza o ablandamiento observado como una región necrosada y con pérdida de color, por lo que la escala arbitraria considerada fue del 1 al 5, donde para el ablandamiento 1 representa libre de daño, 3 el límite comercial permitido y 5 la pérdida total de la calidad comercial. El segundo parámetro fue la presencia y desarrollo de microorganismos, por lo que en una escala de 1 a 5, el valor de 1 representa libre de la presencia visual de microorganismos, 3 presencia visual de una décima parte del fruto y 5 presencia visual mayor a una cuarta parte del fruto. Estos se midieron sólo por 10 días, ya que llegaron al límite permisible de afectación visual durante estos días de almacenamiento.

Caracterización bioquímica del jugo de fresa

Para la caracterización bioquímica se llevaron a cabo tres determinaciones: *(i)* el contenido de vitamina C, mediante el método volumétrico del 2,6-diclorofenolindofenol, correspondiente al método 967,21 de la AOAC, reportando los resultados como mg de ácido ascórbico/100 mL de jugo [22]; *(ii)* la capacidad antioxidante empleando la metodología del radical libre comercial DPPH (2,2, difenilpicril hidracilo) de Brand-Williams ***et al***. [23], se empleó una curva de ácido gálico, por lo que los resultados fueron reportados como µmoles EAG/mL de jugo; y *(iii)* el contenido de compuestos fenólicos totales mediante el método de Folin – Ciocalteu, para la cuantificación de los compuestos fenólicos presentes en fresas se implementó este método descrito por Singleton y Rossi [24], empleando una curva patrón de ácido gálico. Los resultados fueron reportados como µg equivalentes de ácido gálico (EAG)/mL de jugo.

Análisis Estadístico

El análisis de los datos experimentales consistió en un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba post hoc de Tukey con un 95 % de confianza. Para poder analizar los datos de las escalas arbitrarias, estos fueron previamente normalizados. El software utilizado fue el NCSS, versión 2004.

Resultados y discusión

Efecto de los extractos de orujo de uva sobre la calidad visual de fresa

Para la conservación de los frutos de fresa durante la postcosecha, un punto importante es la pérdida de su calidad, la cual se genera debido a la modificación de la textura, como es el caso del ablandamiento excesivo, que es causado principalmente por el debilitamiento de las paredes celulares; además, debido a su gran susceptibilidad al daño de su textura por la extremadamente baja cantidad de sólidos, pues se ha reportado que contiene sólo alrededor de un 10 % de materia sólida [25]. La gran cantidad de agua presente en las fresas las hacen un fruto más delicado durante su manejo postcosecha y más susceptible a la generación de pérdidas durante su almacenamiento.

La pérdida de firmeza o ablandamiento observado como una región necrosada y con pérdida de color fue el primer parámetro evaluado (Figura 1), seguido de la presencia y desarrollo de microorganismos (Figura 2). La escala arbitraria considerada fue del 1 al 5, donde para el ablandamiento 1 representa libre de daño, 3 el límite comercial permitido y 5 la pérdida total de la calidad comercial. Para la presencia de microorganismos, 1 representa libre de la presencia visual de microorganismos, 3 presencia visual de una décima parte del fruto y 5 presencia visual mayor a una cuarta parte del fruto. Estos se midieron sólo por 10 días, ya que llegaron al límite permisible de afectación visual al día 13 de almacenamiento.

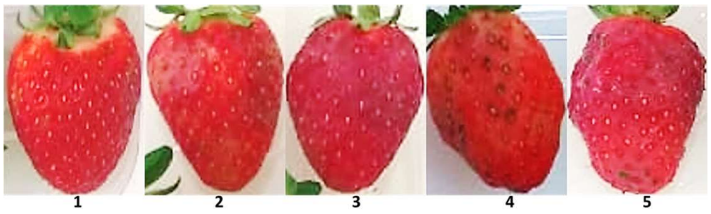


Figura 1. Escala arbitraria (1-5) del ablandamiento en fresa.

 ISSN: 2007 8102

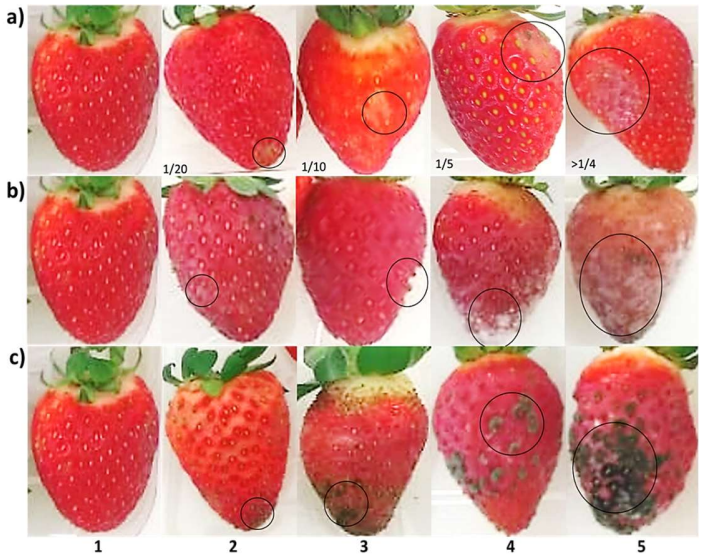


Figura 2. Escala arbitraria (1-5) de la presencia y desarrollo de a) *Botrytis cinerea*, b) *Rhizopus stolonifer* y c) *Cladosporium* spp.

Los resultados del ablandamiento de los frutos de fresa durante su almacenamiento a diferentes temperaturas se presentan en la Figura 3, donde se observa un mayor cambio de textura (ablandamiento) de la fresa a la temperatura de refrigeración de 2 °C comparado con aquellas piezas que fueron almacenadas en un cuarto frío, el cual se encontraba a 6 °C. Lo anterior se debió a que, al reducir la temperatura hasta 2 °C, el agua del fruto llega a niveles cercanos a la congelación, formando cristales que pueden romper a las paredes celulares y a la membrana celular, provocando la pérdida en la estructura de los tejidos de la fresa. En su mayoría, las frutas son de textura suave y la congelación genera la alteración de la estructura celular y la disminución de la turgencia en los tejidos de los frutos [26]. Además, las bajas temperaturas generan la conocida fisiopatía conocida como daño por frío, la cual se presenta al superar temperaturas umbrales mínimas que son toleradas por los productos postcosecha.

En el caso particular de las fresas, el ablandamiento fue más notorio a partir de los 7 días de almacenamiento en ambas temperaturas, principalmente a 2 °C (Figura 3a); donde los tratamientos superaron el límite permisible. A 6 °C, el tratamiento a partir del extracto etanólico (1:10) fue el que permitió que los frutos de fresa presentaran un menor ablandamiento visualmente en comparación con el resto de los tratamientos ($p<0.05$; Figura 3b) a lo largo de todo el almacenamiento.

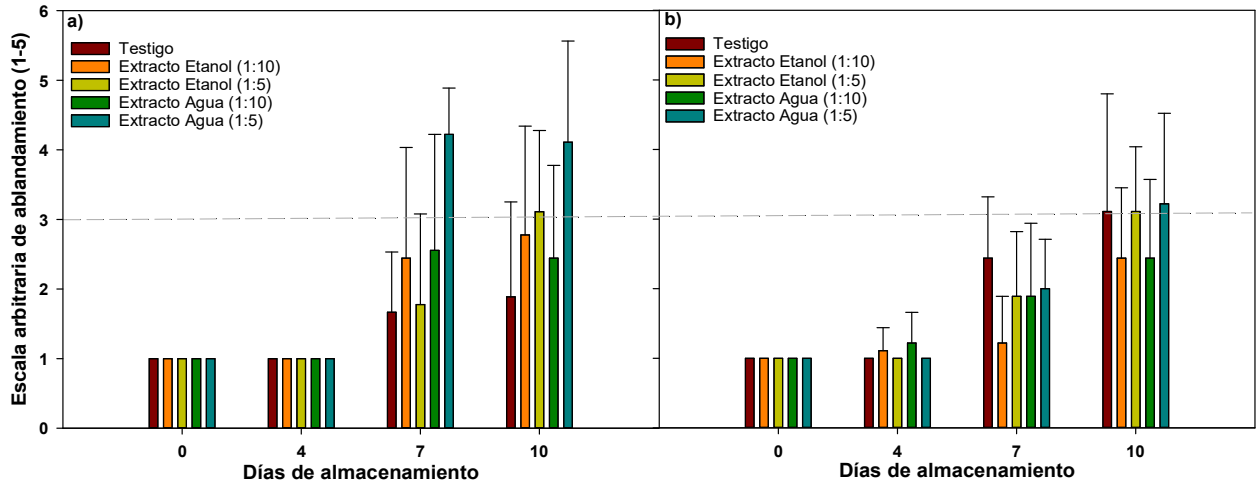


Figura 3. Escala arbitraria de ablandamiento (1-5) en frutos de fresa en a) refrigeración (2 °C) y b) cuarto frío (6 °C). La línea punteada indica el límite comercial permisible en la escala arbitraria. Las barras representan el promedio (n=9 frutos) y las líneas continuas sobre las barras la desviación estándar.

 ISSN: 2007 8102

La presencia y desarrollo visual de diferentes microorganismos patógenos de frutos de fresa se muestran en la Figura 4, donde a partir del día 7 se incrementa la presencia visual de los diferentes microorganismos, principalmente *Rhizopus stolonifer* y *Cladosporium* spp a 6 °C (Figura 4). No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en las diferentes temperaturas y días de almacenamiento, a excepción de a 6 °C para *Cladosporium* spp (Figura 4f); donde el tratamiento que mantuvo el menor desarrollo de este microorganismo fue por efecto del extracto etanólico (1:10) en comparación con el testigo y el resto de los tratamientos aplicados. Los valores en la escala arbitraria permanecieron, aún a los 10 días de almacenamiento, muy cercanos a 1; lo que significa nula presencia visual de este microorganismo.

Por otro lado, aunque no se encontraron diferencias significativas, en las Figuras 4a y 4b, se observa un menor desarrollo de *Botrytis cinerea*, considerado uno de los principales patógenos en frutos de fresa. En la Figura 4b, se indica el casi nulo desarrollo de este microorganismo principalmente en los frutos tratados con los extractos etanol (1:5) y agua (1:5), en ambas temperaturas de almacenamiento y aun después de 10 días postcosecha.

Finalmente, las altas variaciones de la desviación estándar se deben a que los diferentes patógenos no se presentaron en todos los frutos, sino que las lesiones observadas en los frutos fueron diferentes dependiendo del patógeno y fruto observado; teniendo una mayor incidencia de la presencia de lesiones en los frutos de fresa que son producidas por *Cladosporium* spp dentro de cada domo.

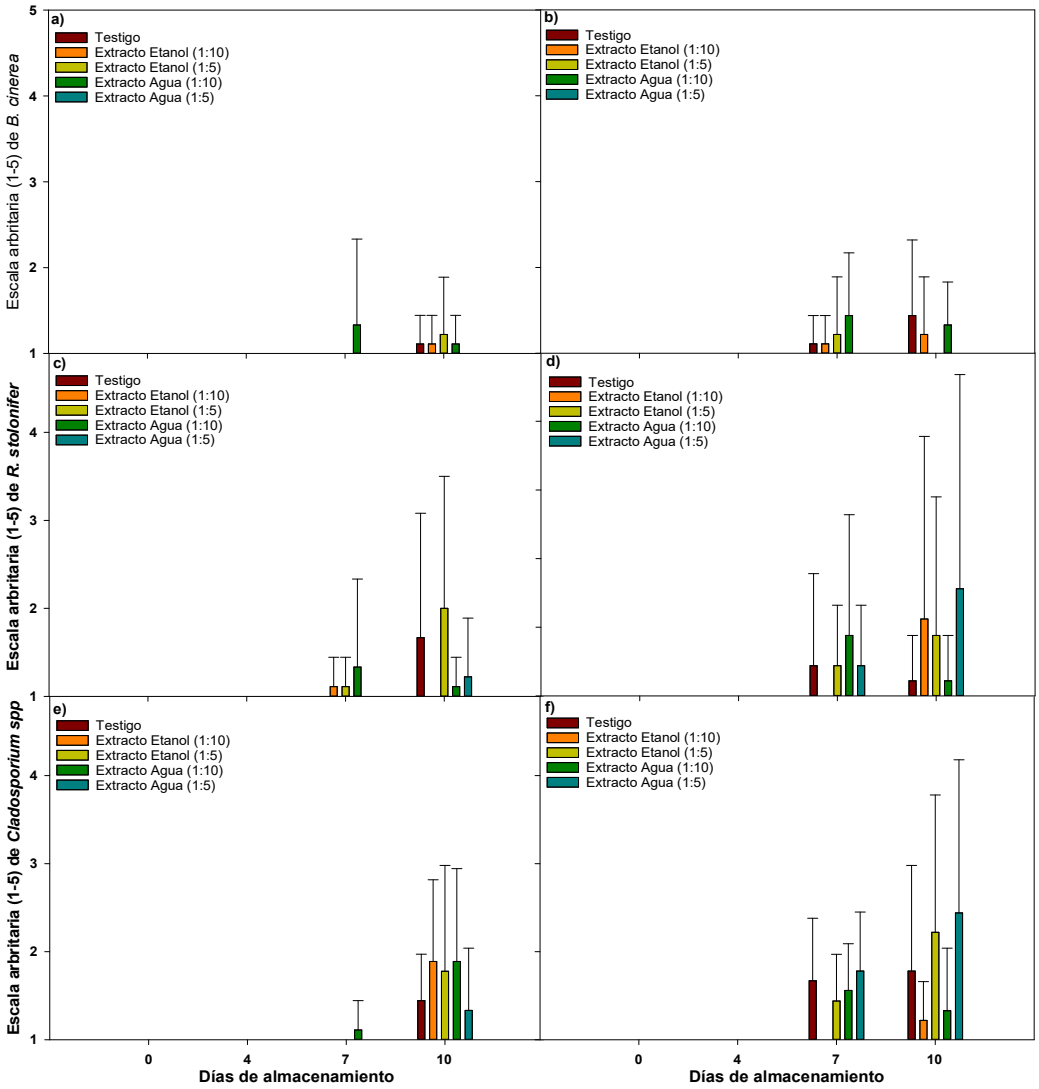


Figura 4. Escala arbitraria (1-5) de la presencia y desarrollo de a-b) *Botrytis cinerea*, c-d) *Rhizopus stolonifer* y e-f) *Cladosporium* spp en frutos de fresa almacenadas en refrigeración (2 °C, izquierda) y cuarto frío (6 °C, derecha). Las barras representan el promedio (n=9 frutos) y las líneas continuas sobre las barras la desviación estándar.

 ISSN: 2007 8102

Adicionalmente, el desarrollo de hongos en fresa se asocia al deterioro de su superficie debido a que un mayor grado de deterioro ocasiona que más fácilmente se genere la infección y expansión de diferentes microorganismos; tal es el caso del hongo *Botrytis cinerea* cuya presencia se observa como un moho de color gris, el cual estando en un ambiente de elevada humedad, comienza con su proceso de esporulación. Por su parte, la presencia de micelios blancos ocasionados por *Rhizopus* se facilita cuando el fruto comienza a suavizarse generando exudados acuosos. Se ha reportado que el mecanismo de infección de este hongo se debe a su introducción al fruto a través de heridas donde, una vez dentro de los tejidos del fruto, sintetiza enzimas pectolíticas lo que incrementa el ablandamiento de los tejidos y la pérdida de la integridad celular y, con ello, la liberación de agua que incluye exudados considerado como lixiviación [27].

Contenido de compuestos con actividad antioxidante

Contenido de vitamina C

En cuanto al contenido de vitamina C en fresa, esta se considera su mayor aporte nutricional, oscilando alrededor de 500 mg/Kg la cual es dependiente de la variedad, el estado de maduración de los frutos y de las condiciones del desarrollo del cultivo. Su degradación debido a su elevada labilidad frente a agentes físicos y químicos durante la postcosecha depende de la temperatura, del tiempo de almacenamiento, así como, de las condiciones presentes en el ambiente [28].

En la Figura 5, los resultados obtenidos muestran que, después del día 10 de almacenamiento en las temperaturas de 2 y 6 °C, la disminución de la vitamina C fue notable en presencia del extracto acuoso para las concentraciones 1:10 y 1:5, respectivamente. En presencia del resto de los extractos, se puede considerar que hasta el día 10 de almacenamiento, es estable el contenido de vitamina C.

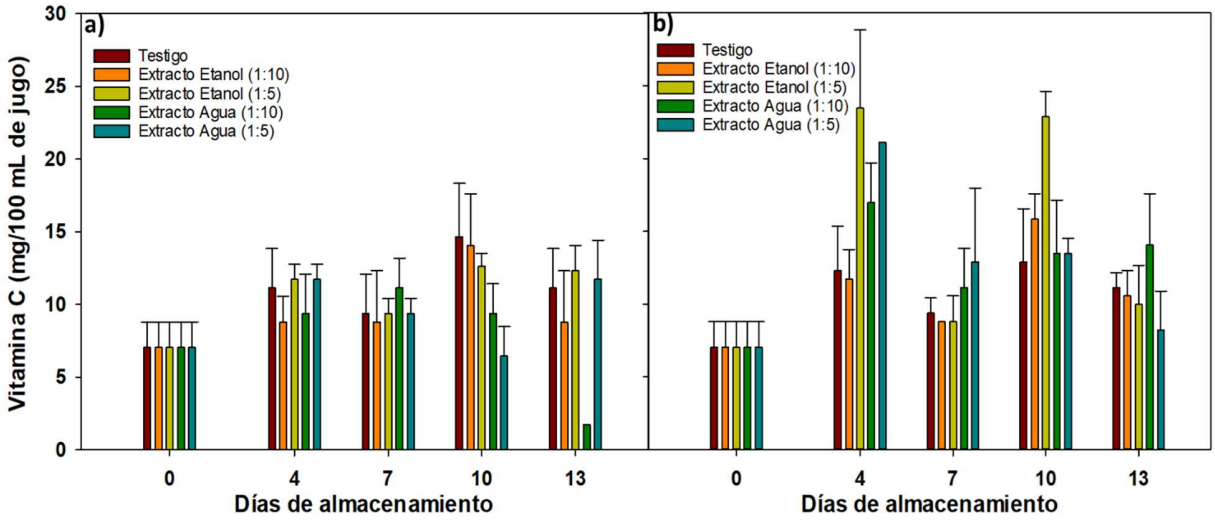


Figura 5. Contenido de vitamina C en fresa inmersa en extractos de orujo de uva almacenadas en a) refrigeración (2 °C) y b) cuarto frío (6 °C). Las barras representan el promedio (n=9 frutos) y las líneas continuas sobre las barras la desviación estándar.

Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante total

En los resultados obtenidos en el presente estudio, en relación al contenido de compuestos fenólicos totales, estos presentan un comportamiento estable a la temperatura de almacenamiento de 2 °C, en tanto que, a 6 °C se observa una disminución después del día 10 de almacenamiento (Figura 6). En ambos casos, los frutos que mostraron el mayor contenido de fenoles totales, fueron aquellos que estuvieron inmersos en extracto etanólico de orujo de uva (Figura 6).

La capacidad antioxidante total (Figura 7) en condiciones de refrigeración (2 °C), presenta una disminución paulatina de este parámetro después del día 7 de almacenamiento. En la temperatura de almacenamiento en cuarto frío (6 °C), a partir del día 4, se observa un comportamiento más estable que perdura durante todo el tiempo de almacenamiento.

 ISSN: 2007 8102

En general, los frutos que mostraron el mayor contenido de fenoles totales y la mayor capacidad antioxidante corresponden a los frutos tratados con los diferentes extractos de orujo de uva en comparación con los frutos de fresa del grupo testigo (Figuras 6 y 7).

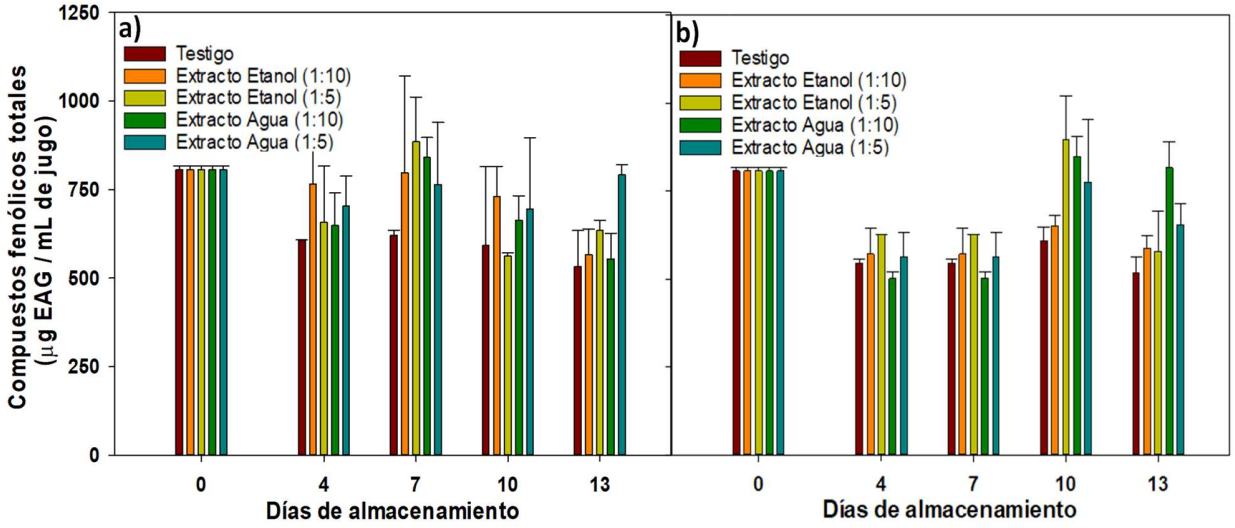


Figura 6. Compuestos fenólicos totales (µg EAG/mL de jugo) de fresa inmersa en extractos de orujo de uva almacenadas en a) refrigeración (2 °C) y b) cuarto frío (6 °C). Las barras representan el promedio (n=9 frutos) y las líneas continuas sobre las barras la desviación estándar.

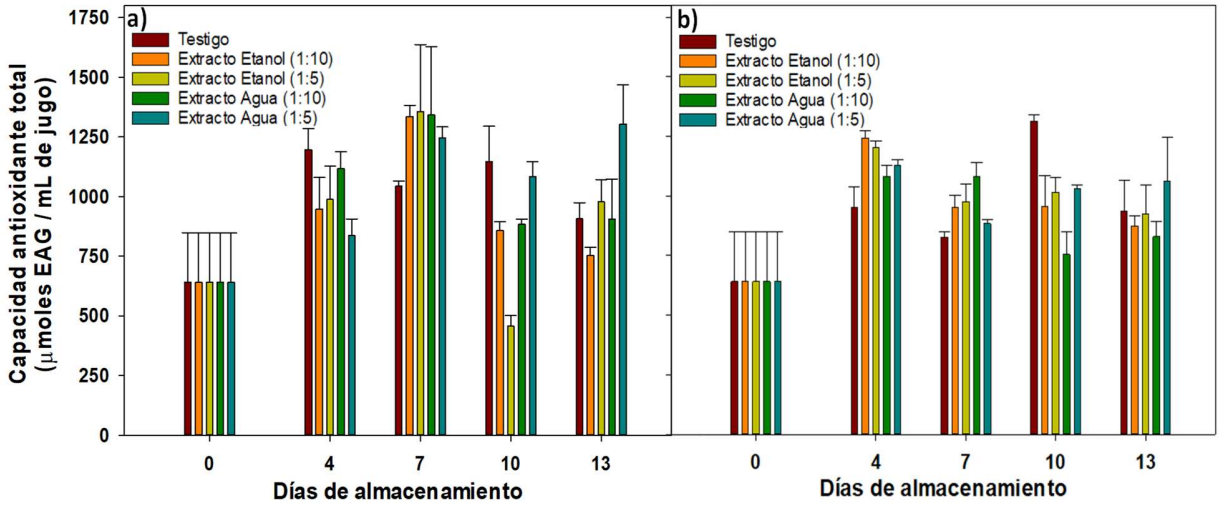


Figura 7. Capacidad antioxidante total (µmoles EAG/mL de jugo) de fresa inmersa en extractos de orujo de uva almacenadas en a) refrigeración (2 °C) y b) cuarto frío (6 °C). Las barras representan el promedio (n=9 frutos) y las líneas continuas sobre las barras la desviación estándar.

Trabajo a futuro

Se requiere realizar estudios de análisis de inhibición en condiciones controladas de los diferentes microorganismos que afectan a los frutos de fresa postcosecha, a fin de tener las bases que sustenten el efecto antifúngico de los extractos de orujo de uva. Además, una parte de las perspectivas es investigar el efecto de los extractos de orujo de uva sobre la conservación de otros productos alimenticios de origen vegetal, así como, determinar los principales compuestos presentes en los extractos de orujos de uva mediante HPLC.

 ISSN: 2007 8102

Conclusiones

La aplicación de los extractos de orujo de uva, principalmente mediante la extracción con etanol y a una dilución con agua 1:10, permitió conservar por más tiempo las características de calidad visual de las fresas durante su almacenamiento a diferentes temperaturas y mantener una menor proliferación de *Botrytis cinerea*. Así mismo, la variación del contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante total permanece estable durante las condiciones de almacenamiento a 2 y 6 °C hasta un tiempo aproximado de una semana; siendo mayor en los frutos tratados con extracto etanólico de orujo de uva, al cual es rico en compuestos antioxidantes. Estos extractos son, por lo tanto, una alternativa como tratamiento para la conservación de frutos de fresa durante la postcosecha, permitiendo mantener la calidad visual y antioxidante de los frutos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a CONACyT por el financiamiento para esta investigación a través del fondo FOP08-2021-03 “Desarrollo de Innovaciones Tecnológicas para una Agricultura Mexicana Libre de Agroinsumos Tóxicos”. Así mismo, se agradece a la Ing. María del Carmen Damas Job por su apoyo en la obtención de los resultados experimentales de esta investigación.

Referencias

[1] Food and Agriculture Organization (FAO). "Global agriculture towards 2050." *How to feed the world 2050: High-level expert forum*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2009.
[2] Joshi VK, Ashwani K, Vikas K. "Antimicrobial, antioxidant and phyto-chemicals from fruit and vegetable wastes: A review." *International Journal of Food and Fermentation Technology,* 123-136, 2012.
[3] Sagar NA, Pareek S, Sharma S, Yahia EM, Lobo MG. “Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction.” Compr Rev in *Food Sci Food Saf*, 17(3), 512-531, 2018.
[4] FAOSTAT “FAO statistical database” *Food and Agricultura! Organization of the United Nations*. https://www.fao.org/faostat/es/#home. 2021.
[5] Nassiri-Asl M, Hosseinzadeh H. "Review of the pharmacological effects of *Vitis vinifera* (grape) and its bioactive constituents: an update". *Phytotherapy Research,* 30(9), 1392-1403, 2016.
[6] Muhlack RA, Potumarthi R, Jeffery DW. “Sustainable wineries through waste valorization: A review of grape marc utilization for value-added products”. *Waste Manag*, 72, 99-118, 2018.
[7] Pereira DTV, Tarone AG, Cazarin CBB, Barbero GF, Martinez J. “Pressurized liquid extraction of bioactive compounds from grape marc”. *Journal of Food Engineering*, 240, 105-113, 2019.
[8] Apolinar-Valiente R, Romero-Cascales I, Gomez-Plaza E, Lopez-Roca JM, Ros-Garcia JM. “The composition of cell walls from grape marcs is affected by grape origin and enological technique”. *Food Chem,* 167, 370-377, 2015.
[9] Muhlack RA, Potumarthi R, Jeffery DW. “Sustainable wineries through waste valorization: A review of grape marc utilization for value-added products”. *Waste Manag,* 72, 99-118, 2018.
[10] Friedman M. “Antibacterial, antiviral, and antifungal properties of wines and winery byproducts in relation to their flavonoid content”. *J Agricult Food Chem*, 62(26), 6025-6042, 2014.
[11] Mansour R, Haouas N, Ben Kahla-Nakbi A, Hammami S, Mighri Z, Mhenni F, Babba H. “The effect of *Vitis vinifera* L. leaves extract on *Leishmania infantum”. Iranian J Pharma Res,* 12(3), 349-355, 2013.
[12] Calixto Júnior JT, de Morais SM, Gomez CV, Molas CC, Rolon M, Boligon AA, Athayde ML, de Morais Oliveira CD, Tintino SR, Henrique Douglas MC. “Phenolic composition and antiparasitic activity of plants from the Brazilian Northeast Cerrado". *Saudi J Biol Sci,* 23(3), 434-440, 2016.
[13] Rama JL, Mallo M, Biddau F, Fernandes T, de Miguel L, Sheiner A, Choupina M. "Exploring the powerful phytoarsenal of white grape marc against bacteria and parasites causing significant diseases". *Environmental Science and Pollution Research International*, 2020.
[14] Benouaret R, Goupil P. “Grape marc extract-induced defense reactions and protection against *Phytophthora parasitica* are impaired in NahG tobacco plants”. *J Agricult Food Chem*, 63(30), 2015.
[15] García Becerra LE. “*Actividad biológica e identificación de compuestos del extracto de orujo de uva (Vitis vinifera. Var. Ruby Cabernet)*”. *Doctoral dissertation*, Universidad Autónoma de Nuevo León, 2010.
[16] Muñoz P, Pérez K, Cassano A, Ruby-Figueroa R. “Recovery of anthocyanins and monosaccharides from grape marc extract by nanofiltration membranes”. *Molecules*, 26(7), 2021.

[17] SIAP. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/siap/, 2017.
[18] Basu, A. "Freeze-dried strawberries lower serum cholesterol and lipid peroxidation in adults with abdominal adiposity and elevated serum lipids". *The Journal of Nutrition,* 144, 830-837, 2014.
[19] Arceo-Martínez M. "*In vitro* and *in vivo* anti-fungal effect of chitosan on post-harvest strawberry pathogens". *Agrociencia,* 53, 2019.
[20] Nicolopoulou-Stamati P, Maipas S, Stamatis P, Hens L. "Chemical pesticides and human health: The urgent need for a new concept in agriculture". *Front Public Health*, 4, 1-8, 2016.
[21] Horwitz W. "AOAC Official Method 967.21. Ascorbic acid in vitamins preparations and juices, 2, 6-Diclhoroindophenol titrimetric method". *Official Methods of Analysis of AOAC International* 17th edn, Maryland, EUA.16, 2000.
[22] Singleton VL, Rossi JA. "Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents". *Am J Enol Vitic,* 16, 144-158, 1965.
[23] Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. "Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity". *Lebensm Wiss Technol*, 28, 25-30, 1995.
[24] Szczesniak AS, Smith BJ. "Observations on strawberry texture, a three-pronged approach". *Journal of Texture Studies,* 1, 65-89, 1969.
[25] Heldman DR, Hartel RW. "Principles of food processing". *Freezing and Frozen-Food Storage* Chapman & Hall. New York. 113-137, 1997.
[26] Baraona M, Sancho E. "Fruticultura especial (Manzana, Melocotón, Fresa y Mora)". *San José, Costa Rica*, Editorial EUNED, 84-115, 1998.
[27] Kader AA. "Postharvest technology of horticultural crops". *University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 3311*, California USA. 296, 1992.
[28] Carvajal de Pavon LM, Hadi Yahia CE, Cartagena R, Peláez C, Gaviria CA, Rojano BA. "Antioxidant capacity of two *Fragaria x ananassa* (Weston) Duchesne (strawberry) varieties subjected to variations in vegetal nutrition". *Rev Cubana Plant Med,* 17, 2012.

 ISSN: 2007 8102

Síntesis de catalizadores NiW/MgO-TiO_2 para la hidrodesoxigenación del aceite de palma

Alida Elizabeth Cruz Pérez[1]*, María Guadalupe Hernández Cruz[2], Ebelia del Ángel Meráz[1], Mayra Agustina Pantoja Castro[1], Marcia Eugenia Ojeda Morales[1]

[1]Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez km 1, Col. La Esmeralda, Cunduacán, Tabasco. C. P. 86690
[2]Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez, Carretera libre Villahermosa-Comalcalco km 27 S/N, Ranchería Ribera Alta. C.P. 86205
**alida.cruz@ujat.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

La hidrodesoxigenación del aceite de palma permite la obtención de biodiesel que presenta estándares iguales o superiores a los de los combustibles fósiles. El soporte MgO-TiO_2 (75:25) se impregnó con una solución acuosa de sales precursoras de metatungstato de amonio y $Ni(NO_3)_2$, con un contenido de 1.4, 2.8, 4.2 y 5.6 átomos W/nm^2 y una relación molar Ni/(Ni+W) = 0.3. Éstos se caracterizaron por medio de fisisorción de N_2; difracción de rayos X y espectroscopias de reflectancia difusa UV-visible; infrarroja y Raman. La evaluación de los catalizadores, previamente activados por sulfuración, se realizó empleando aceite de palma en un reactor por lotes durante dos horas a una temperatura de 220°C y una presión de 23 bar. Los resultados mostraron que el soporte favorece la dispersión de las especies Ni^{2+} octaédrico, WO_3 y WO_4^{2-}, lo cual incrementa su actividad en hidrodesoxigenación a pesar del bajo contenido de sales precursoras.

***Palabras clave:** hidrodesoxigenación, diésel verde, aceite de palma, MgO-TiO_2*

Abstract

The hydrodeoxygenation of palm oil allows obtaining a biodiesel that shows standards equal to or higher than those of fossil fuels. The MgO-TiO_2 (75:25) support was impregnated with an aqueous solution of precursor salts of ammonium metatungstate and $Ni(NO_3)_2$, with a content of 1.4, 2.8, 4.2 and 5.6 atoms W/nm^2 and Ni molar ratio /(Ni+W) = 0.3. These were characterized by N_2 physisorption; X-ray diffraction and UV-vis diffuse reflectance, infrared and Raman spectroscopies. The evaluation of the catalysts, previously activated by sulfurization, was carried out using palm oil in a batch reactor for two hours at a temperature of 220°C and a pressure of 23 bar. The results showed that the support favors the dispersion of the octahedral Ni^{2+}, WO_3 and WO_4^{2-} species, which increases its activity in hydrodeoxygenation despite the low content of precursor salts.

***Key words**: hydrodeoxygenation, green diesel, palm oil, MgO-TiO_2*

Introducción

El creciente consumo de energía y la necesidad de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles han propiciado la búsqueda y el desarrollo de fuentes energéticas a partir de recursos renovables. El biodiesel es un combustible renovable y se puede producir a partir de diferentes tipos de biomasa como aceites vegetales, aceites de cocina usados y grasas [1]. El aceite de palma es un sustrato atractivo para la producción de biodiesel ya que se produce de seis a diez veces más por hectárea de cultivo que cualquier otro aceite proveniente de oleaginosas; en México a partir de 1996 se ha beneficiado el cultivo de la palma de aceite principalmente en las entidades ubicadas en la región sur-sureste del país, de tal manera que en el año 2018 se reportó una producción de 809 mil toneladas de aceite de palma y se prevé que para el 2024 se alcancen las 973 mil toneladas por año [2].

 ISSN: 2007 8102

En la actualidad existen diferentes tipos de biodiesel, uno de ellos es el diésel verde o biodiesel renovable, el cual es producido por el hidrotratamiento catalítico de aceites y grasas vegetales. Este diésel está conformado principalmente de parafinas y está libre de compuestos aromáticos, oxígeno y azufre, además es un sustituto del diésel de alto rango competitivo, ya que contiene un rango de cetano entre 80-99, que es mucho mayor a los estándares del diésel [3]. Este tipo de diésel se puede producir por desoxigenación catalítica de triglicéridos, ésta inicia con la hidrogenación de los triglicéridos insaturados (doble enlace C=C) , seguida por la hidrogenólisis de los triglicéridos saturados formados, con lo cual se generan los respectivos ácidos grasos, este proceso posee la ventaja de que para llevarse a cabo no se requiere de la modificación de la infraestructura existente para el hidrotratamiento de combustibles fósiles, ya que se emplean temperaturas de 300 – 360 °C y presiones de H_2 mayores a 20 atm [3,4]. Existen tres reacciones competitivas para remover el oxígeno de los ácidos grasos: 1) Hidrodesoxigenación (HDO), una reacción exotérmica en la cual se remueve el oxígeno en forma de agua y se producen n-alcanos con el mismo número de carbonos que los respectivos ácidos grasos. 2) Descarbonilación (DCO) y 3) descarboxilación (DCO_2), reacciones endotérmicas en las cuales se elimina el oxígeno en forma de CO y agua, o CO_2, respectivamente. Como consecuencia, los n-alcanos resultantes presentan un carbono menos que el ácido graso original [5]. Los catalizadores soportados que se han reportado para la HDO de triglicéridos son sulfuros bimetálicos como $NiMoS_2$ y $CoMoS_2$ y $NiWS_2$, los cuales son muy activos y baratos, pero pueden sufrir desactivación por la oxidación [3]; fosfuros y carburos metálicos, cuya actividad se ve frecuentemente afectada por el tipo de soporte [3,6]; y catalizadores metálicos en estado reducido como Pd, Pt, Ru y Rh cuyo alto costo hace menos atractivo su uso [6,7] No existen reportes del uso de catalizadores NiW soportados en óxidos mixtos MgO-TiO_2 en el hidrotratamiento de aceites, sin embargo, algunos trabajos reportaron que en la reacción de hidrodesulfuración de dibenzotiofeno, el carácter básico del MgO permitía la dispersión de especies en fase óxido de Ni y W en su superficie, mientras que el TiO_2 les brindaba estabilidad térmica y mecánica, lo cual conducía a una actividad parecida a la de los catalizadores industriales en el hidrotratamiento de diésel y gasolina [8]. De acuerdo con lo expuesto, en este trabajo se evalúa el uso de catalizadores NiW soportados en óxidos mixtos MgO-TiO_2 en la reacción de hidrodesoxigenación del aceite de palma.

Metodología

El soporte de óxidos mixtos MgO-TiO_2 con 25% mol de TiO_2 se preparó por medio del método sol-gel usando como precursores etóxido de magnesio $C_4H_{10}MgO_2$ (Aldrich, 98%) e isopropóxido de titanio $C_{12}H_{28}O_4Ti$ (Aldrich, 97%) disueltos en 2-propanol (Aldrich, 99.5%), se realizó la hidrólisis con agua desionizada, el gel se secó y calcinó a 120 y 550°C, respectivamente. Posteriormente, el soporte MgO-TiO_2 sintetizado se impregnó por el método de llenado de poro con una solución acuosa de sales precursoras de metatungstato de amonio (MTA) $H_{26}N_6O_{40}W_{12}$*$6H_2O$ (Aldrich, ≥65%) y Ni $(NO_3)_2$ (Aldrich, ≥70%). Con un contenido de 1.4, 2.8, 4.2 y 5.6 átomos W/nm^2 y una relación molar Ni/(Ni+W) = 0.3. Los catalizadores obtenidos se secaron a 120 °C y se calcinaron a 400 °C. La nomenclatura empleada para identificar a los catalizadores sintetizados se muestra en la Tabla 1

Tabla 1. Nomenclatura de los catalizadores NiW/MgO-TiO_2 sintetizados

Catalizador	***Contenido de W (Átomos W /nm²)***
NiW-1.4	1.4
NiW-2.8	2.8
NiW-4.2	4.2
NiW-5.6	5.6

La caracterización fisicoquímica se llevó a cabo por medio de fisisorción de N_2 en un equipo Micromeritics Tristar 3020 II PLUS; espectroscopia de reflectancia difusa (ERD) UV-vis en un espectrofotómetro UV-Viso

 ISSN: 2007 8102

Spectophotemeter-2600, Shimadzu; espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) en un espectrofotómetro FT-IR Shimadzu Mod. IRAFfinity; difracción de rayos X (DRX) en un difractómetro de rayos X para polvos marca Bruker D2 Phaser y espectroscopia Raman en un equipo Xplora Pus Horiba.

La evaluación catalítica en la reacción de hidrodesoxigenación se realizó empleando aceite de palma crudo (Breiko, grado cosmético) y metanol (Aldrich, ≥99.9%), se realizó en un reactor por lotes marca PARR 4848 durante dos horas a una temperatura de 220°C y una presión de 23 bar, siendo previamente activados con una solución de disulfuro de carbono en n-heptano al 2% (Aldrich, 99%) a 220°C con presión de 5 bar. Se llevó a cabo la reacción de hidrodesoxigenación en presencia de metanol (Aldrich, 99%) en una relación del 5% p/p de catalizador con respecto a la masa del aceite y una relación molar metanol – aceite de 1:100. Para la identificación y cuantificación de reactivos y productos en las muestras tomadas durante las reacciones se utilizó un cromatógrafo de gases Thermo Scientific Trace 1310.

Resultados y discusión

La caracterización por medio de fisisorción mostró que el soporte MgO-TiO_2 presenta un A_{BET}= 106.26 m^2/g, un volumen y diámetro de poro de 0.30 cm^3/g y 8.71 nm, respectivamente. De acuerdo con la IUPAC, la isoterma de adsorción es de tipo IV y la histéresis formada entre las isotermas de adsorción y desorción es tipo H1 (Figura 1), lo cual indica que se encuentra conformado principalmente por mesoporos con forma cilíndrica con distribución de forma y tamaño uniforme [9].

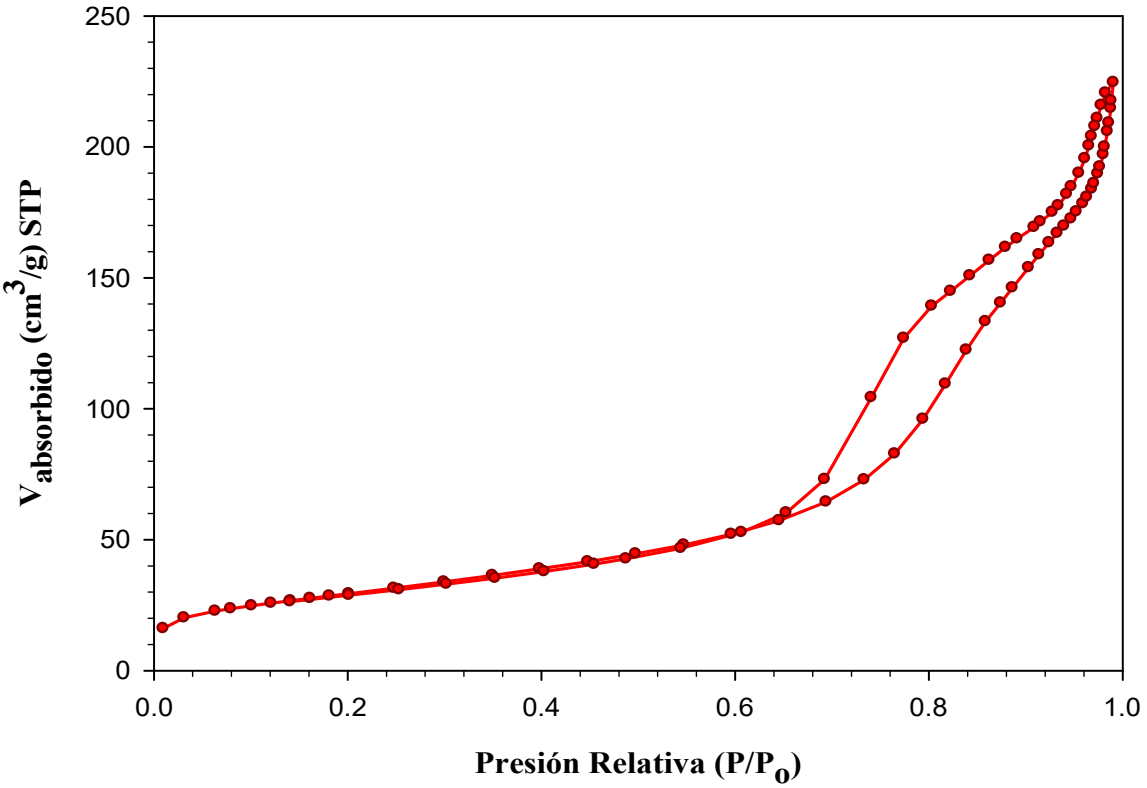


Figura 1. Isotermas de adsorción-desorción del soporte MgO-TiO_2

En la Figura 2 se muestran los espectros de reflectancia difusa UV-vis de los catalizadores sintetizados, éstos muestran bandas comprendidas entre 200 y 400 nm que corresponden a las especies de óxido de tungsteno W^{6+} con geometría tetraédrica (250-280 nm) y octaédrica (290-390 nm) [10], sin embargo, es probable que se traslapen con la banda de transferencia del $O^{2-} \rightarrow Ti^{4+}$ del soporte que aparece en la misma región [11], por lo que su asignación e interpretación podría no ser precisa.
También se observa una banda intensa alrededor de los 670 nm que se atribuye al Ni^{2+} con geometría local octaédrica y se relaciona con la interacción Ni-W [8,11], se observa otra banda alrededor de los 740 nm con

ISSN: 2007 8102

intensidad ligeramente menor, ésta se asigna al Ni^{2+} con geometría local tetraédrica, la cual se asocia con la formación de espinelas Ni-soporte [8], las cuales dificultan la activación catalítica al ser difíciles de sulfurar.

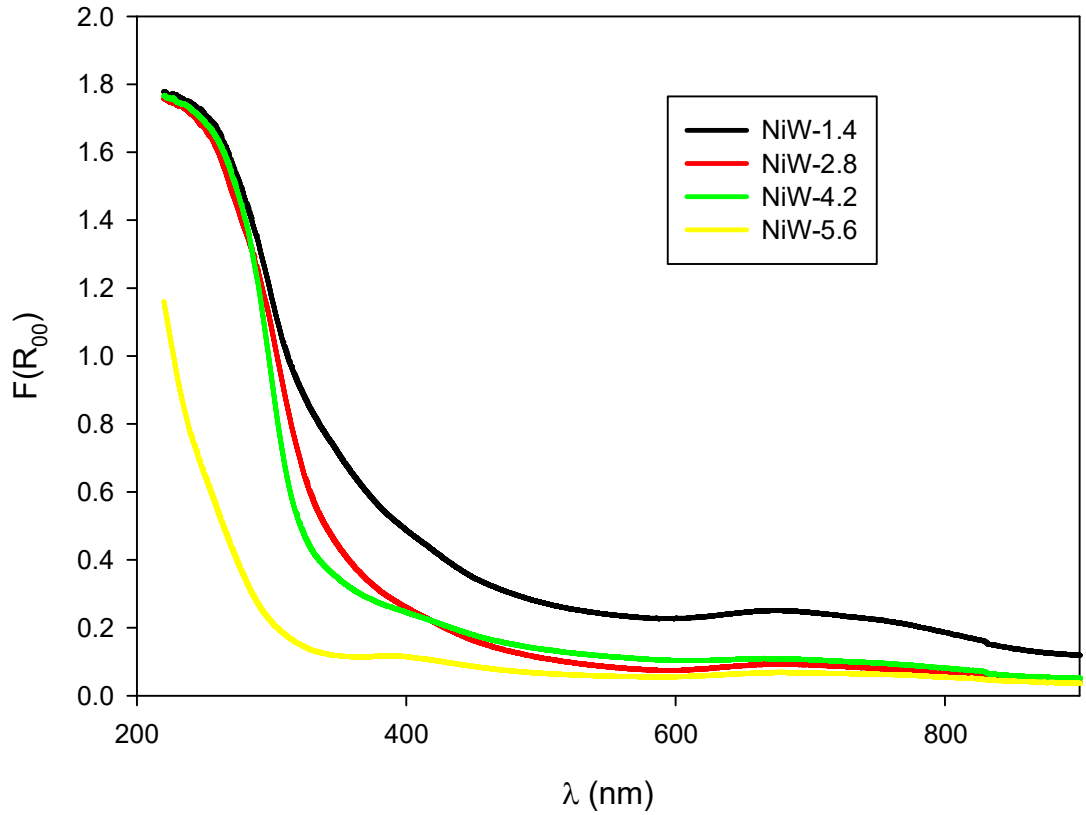


Figura 2. Espectros RD UV-Vis de los catalizadores NiW/MgO-TiO_2 sintetizados

La Figura 3 muestra el espectro FTIR en el intervalo de 400 a 1000 cm^{-1} de los catalizadores. El espectro muestra señales en 580 y 860 cm^{-1} atribuidas a los modos de estiramiento de O-W-O and W-O-W respectivamente, del WO_3 [12], mientras que a 606 cm^{-1} se muestra una señal indicativa del modo O-W-O influenciado por grupos OH superficiales [12]. Además, las señales a 449, 530 y 857 cm^{-1} se encuentran muy cerca de las posiciones de los modos asociados con el WO_3 monoclínico [13]. También se observan bandas anchas en 825, 606 y 450 cm^{-1} que pueden confirmar la formación de $NiWO_4$ [12], mientras que el hombro a 850 cm^{-1} se atribuye a los modos de estiramiento del enlace terminal W=O presente en el WO_3.[14]

ISSN: 2007 8102

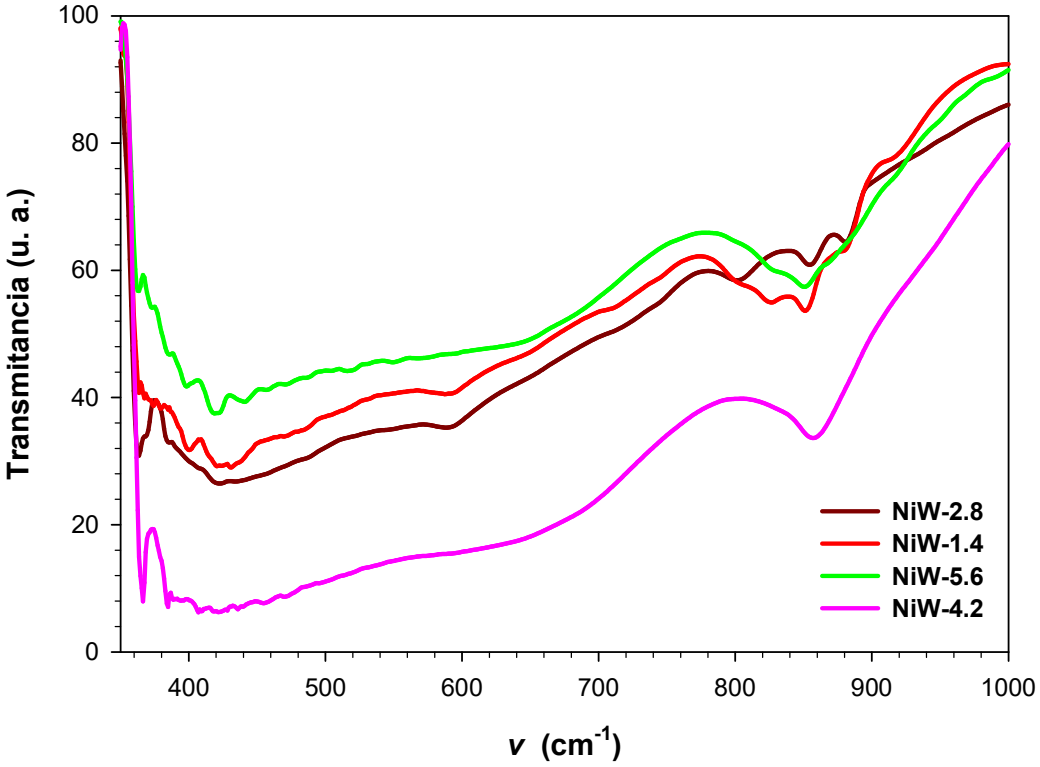


Figura 3. Espectros FTIR de los catalizadores NiW/MgO-TiO_2 sintetizados

La Figura 4 muestra el difractograma del soporte MgO-TiO_2. Se pueden observar señales en 2θ = 42.5°, 62° y 36 ° que son correspondientes a la estructura cubica del MgO en fase periclasa de acuerdo con el JCPDS No. 064930. Además, se observan puntos de reflexión en 2θ = 26, 38 y 58 ° característicos del TiO_2 en fase anatasa [8] y en 2θ = 18° y 57° que corresponden al Mg_2TiO_4 en forma de espinela [14].

ISSN: 2007 8102

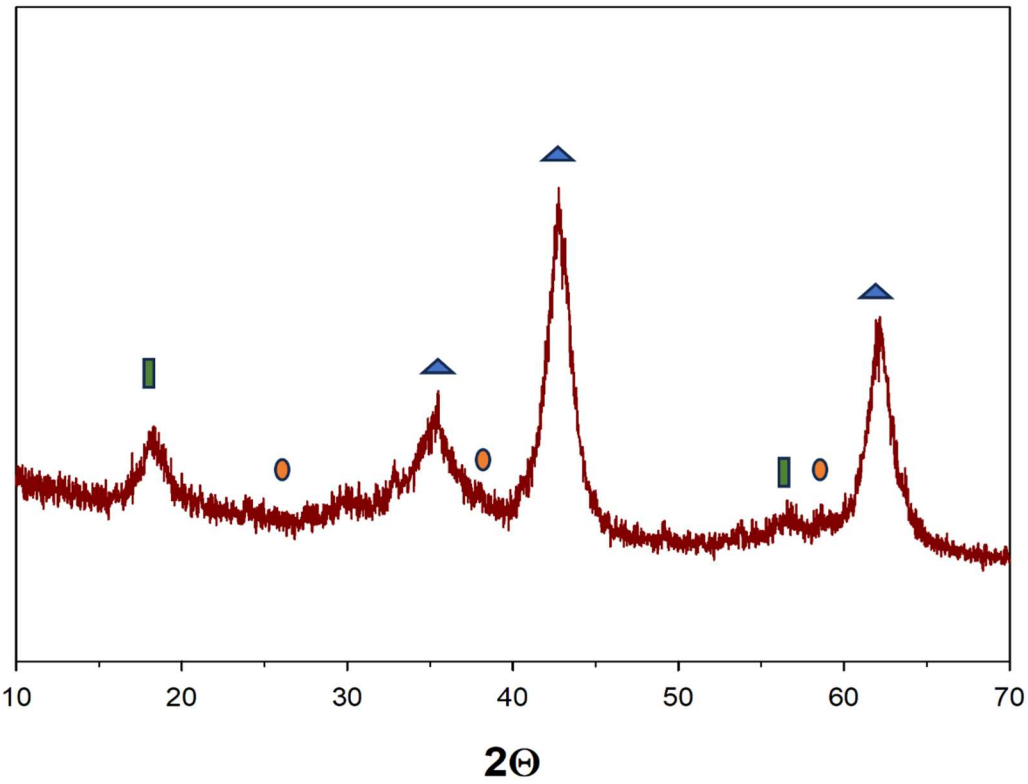


Figura 4. Difractograma del soporte MgO-TiO_2.: ▲ Estructura cúbica del MgO en fase periclasa; ⬮ TiO_2 en fase anatasa; ▮ Espinela Mg_2TiO_4

En la Figura 5 se muestran los difractogramas de los catalizadores sintetizados. Se observa que se mantienen las fases del MgO y TiO_2 del soporte, además de TiO_2 en fase rutilo en 30° y 35 ° [8], esto se debe a un cambio en la estructura ocasionada por la impregnación y calcinación de los catalizadores. Se muestran picos en 2θ = 21°, 23°, 24°, 41°, 46°, 49° y 57° pertenecientes a la fase monoclínica del WO_3 [8,11,15], estas señales aumentan de intensidad al aumentar el contenido de W, lo cual significa que el soporte permite su dispersión y podría favorecer la actividad catalítica. Sin embargo, se observan señales de difracción en 2θ = 53°, 54°, 62 y 64° que corresponden a la presencia de cristales monoclínicos de $NiWO_4$ [8] los cuales dificultan la activación por sulfuración ocasionando una pérdida en la actividad catalítica.

ISSN: 2007 8102

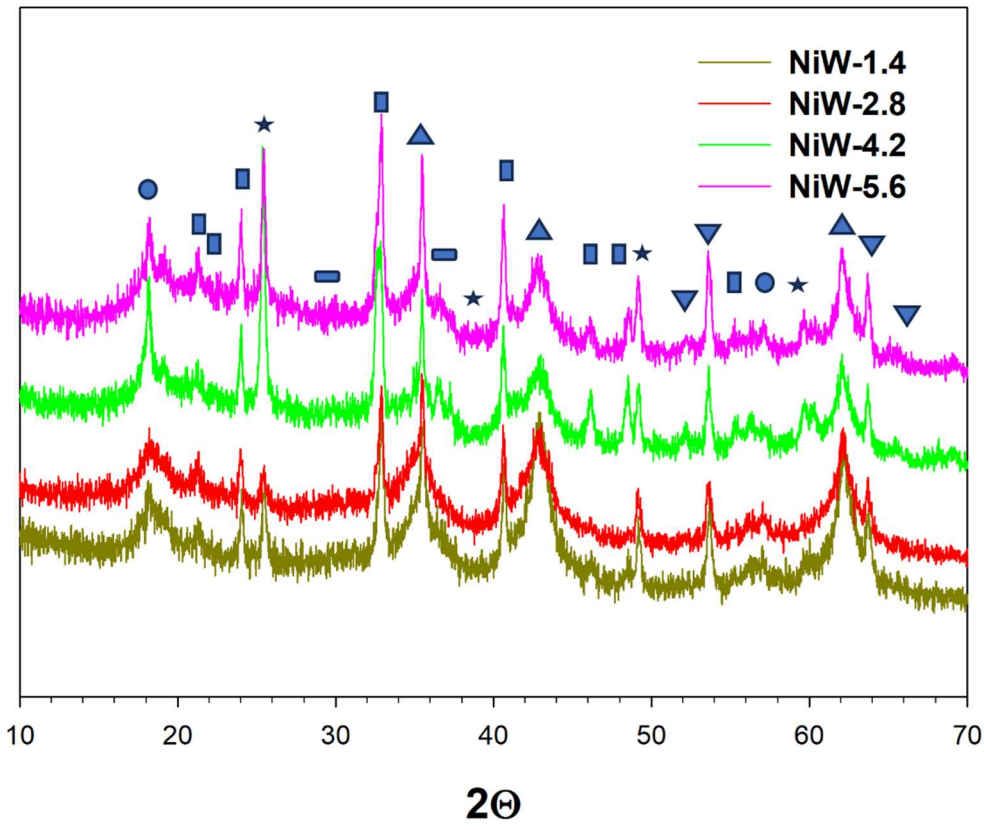


Figura 5. Difractogramas de los catalizadores NiW/MgO- TiO_2 sintetizados: ▲ Estructura cúbica del MgO en fase periclasa; ★ TiO_2 en fase anatasa; ▬ TiO_2 en fase rutilo; ● Espinela Mg_2TiO_4; ▮ Fase monoclínica del WO_3; ▼ cristales monoclínicos de $NiWO_4$;

En la Figura 6 se observan los espectros Raman de los catalizadores. En general, los catalizadores presentaron señales entre 800 y 900 cm^{-1} que son características de especies de W con enlace W=O terminal [16]. La señal a 710 cm^{-1} corresponde a los estiramientos O-W-O y las presentes alrededor de 810 y 908 cm^{-1} se asignan al enlace W=O terminal del monómero WO_4^{2-} con geometría local tetraédrica, el cual se observó en la mayoría de los catalizadores sintetizados [11]. Únicamente, el catalizador NiW-1.4 muestra una banda ligeramente desplazada hacia la región de 935 cm^{-1} asociada también al WO_4^{2-}, sin embargo, podrían estar presentes algunas especies altamente polimerizadas [17]. Esto resultados indican que el WO_4^{2-} se encuentra disperso en la superficie y probablemente interactuando con el Ni^{2+} con geometría octaédrica.

ISSN: 2007 8102

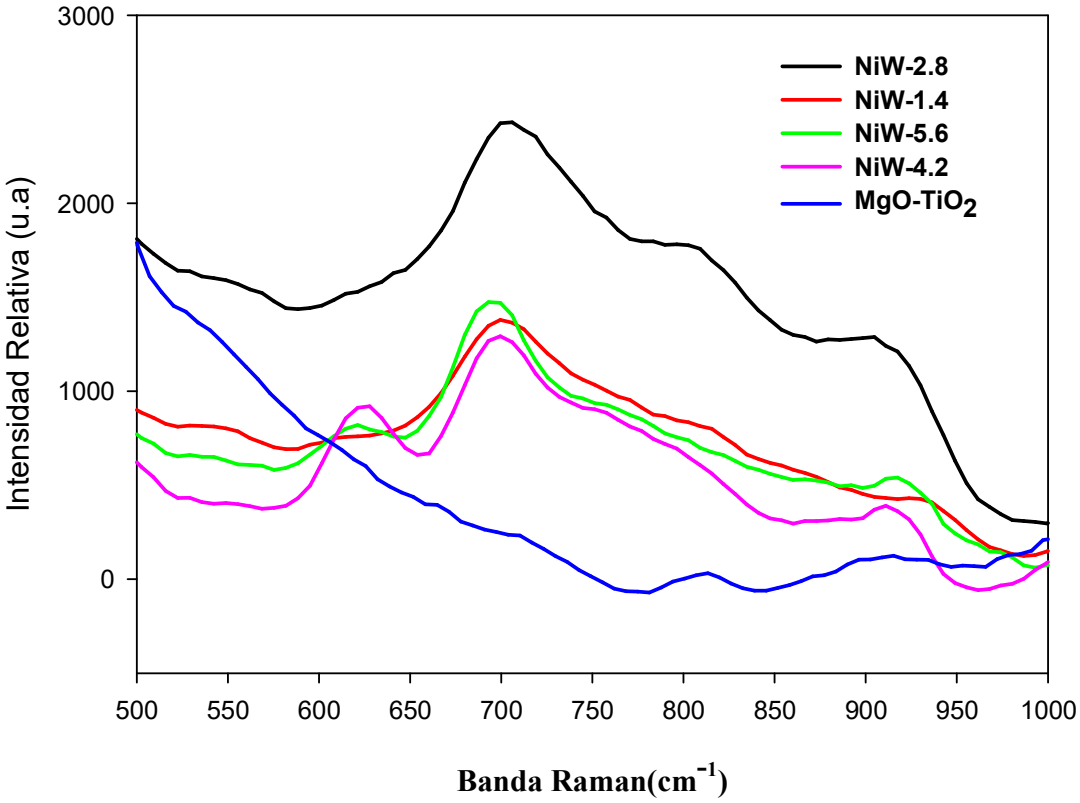


Figura 6. Espectros Raman de los catalizadores sintetizados NiW/MgO-TiO_2

Evaluación catalítica

La producción de diésel verde por medio de hidrodesoxigenación se ilustra en la Figura 7. Primero los triglicéridos insaturados del aceite se hidrogenan para formar triglicéridos saturados. Posteriormente, la hidrogenólisis de los triglicéridos saturados producen ácidos grasos libres y propano (C_3H_8), que podrían escindirse parcialmente en etano y metano [18]. Los triglicéridos que componen el aceite interactúan con el metanol y la adición del H_2, en presencia del catalizador, obteniéndose una mezcla de esteres metílicos (diésel renovable) como producto principal.

 ISSN: 2007 8102

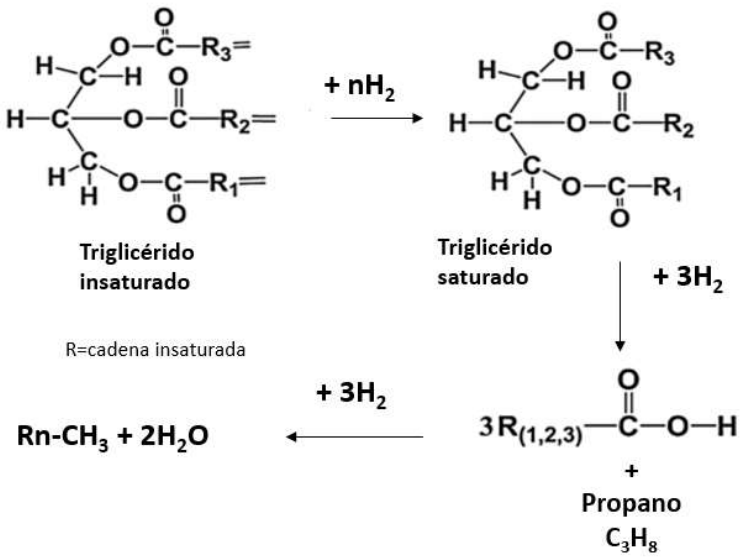


Figura 7. Vía de reacción para producción de diésel verde por HDO de triglicéridos insaturados [18]

Los resultados de la actividad catalítica se muestran en la Tabla 2. En el análisis por cromatografía de gases del diésel obtenido se identificó la presencia de al menos cinco métil ésteres: palmitato de metilo, esteorato de metilo, metil elaidato, oleato de metilo y linolealaidato, la señal con mayor área bajo la curva se observó en el palmitato de metilo. Los rendimientos obtenidos con tres de los materiales sintetizados son relativamente bajos, menos del 50 %, esto se debe al poco contenido de Ni y W con respecto a los contenidos reportados en catalizadores convencionales para la producción de biodiesel, aproximadamente del 15 al 30% p/p [4]. Sin embargo, se observó un incremento lineal de la actividad respecto al contenido de W y Ni, esto indica una buena dispersión de las especies superficiales Ni^{2+}, WO_4^{2-} y WO_3, las cuales son fácilmente sulfuradas y conllevan a una mayor formación de fases activas NiWS y por ende mejoran la actividad catalítica.

Tabla 2. Rendimiento obtenido por los catalizadores NiW/MgO-TiO_2 en la HDO del aceite de palma

Catalizador	*Rendimiento*
NiW -1.4	10.05
NiW – 2.8	23.08
NiW – 4.2	38.15
NiW – 5.6	51.69

Trabajo a futuro

Se pretende continuar trabajando con los catalizadores NiW, incorporando el Mo y empleando diversos soportes que favorezcan su dispersión, tales como zeolitas y carbones activados. También se prevé aumentar el contenido de las sales precursoras.

Conclusiones

Se sintetizaron catalizadores NiW/MgO-TiO_2 en los cuales la estructura del soporte no se modificó significativamente por la impregnación de las sales precursoras y se favoreció la dispersión de las especies WO_3 y WO_4^{2-}, inclusive al aumentar el contenido de W. Es probable que un efecto sinergético del Ni^{2+} octaédrico sobre éstas favoreciera la activación por sulfuración y por ende la actividad catalítica aumentó proporcionalmente con

 ISSN: 2007 8102

respecto al contenido de Ni y W. Sin embargo, factores como el bajo contenido de las fases precursoras; la interacción Ni-soporte y la formación de espinelas $NiWO_4$, contribuyeron a la baja actividad catalítica en general. No obstante, el rendimiento de la reacción se podría mejorar significativamente con estos materiales, ya que no se observó algún proceso de desactivación al aumentar el contenido de Ni y W.

Referencias

[1] R. Balan Chan, I. Elizalde Martínez, " Algunos aspectos de producción de diésel verde a partir de materias primas de segunda generación y la tecnología del hidrotratamiento", *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, vol. 6 p.p. 1-15, 2018

[2] Planeación agrícola Nacional. Palma de aceite mexicana, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA, México 2017

[3] S. Bezergianni, A. Dimitriadis, "Comparison between different types of renewable diesel. Renewable and sustainable" *Energy reviews*, vol. 21, p.p 110-116, 2013

[4] G. Knothe, "Biodiesel and renewable diesel: a comparison", *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 36, p.p. 364-373, 2010.

[5] E. A. De la Rosa Reyna, "Hidrotratamiento de aceite Vegetal Jatropha Curcas L. para la producción de combustibles verdes", Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. México. D.F, 2013

[6] C. Cabello, S. Rincón, A. Zepeda, "Catalizadores heterogéneos utilizados para la obtención de biodiesel", *Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry*, vol 76, p.p. 577-590, 2017.

[7] I.M. Rizwanul Fattah, H.C. Ong, T.M.I. Mahli, M. Mofijur, A.S. Silitonga, S.M. Ashrafur Rahman SM "State of the art of catalysts for biodiesel production", *Frontiers in Energy Research*, vol 8, p.p. 101-110, 2020

[8] Y. Torres Jiménez, J.J. Velasco Alejo "Síntesis de catalizadores NiW/MgO-TiO_2 para la obtención de combustibles con ultrabajo contenido de azufre", Tesis de licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; México, 2014.

[9] A. Fasolini, E. Spennati, S. Ebrahim Atakoohi, M. Percivale, G. Busca, F. Basile, G. Garbarino, "A study of CO_2 hydrogenation over Ni-MgAlOx catalysts derived from hydrotalcite precursors", *Catalysis Today*, vol, 423, 2023,

[10] M.O. Alonso-Pérez, B. Pawelec, T.A. Zepeda, G. Alonso-Núñez, R. Nava, R.M. Navarro, R. Huirache-Acuña, "Effect of the titanium incorporation method on the morphology and HDS activity of supported ternary Ni–Mo–W/SBA-16 catalysts", *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 312, 2021,

[11] A. E. Cruz Pérez, Y. Torrez Jiménez, J. J. Velasco Alejo, T. A. Zepeda, D. M. Frías Márquez, M. G. Rivera Ruedas, S. Fuentes, J. N. Díaz de León, "NiW/MgO–TiO_2 catalysts for dibenzothiophene hydrodesulfurization: Effect of preparation method", *Catalysis Today*, vol. 271, p.p. 28-34, 2016.

[12] J.J. Julio, E. Puello, J. Brito, "Síntesis y caracterización de heteropolioxometalatos tipo anderson de Ni-Mo (W) soportados sobre alúmina: actividad de hidrodesulfuración de tiofeno" I*teckne*, vol. 13, p.p. 36-43, 2016

[13] M. Mokhtar Mohamed, M. Khairy, S. Eid, "Polyethylene glycol assisted one-pot hydrothermal synthesis of $NiWO_4/WO_3$ heterojunction for direct Methanol fuel cells", *vol* 263, p.p. 286-298, 2018

[14] V. Avalos Ballester. "Síntesis de catalizadores para hidrodesulfuración de dibenzotiofeno a partir de heteropolitungstatos soportados en MgO-TiO_2. Efecto del contenido de tungsteno". Tesis de Licenciatura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, México, 2017

[15] P.V. Morais, P. H. Suman, R. A. Silva, M. O. Orlandi, "High gas sensor performance of WO_3 nanofibers prepared by electrospinning", *Journal of Alloys and compounds*, vol 864, p.p. 1-8, 2021

[16] A. E. Cruz Pérez, " Estudio de las interacciones moleculares en catalizadores NiMo/MgO-TiO_2 y NiW/TiO_2-Al_2O_3 y su efecto en la hidrodesulfuración de combustibles" Tesis de doctorado". Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; México, 2012.

[17] J. N. Díaz de León, Tesis de maestría, "Análisis de los efectos producidos por la variación de soporte en el sistema NiW usado en la HDS de DBT", Universidad Autónoma de México, 2007.

[18] M. Ruangudomsakul, N. Osakoo, J. Wittayankun, C. Keawkunay, T. Butburee, S. Youngian, K. Faungnawakij, Y. Poo-arporn, P. Kidkhunthod, P. Khemthog, "Hydrodeoxygenation of palm oil to green dielse products on mixed-phase nickel phosphides", *Molecular Catalysis*, vol 523, p.p. 1-12, 2022

 ISSN: 2007 8102

Efecto del secado solar sobre las propiedades fisicoquímicas del epazote (*Dysphania ambrosioides*)

Ana María Lucho Gómez [1], Alfredo Domínguez Niño [1], Octavio García Valladares [1], Rosa María Chávez Santos [2]*
[1]Instituto de Energías Renovables-UNAM, [2]Instituto de Química-UNAM
amlugo@ier.unam.mx, aldoni@ier.unam.mx, ogv@ier.unam.mx, romach1305@outlook.com

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

En este estudio se utilizó un secador solar mixto tipo gabinete de mediana capacidad, con el objetivo de analizar como afectaba el uso de diferentes factores (malla sombra, ventilador, tipo de cubierta de colector) sobre el tiempo de secado, contenido de humedad, actividad de agua, diferencia de color y actividad antioxidante del epazote (*Dysphania ambrosioides*). El tiempo más corto de secado se registró para la corrida 3 (sin malla sombra, con ventilador, colector con cubierta de policarbonato) con 4 horas; para esa misma corrida se vieron favorecidas la actividad de agua y la diferencia de color, con 0.432 y 4.7, respectivamente. El contenido de humedad más bajo se registró para la corrida 5 (Sin malla sombra, sin ventilador, colector con cubierta de vidrio) con 4.6%. Mientras que la actividad antioxidante se vio favorecida en la corrida 2 (malla sombra, sin ventilador, colector con cubierta de policarbonato) con 10.27%.

***Palabras clave**: Dysphania ambrosioides, Secado solar, Cinéticas de secado, Malla sombra*

Abstract

In this study, a medium-capacity cabinet-type mixed solar dryer was used, with the aim of analyzing how the use of different factors (mesh shade, fan, type of collector cover) affected drying time, moisture content, activity of water, color difference and antioxidant activity of epazote (*Dysphania ambrosioides*). The shortest drying time was recorded for run 3 (without mesh shade, with fan, collector with polycarbonate cover) with 4 hours; for that same run, the water activity and the color difference were favored, with 0.432 and 4.7, respectively. The lowest moisture content was recorded for run 5 (without mesh shade, without fan, collector with glass cover) with 4.6%. While the antioxidant activity was favored in run 2 (mesh shade, without fan, collector with polycarbonate cover) with 10.27%.

***Key words**: Dysphania ambrosoides, Solar drying, Drying kinetics, Mesh shade*

Introducción

Se conocen como plantas aromáticas y medicinales a las plantas que producen compuestos fragantes; estas tienen la capacidad de sintetizar compuestos en diferentes partes de la planta [1]. Las plantas aromáticas se han utilizado regularmente como ingredientes de medicamentos, alimentos y cosméticos [2]. Estas plantas y sus aceites esenciales forman parte de la gran riqueza que posee México, sin embargo, el conocimiento que se tiene sobre ellas es limitado [3]. Además de sus propiedades aromáticas, sus componentes químicos activos hacen que las hierbas sean muy útiles para fabricar diversos aditivos [2]. El epazote (*Dysphania ambrosioides*) es apreciado tanto por su sabor como por sus propiedades medicinales. Es una planta anual o perenne de vida corta, que llega a crecer en promedio 1.2 m, tiene el tallo muy ramificado, con ramas de desarrollo irregular y hojas oblongo-lanceoladas de hasta 12 cm de longitud [4]. Se estima que la producción anual en

 ISSN: 2007 8102

México es de más de dos mil toneladas [5]. En la gastronomía mexicana se usa en múltiples platillos como frijoles, esquites, quesadillas, tamales, sopas de mariscos, caldos, guisados, etc.

El secado solar es considerado un método de secado eficiente para productos agrícolas, en el cual se emplea la energía radiante procedente del sol. Existen diferentes tipos de secadores empleados para la deshidratación solar de alimentos. Según el mecanismo por el cual se transfiere al producto la energía utilizada para eliminar la humedad, se clasifican en cuatro categorías: i) secado a cielo abierto, ii) secadores solares directos, iii) secadores solares indirectos y iv) secadores solares de tipo mixto. El primer método somete al producto a condiciones adversas, como la radiación solar directa y el viento. El segundo método coloca el producto en un recinto con tapas transparentes o paneles laterales. En el tercer método, primero se calienta el aire y luego se introduce en una cámara con el producto, y finalmente, el último método combina la radiación incidente y el aire precalentado [6].El uso directo e indirecto de las hierbas aromáticas, como el epazote, requiere un acondicionamiento y secado especial [7]. Sin embargo, existen pocos datos disponibles sobre el secado de epazote, por lo que el objetivo de este trabajo fue secar el epazote utilizando un secador solar mixto tipo gabinete para alcanzar condiciones estables en el contenido de humedad y actividad de agua final, sin que se vieran afectadas las propiedades colorimétricas y la actividad antioxidante.

Metodología

Los experimentos se llevaron a cabo en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM en Temixco, Morelos.

Diseño de experimentos

Para realizar el proceso de secado de epazote se propuso un diseño de experimentos 2^3, en la Tabla 1 se muestran los factores y niveles del diseño.

Tabla 1. Diseño de experimentos con factores y niveles

Factor	Nivel bajo (-1)	Nivel alto (+1)
Malla sombra	Sin malla	Con malla
Ventilador	Sin ventilador	Con ventilador
Tipo de cubierta del colector	Policarbonato	Vidrio

Materia prima

La materia prima que se utilizó en los experimentos fue el epazote fresco (Figura 1), el cual se obtuvo en el mercado de Cuernavaca, Morelos. Se seleccionó el epazote con las hojas en mejor estado, que no tuvieran daños físicos.



Figura 1. Muestra fresca de epazote

ISSN: 2007 8102

Descripción del equipo

Para el proceso de secado se utilizó un secador solar mixto tipo gabinete de mediana capacidad, el cual consta de dos partes fundamentales, un colector solar plano para calentar el aire y una cámara de secado con cubierta de policarbonato. Como el tipo de cubierta del colector era un factor en el diseño de experimentos, se utilizaron dos secadores con diferentes colectores, uno con cubierta de policarbonato y otro con cubierta de vidrio, los cuales se observan en la Figura 2. Otro componente importante del secador es el ventilador, el cual se encuentra en la parte trasera de la cámara de secado y funciona con un panel fotovoltaico. Además, se utilizó una malla sombra del 70%, la cual se colocó en la cámara de secado, cuando lo requería la corrida experimental.



a) b)

Figura 2. Secadores solares de gabinete con colector solar, a) Colector con cubierta de policarbonato, b) Colector con cubierta de vidrio.

Preparación de la muestra

El epazote se lavó y desinfectó, posteriormente se cortaron las hojas, ya que los tallos al ser más gruesos tardarían más en secarse. Después de tener únicamente las hojas, se colocaron 100 gramos de muestra en mallas de teflón y posteriormente se llevaron a las charolas dentro del secador.

Desarrollo

Se realizaron 8 corridas experimentales, de acuerdo con lo propuesto en del diseño de experimentos. Al inicio de cada experimento se midió el contenido de humedad, la actividad de agua y el color. Además, se midió la actividad antioxidante. El contenido de humedad se determinó con una termobalanza (OHAUS), en la cual se colocaron 3 gramos de epazote. La actividad de agua fue determinada mediante el uso de un medidor de agua HygroLabC1, a una temperatura constante (25°C). Finalmente, el color se midió con ayuda de un colorímetro portátil (NR60CP). La actividad antioxidante de los extractos fue determinada utilizando el método de la actividad atrapadora del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidazil (DPPH), descrita por Chaves [8], con algunas modificaciones.

 ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Cinéticas de secado

En la Figura 3 se muestran las cinéticas de secado obtenidas para el epazote, en ella se observan los tiempos de secado para cada corrida experimental, donde el tiempo más corto se registró para el experimento 3 con 4 horas; las condiciones que se utilizaron para esa corrida fueron el colector con cubierta de policarbonato, sin malla sombra y con ventilador. Mientras que el tiempo de secado más largo se registró fue en el experimento 8 con 7 horas. Actualmente no se han reportado estudios sobre el secado solar de epazote, sin embargo, Orphanides [9] realizó un análisis de diferentes métodos de secado aplicados a hierbas aromáticas, en el cual se mencionan tiempos de secado entre 1.5 y 48 horas. Por lo tanto, los tiempos que se registraron en este trabajo para el epazote son buenos, ya que en un día las muestras alcanzaban un contenido de humedad por debajo del 10%.

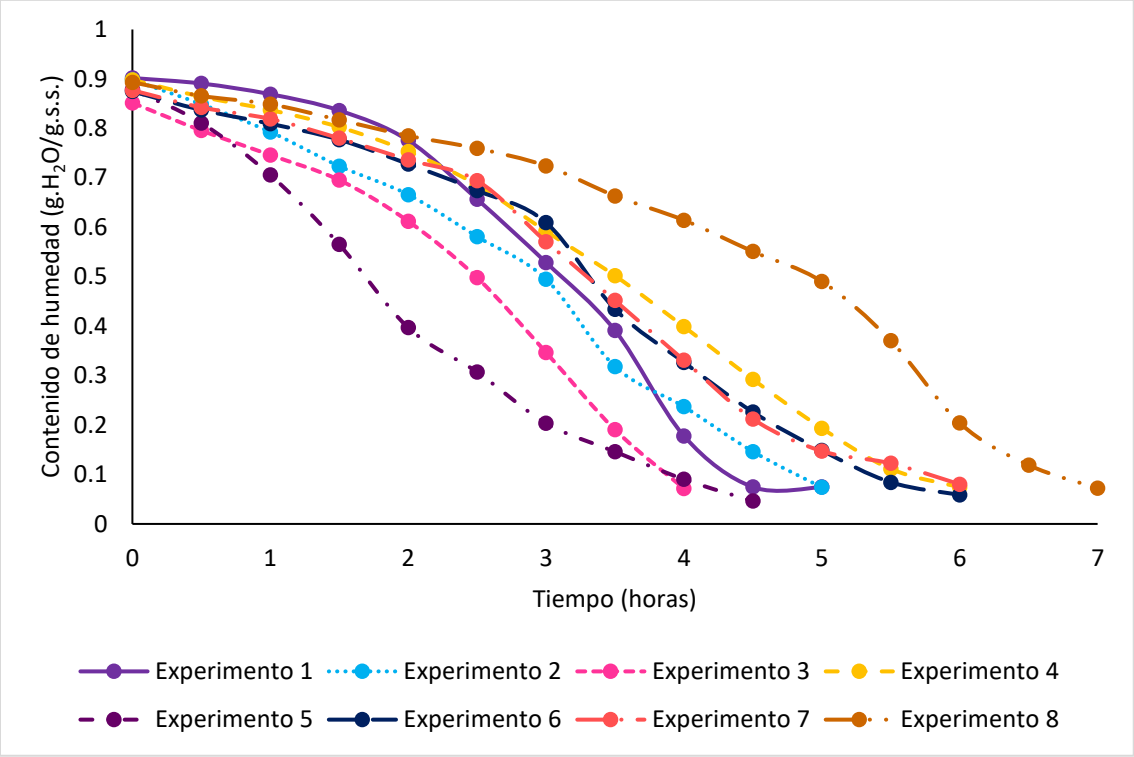


Figura 3. Cinéticas de secado obtenidas para el epazote

Contenido de humedad

El contenido de humedad inicial que se registró para el epazote estuvo entre 85 y 90%, sin embargo, cuando se sometió al proceso de secado disminuyó a menos del 10%. Como se observa en la Tabla 2, el valor más bajo de humedad final se registró para la corrida 5 con 4.6%. Para obtener un valor bajo de humedad el proceso debe llevarse a cabo sin usar malla sombra, sin ventilador y con el colector con cubierta de vidrio.

Actividad de agua

Los valores que se obtuvieron en las muestras frescas de epazote fueron muy cercanos a 1, pero al someterlas al proceso de secado este valor disminuyó significativamente. En la Tabla 2 se observa que para todas las corridas la a_w fue menor a 0.6, lo cual nos indica que se encuentran en condiciones estables para su conservación, ya que por debajo de 0.6 se inhibe el crecimiento de los microorganismos, prolongando así su vida de anaquel.

 ISSN: 2007 8102

A pesar de que los resultados son buenos, los valores más bajos que se obtuvieron fueron 0.423 y 0.432, que corresponden a la corrida 8 y 3, respectivamente. En ambas corridas se usó el ventilador, sin embargo, la diferencia entre estas fue que para corrida 8 se usó la malla sombra y el colector con cubierta de vidrio, mientras que para la corrida 3 no se usó la malla sombra y se usó el colector con cubierta de policarbonato.

Tabla 2. Resultados obtenidos para las variables de respuesta en el epazote

Factores				Variables de respuesta					
Corridas	X_1	X_2	X_3	Contenido de humedad final (%)	Actividad de agua final	Parámetros de color			
						L	a	b	ΔE
1	-1	-1	-1	7.4	0.523	43.67	-2.33	19.85	11.72
2	+1	-1	-1	7.4	0.477	46.38	-7.95	23.73	6.75
3	-1	+1	-1	7.1	0.432	33.7	-6.18	18.24	4.7
4	+1	+1	-1	7.4	0.550	42.42	-6.38	24.63	5.38
5	-1	-1	+1	4.6	0.492	37.54	-5.44	21.68	12.47
6	+1	-1	+1	5.8	0.555	37.98	-7.89	20.65	7.19
7	-1	+1	+1	8	0.513	42.73	-12.34	22.81	13.7
8	+1	+1	+1	7.2	0.423	40.79	-5.81	27.5	7.01

L (Luminosidad), a (Verde-Rojo), b (Amarillo-Azul), ΔE (Diferencia de color), X_1=Malla sombra, X_2= Ventilador, X_3= Tipo de colector

Diferencia de color

Para cada una de las muestras secas se midió el color, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 2. Se observó que la mayoría de las muestras presentó una diferencia de color baja, es decir, que el color no varió tanto después de ser sometida al proceso de secado. Los valores que se obtuvieron para la ΔE estuvieron entre 4.7 y 13.7, que como ya se mencionó, son valores bajos. En la Figura 4 se muestra el epazote fresco comparado con el que secó bajo las diferentes condiciones y se puede observar que en las muestras secas la diferencia de color no es tan evidente.

La diferencia de color más baja que se registró fue de 4.7 la cual corresponde a la corrida 3, donde no se usó malla sombra, se usó el ventilador y el colector con cubierta de policarbonato; mientras que cuando se usó malla sombra, bajo esas mismas condiciones, se obtuvo una diferencia de color de 5.38, que de igual forma es baja.

De acuerdo con Orphanides [9] la conservación del color depende de la planta, esto porque cada planta tiene diferentes compuestos, los cuales al someterse a un proceso como el secado pueden verse afectados por las temperaturas alcanzadas.

 ISSN: 2007 8102

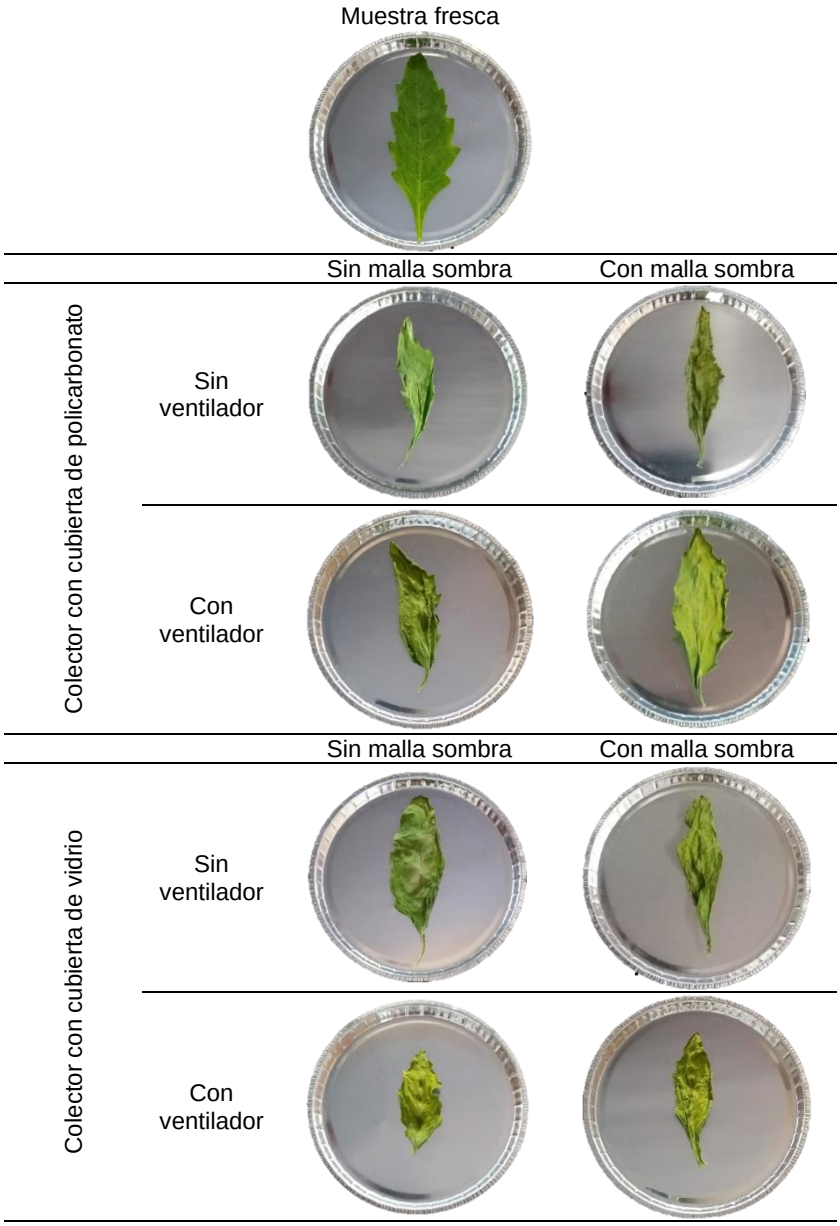


Figura 4. Muestras de epazote secas comparadas con la muestra fresca

Actividad antioxidante

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos para la actividad antioxidante a una concentración de 100 µg/ml. La muestra fresca tuvo un porcentaje de reducción de DPPH del 14%. Villalobos Delgado [10] reportó un valor del 13% de inhibición del DPPH, similar al obtenido en este estudio. Para todas las corridas experimentales se observó que el porcentaje disminuyó, lo cual puede atribuirse a que los diferentes compuestos del epazote al someterse a diferentes temperaturas se vieron afectados. Como lo que se espera es que se conserve la actividad antioxidante después del secado, el porcentaje más alto que se obtuvo fue de 10.27 para la corrida 2, donde se usó la malla sombra y el colector con cubierta de policarbonato, pero sin el ventilador.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 3. Resultados obtenidos para la actividad antioxidante a una concentración de 100 µg/ml

Corrida	D.O. 515 nm	% Reducción del DPPH
Muestra fresca	0.565	14.300
1	0.613	7.024
2	0.553	10.276
3	0.611	5.658
4	0.614	2.746
5	0.609	6.019
6	0.618	2.059
7	0.600	4.963
8	0.590	6.494

Datos ambientales

En la Figura 5 se muestran los datos ambientales registrados el día que se realizó el experimento 1, se observa la irradiancia en el plano inclinado y vertical, además de la temperatura promedio alcanzada dentro de la cámara de secado. La irradiancia máxima que se registró en el piranómetro inclinado fue 1000 W/m^2 y para el vertical 582 W/m^2, mientras que la temperatura máxima fue de 76°C. Para la temperatura se observan unos picos muy prominentes, esto se debe a que cada media hora el secador se abría para realizar las mediciones de la pérdida de peso, por lo cual había una pérdida de calor en el secador. Además, para esta prueba no se usó la malla sombra, por lo cual la irradiancia entraba directamente en la cámara y a su vez esto aumentó la temperatura.

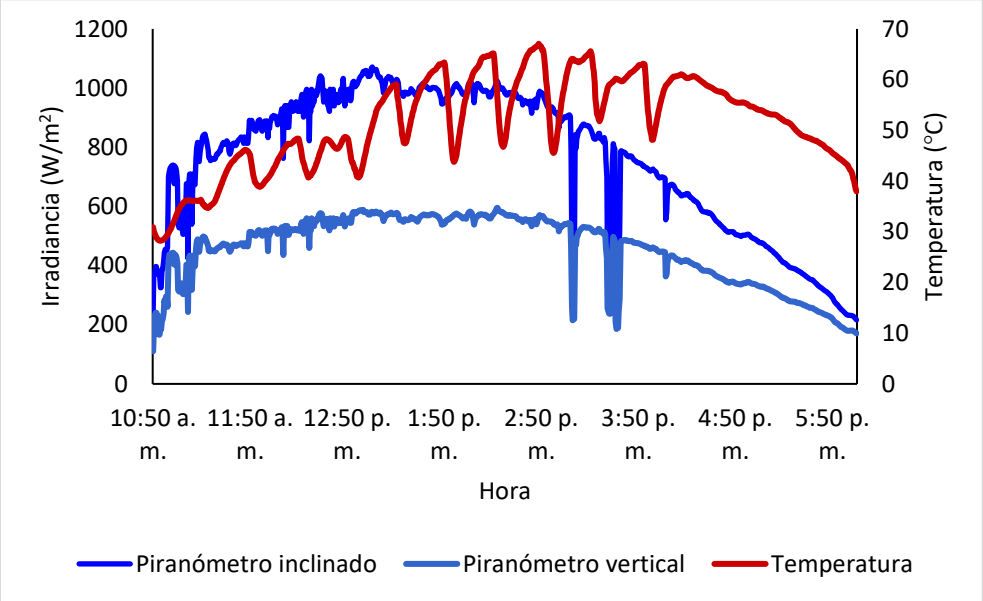


Figura 5. Datos ambientales registrados para el experimento 1

En la Figura 6 se muestran los datos ambientales registrados para el día que se realizó el experimento 4. La irradiancia máxima registrada para el piranómetro inclinado fue de 943 W/m^2 y para el piranómetro vertical 687 W/m^2. Mientras que la temperatura máxima alcanzada dentro de la cámara de secado fue de 50°C. Si bien se tuvieron irradiancias altas, la temperatura máxima dentro del secador no fue tan alta comparada con la del experimento 1 y esto se debe a que, en este experimento, se utilizó la malla sombra, impidiendo la entrada directa de la radiación solar y haciendo

 ISSN: 2007 8102

que no se elevara tanto la temperatura. Sin embargo, otro factor que hizo que la temperatura disminuyera un poco más fue el uso del ventilador, por eso la temperatura se mantiene un poco más estable y a pesar de que se vea la variación de la temperatura por cada vez que se abría el secador, los picos no son tan pronunciados.

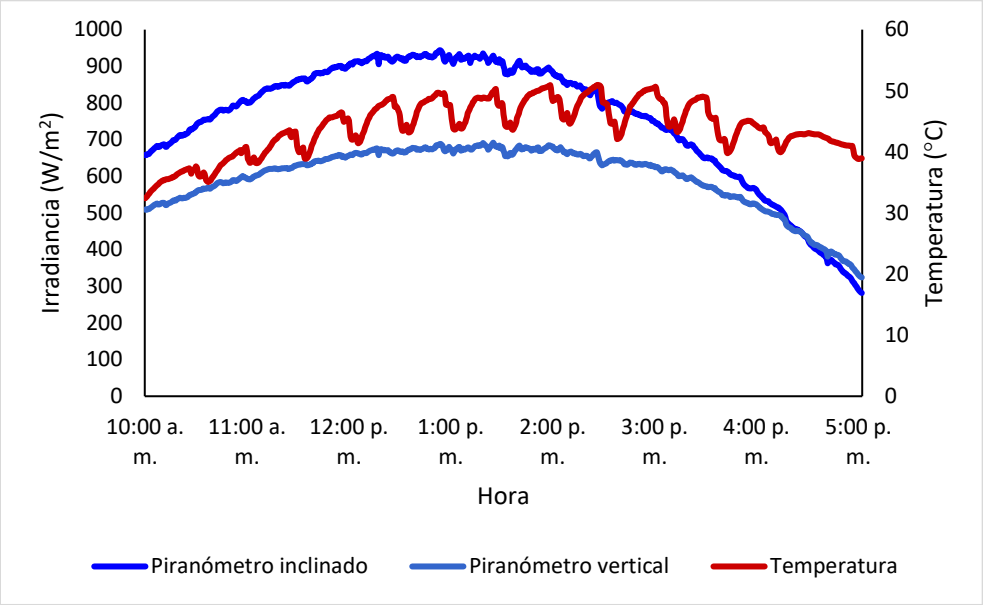


Figura 6. Datos ambientales registrados para el experimento 4

Trabajo a futuro

Se espera realizar más estudios sobre la actividad antioxidante para poder determinar la IC_{50}, así como usar diferentes porcentajes de malla sombra sobre la cámara de secado.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos el epazote alcanzó las condiciones esperadas para prolongar su vida útil. El tiempo de secado más corto se registró en la corrida 3 con 4 horas, esto puede atribuirse a que al no usar malla sombra las temperaturas alcanzadas dentro de la cámara de secado fueron más altas, acelerando el proceso. Esa misma corrida favoreció la actividad de agua y la diferencia de color, ya que se obtuvieron valores bajos. Mientras que para el contenido de humedad el valor más bajo se obtuvo sin utilizar malla sombra, sin ventilador y con el colector con cubierta de vidrio. Para la actividad antioxidante, como se buscaba conservarla después del secado, las condiciones que favorecieron esto fueron el uso de la malla sombra, el colector con cubierta de policarbonato, pero sin el ventilador.

Se observó que ciertas variables de respuesta se vieron favorecidas por los mismos factores, por ejemplo, el tiempo de secado, la actividad de agua y la diferencia de color, pero para el caso de la humedad y la actividad antioxidante las condiciones de secado resultaron diferentes; por lo que habría que tener en cuenta cual variable de respuesta es de más importancia y de esta forma determinar las condiciones adecuadas para el secado.

 ISSN: 2007 8102

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) y al proyecto 319188 “Centro comunitario para el deshidratado solar de productos agropecuarios de pequeños productores indígenas de Hueyapan, Morelos” por el financiamiento parcial de la infraestructura y equipo experimental. Al laboratorio de secado solar a través del proyecto PAPIIT IN103021 “Secado solar de productos agropecuarios”.

Referencias

[1] X. Aguirre Dugua, I. Castillo Juárez y L. d. M. Ruiz Posadas, «Usos actuales y potencial de las plantas aromáticas y medicinales,» *Agro-Divulgación,* vol. 2, nº 2, pp. 53-63, 2022.

[2] M. Özgüven, G. Gülseren y J. Müller, «Investigation of the efficiency of drying conditions for essential oil production from aromatic plants,» *Makara Journal of Science,* vol. 23, nº 3, pp. 148-154, 2019.

[3] L. M. Calvo Irabien, «Plantas aromáticas nativas: realidades y retos,» *Herbario CICY,* pp. 9-11, 2016.

[4] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, «Hierba olorosa y sabrosa, es el epazote,» 20 Junio 2018. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/hierba-olorosa-y-sabrosa-es-el-epazote. [Último acceso: 09 Diciembre 2022].

[5] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, «Monografía de productos agroalimentarios mexicanos: Epazote,» 17 05 2022. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/726661/Epazote_web.pdf. [Último acceso: 2022 12 09].

[6] C. A. Menchaca Valdez y R. B. Recio Colmenares, «Secado solar de alimentos,» de *Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial*, Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2017, pp. 126-133.

[7] T. S. B. Rao y S. Murugan, «Solar drying of medicinal herbs: A review,» *Solar Energy,* vol. 223, p. 415–436, 2021.

[8] N. Chaves, A. Santiago y J. C. Alías , «Quantification of the antioxidant activity of plant extracts: analysis of sensitivity and hierarchization based on the method used,» *Antioxidants,* vol. 9, nº 76, 2020.

[9] A. Orphanides, V. Goulas y V. Gekas, «Drying Technologies: Vehicle to High-Quality Herbs,» *Food Eng Rev,* vol. 8, p. 164–180, 2016.

[10] L. H. Villalobos Delgado, E. . G. González Mondragón, A. Y. Salazar Govea, J. T. Santiago Castro y J. Ramírez Andrade, «Efecto antioxidante de epazote (Chenopodium ambrosioides L.) en carne molida cruda de bovino,» *NACAMEH,* vol. 10, nº 2, p. 35-48, 2016.

[11] S. Shalaby, M. Darwesh, M. Ghoname, S. E. Salah, Y. Nehela y M. Fetouh, «The effect of drying sweet basil in an indirect solar dryer integrated with phase change material on essential oil valuable components,» *Energy reports ,* vol. 6, pp. 43-50, 2020.

 ISSN: 2007 8102

Elaboración de un queso tipo pasta láctica a partir de una cepa bacteriana aislada de pulque.

Oswaldo Miguel Serrano Hernández[1], Oscar Carmona Hernández[1], Ana María Aguirre Martínez[1], Micloth López del Castillo Lozano[2], José Armando Lozada García[1]*.

[1]*Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Col. Zona Universitaria. C. P. 91070. Xalapa, Veracruz, México.*

[2]*Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana. Av. Doctor Luis Castelazo, Industrial Las Animas. C.P. 91190. Xalapa, Veracruz, México.*

* *Autor de correspondencia: alozada@uv.mx*

Área de participación: Ingeniería química

Resumen:
El pulque es una bebida alcohólica producida a partir de la fermentación del aguamiel, proveniente de agaves. La fermentación del pulque se da principalmente por levaduras, además de otros grupos como las bacterias ácido-lácticas (BAL). Con las BAL se pueden desarrollar productos como quesos de pasta láctica. Tomando como base lo anterior, se planteó como objetivo producir un queso tipo pasta láctica a partir de pulque del Municipio de las Vigas de Ramírez, Veracruz. A partir de diferentes inóculos de pulque se evaluó el rendimiento quesero en porcentaje. Para descartar pulques que favorecieran la presencia de bacterias no deseables se procedió a realizar la prueba de producción de CO_2 y de propiedades organolépticas del queso. Del pulque que cumplió con los criterios anteriores se procedió a aislar bacterias acidolácticas. El producto final fue un queso tipo pasta láctica, teniendo un excelente grado de aceptación por parte de los panelistas, lo cual promueve una nueva forma de uso para el pulque.

Palabras clave: *Bacterias ácido-lácticas, evaluación sensorial, fermentación láctica*

Abstract: Pulque is an alcoholic beverage produced from the fermentation of mead, from agaves. The fermentation of pulque occurs mainly by yeasts, in addition to other groups such as lactic acid bacteria (LAB). With LAB, products such as lactic cheeses can be developed. Based on the above, the objective was to produce a lactic paste cheese from pulque from the Municipality of las Vigas de Ramírez, Veracruz. From different pulque inocula the cheese yield was evaluated in percentage. To rule out pulques that favored the presence of undesirable bacteria, the CO_2 production and organoleptic properties of the cheese were tested. From pulque that met the above criteria, lactic acid bacteria were isolated. The final product was a lactic paste cheese, having an excellent degree of acceptance by the panelists, which promotes a new way of using pulque.

***Key words*:** *Lactic acid bacteria, sensory evaluation, lactic fermentation*

Introducción:
El pulque es una bebida alcohólica hecha a partir de la fermentación de la savia o del aguamiel, que la producen diferentes especies de agaves (magueyes). Ésta es probablemente la bebida más antigua y tradicional del país, ligeramente ácida y viscosa que se produce desde tiempos prehispánicos [1]. El aguamiel de donde procede el pulque es rico en azúcares (sacarosa, fructosa y glucosa), vitaminas, minerales y aminoácidos, entre otros nutrientes [2] y en ella coexisten diferentes microorganismos que determinan los atributos posteriores del pulque, que se originan de varios procesos bioquímicos [3].

Entre los microorganismos del pulque, se encuentran las bacterias productoras de ácido láctico (BAL), que son las encargadas de incrementar la acidez de la bebida junto con las levaduras sacarolíticas y no sacarolíticas que transforman los azúcares en etanol y otros metabolitos [3]. La

preparación de esta bebida milenaria se ha mantenido de manera artesanal y con algunas variaciones en su calidad, las cuales son asociadas a las especies y variedades de agaves junto con la microbiota local. Aunado a esto las condiciones ambientales dictan ciertas propiedades físico-químicas como la viscosidad, la acidez, el contenido alcohólico, el sabor, entre otros atributos que han sido guiados por los contextos culturales como los utensilios usados para la recolección del aguamiel y su posterior almacenamiento y fermentación [3].

Un punto medular en la fermentación del pulque es el microbioma de bacterias homolácticas y heterolácticas. Estas BAL se presentan de manera natural mediante procesos de adaptación a diferentes sustratos que reúnen las condiciones necesarias para su desarrollo [4]. Otro de estos nichos ecológicos de importancia para su desarrollo es la leche de diferentes mamíferos y en particular la de vaca [4]. Gracias a esta adaptabilidad las BAL pueden emprender un proceso de fermentación láctica en la leche produciendo de manera natural quesos de pasta láctica, similares a los producidos por cuajos animales y vegetales. El aislamiento de este tipo de bacterias sería un proceso innovador para la producción de quesos artesanales mediante la adición de cultivos iniciadores formados principalmente por BAL [5].

Existen distintos tipos de variedades de quesos en las diferentes regiones del mundo. Una de las clasificaciones más usadas refiere a quesos frescos y maduros; o respecto a la consistencia existiendo quesos blandos, semiduros y duros [6]. Ante esta gran variedad que existen y los tipos que hay, se han elaborado algunos a partir de la adición de BAL. Cuando es el caso, estas bacterias constituyen la mayor proporción de microorganismos empleados en los cultivos iniciadores utilizados, debido al papel que tienen en la producción de ácido láctico, en la formación de la cuajada, reduciendo el crecimiento de patógenos, así como en el desarrollo de sabores y aromas [7]. Es así como se han llegado a emplear en la producción de quesos tradicionales, entre los que destacan: el de tipo pasta filata, gouda, camembert, y pecorino. Los quesos de tipo pasta láctica, son un producto lácteo, fermentado, no madurado, acidificado con cultivos lácticos para poder alcanzar un pH 4.3 - 4.8. Estos quesos son frescos, blandos, con un gran contenido de humedad, grasa y poseen una consistencia untable, suave y cremosa [8].

Los productores de estos quesos, normalmente se encuentran en espacios rurales donde sus recursos naturales, agroecológicos y biogeográficos pueden ser las principales materias primas para su elaboración; cuando esto ocurre, se puede observar una diferencia significativa del producto en sus características organolépticas [9], es por ello que los quesos que son elaborados a partir de procesos tradicionales y que incorporan recursos bioculturales pueden ser productos emblemáticos y representativos de una región. Asimismo, los consumidores actualmente demandan sabores únicos y comidas típicas de una dieta cada vez más focalizada en el cuidado de la salud y acorde a sus necesidades y preferencias individuales.

Un aspecto de importancia en este ámbito implica la adaptación y empleo de actividades de investigación y desarrollo congruentes con lo antes comentado en un proceso vinculado con los productores que permita una transferencia fácil y eficaz de los resultados [9]. Conociendo lo antes mencionado, el presente trabajo tuvo como finalidad la elaboración de un queso tipo pasta láctica a partir de una bacteria aislada de pulque, con potencial biotecnológico en el desarrollo de nuevos productos lácticos, con características organolépticas agradables para los consumidores y con la capacidad de tener una variabilidad con sabores diversos.

Metodología:

Caracterización del proceso de producción de pulque

Para esta etapa del trabajo, se realizaron visitas al municipio de La Vigas de Ramírez, con el fin de documentar el proceso de producción del pulque. Se trabajó con productores quienes describieron su elaboración para obtener esta bebida fermentada, a la par se les aplicó una encuesta semiestructurada con la que se recabó la información necesaria para registrar este proceso.

Caracterización del pulque

Se tomaron muestras de pulque provenientes de tres productores diferentes, las cuales fueron catalogadas como muestras A, B y C, posteriormente fueron transportadas al Laboratorio de Biotecnología y Productos Naturales de la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana a 4°C. La caracterización fisicoquímica consistió en cuantificar el grado de alcohol, contenido de sacarosa en grados Brix, acidez titulable y pH.

Aislamiento de la cepa BAL

Después de la caracterización del pulque, la segunda etapa consistió en aislar cepas de bacterias ácido-lácticas (BAL). Para esta parte se emplearon criterios de selección, el primero fue que las cepas aisladas provinieran de muestras de pulque que presentaran actividad para generar una cuajada láctica, lo cual se evaluó mediante el rendimiento quesero, este consistió en depositar en un tubo de centrífuga 10 mL de leche entera en polvo rehidratada (Alpura®) junto con 0.04, 0.08, 0.120, 0.160 y 0.200 mL de pulque, esto se realizó por quintuplicado para cada muestra, junto con el testigo que fue únicamente leche. Posteriormente, se incubaron en baño María a 38 °C durante 48 horas, al término de ese tiempo las muestras fueron pesadas y posteriormente se centrifugaron a 5,000 rpm durante 5 minutos. A cada muestra se le retiró el suero resultante y nuevamente se registró el peso, con ello se estimó el rendimiento quesero en porciento, basado en las diferencias de peso entre el testigo y los tratamientos [10]. A la par se realizó una prueba no paramétrica Kruskall-Wallis y una prueba post hoc de Dunn para determinar diferencias significativas.

Una vez determinada la actividad descrita, se procedió a seleccionar las cepas bacterianas de los diferentes pulques, para ello se realizó la siembra de una muestra de la cuajada y del pulque por el método de extensión en placa en medio selectivo para *Lactobacillus* (MRS) y medio MacConkey para la identificación de bacterias Gram negativas fermentadoras de lactosa. Las placas se incubaron por 24 horas a 38 °C. Transcurrido este tiempo, se tomaron las colonias presentes en el medio MSR y las colonias Gram negativas del medio MacConkey, las cuales fueron sembradas en caldo MRS, con una campana de Durham, se descartaron aquellas colonias que después de 48 h de incubación a 38 °C presentaran elevación de la campana, lo cual indicaba presencia de CO_2 y posiblemente una cepa de no interés. Los aislados resultantes, fueron sembrados en medio M5, con la finalidad de corroborar si eran BAL homolácticas o heterolácticas, descartando aquellas que dieron negativo a esta prueba. Las cepas derivadas se mantuvieron en caldo MRS, para conservar un cultivo activo [11-12].

Cultivo iniciador y elaboración de queso tipo pasta láctica

A partir de los aislados bacterianos, se procedió a preparar cultivos iniciadores, los cuales consistieron en inocular a 250 mL de leche rehidrata esterilizada con 10 mL de cada cepa en caldo MRS en incubación por 24 horas a 38 °C. El siguiente criterio de eliminación consistió en descartar aquellas que presentaran características organolépticas desagradables, quedando solo aquellas consideradas adecuadas. El último paso para la selección de las cepas consistió en realizar quesos tipo pasta láctica a partir de las cepas que presentaron un sabor agradable y se eliminaron aquellos que no presentaron estas características [10].

Evaluación sensorial

Para determinar la aprobación de este producto se prepararon dos quesos diferentes, uno salado (agregando sal, pimienta y ajo en polvo) y otro dulce (agregando mermelada y frutos de zarzamora), en ambos casos se sometieron a pruebas de aceptación sensorial (n=30) para valorar el sabor y el olor, basado en una escala tipo Likert [11].

Resultados y discusión

Caracterización del proceso de elaboración del pulque:

El proceso inicia con la siembra de magueyes para esta región la especie mayormente utilizada es el maguey verde (*Agave salmiana* ssp. *Crassispina* (Trel. *ex* L.H. Bailey) *Gentry*), en menor medida se utilizan el maguey manso (*Agave salmiana* ssp. *salmiana* Otto *ex* Salm-Dyck) y tepezorra o cenizo

(*Agave salmiana* var. *ferox* Trel), los cuales tardan aproximadamente entre 10 y 20 años en poder ser aprovechados, esto es similar a lo que se reporta para la región Puebla-Tlaxcala donde el promedio de edad para el aprovechamiento es de 11.9 años mientras que el Valle de México es de 15 años y por el contrario en Alto Mezquital en Hidalgo las plantas de 8 a 10 se consideras aptas para su beneficio; las especies predominantes en la elaboración de pulque son *A. atrovirens, A. americana A. mapisaga* y *A. salmiana* [12-14].

Cuando la planta llega a la edad y tamaño ideal, se realiza el capado, en el cual se elimina el meristemo apical de la roseta o mayolote (piña). Posteriormente se puede extraer el aguamiel raspando las paredes internas para promover la secreción de este (Fig. 1). El raspado y colecta se lleva a cabo cada 24 horas; después de ser extraído y guardado en botellas, es llevado a la casa donde se fermenta en barriles, en los que se vierten de cuatro a cinco litros de aguamiel al día, para que continúe con el proceso de fermentación, brindándole el sabor y demás características organolépticas que identifican al pulque de la región. Un cambio poco significativo entre la región Puebla-Tlaxcala-Hidalgo y las Vigas de Ramírez es el uso del Acocote donde ha sido sustituido en gran medida por botellas de refrescos y manguera de plástico [13].

Los barriles donde se almacena el pulque se mantienen a temperatura ambiente, en un cuarto o punto de la casa en el que no se tenga exposición al sol, para evitar que por aumento de la temperatura se provoque una fermentación acelerada, ya que, al estar expuesto al sol, la fermentación se da rápidamente de 3 a 5 horas, mientras que con frío puede tardar hasta un día, de esta forma se evita que se adquiera un sabor agrio en el pulque. Los procesos de producción del pulque en la región de Hidalgo tienen algunas diferencias con respecto a la producción en el municipio de Las Vigas, donde se usan barriles de madera o plástico, siendo descontinuado el uso de colambres de cuero de chivo [13-17].



Figura 1: Sistema de producción artesanal del pulque, basado en los conocimientos tradicionales de los pulqueros de Las Vigas de Ramírez, Veracruz

 ISSN: 2007 8102

Caracterización del pulque

La muestra de pulque A, presentó un 7% de alcohol, 3.0 °Bx, un pH de 3.6 y una acidez titulable de 0.36. El pulque B, tuvo un 8% de alcohol, 2.5 °Bx, pH de 4.3 y acidez de 0.13. Por último, con el pulque C se registró un 22% de alcohol, 8.0 °Bx, pH de 2.77 y su acidez fue de 0.12. De acuerdo, a la Norma Mexicana NMX-V-037-1972, el pulque natural debe tener un contenido de alcohol de 6 a 9%, datos superiores a estos valores podrían ser indicios de fermentos adulterados, en cuanto al pH este debe oscilar entre 3.7 a 4.2, la acidez total de 0.040 a 0.75 [18]. Mientras tanto la concentración de azúcar en °Bx se reportan entre 7.48 y 8.22 [19]. Cabe destacar que de acuerdo con las condiciones microambientales, así como la fenología de la planta, estos parámetros podrían verse influenciados [20].

Tabla 1. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del pulque.

	Pulque A	Pulque B	Pulque C
Alcohol %	7.0	8.0	22.0
Sacarosa (°Bx)*	3.0	2.5	8.0
pH	3.6	4.3	2.77
Acidez (g/ 100 mL ácido acético)**	0.36	0.13	0.12

Aislamiento de la cepa BAL

Con respecto al rendimiento quesero observado en función al volumen en mililitros de pulque utilizados, los resultados arrojan que los pulques A y C no tenían diferencias significativas entre las concentraciones utilizadas y el origen del pulque, por el contrario, la muestra B mostró diferencias respecto a las muestras A y C, así como en las concentraciones. Los pulques A y C produjeron menor rendimiento, pero constante entre todas sus concentraciones a diferencia del pulque B (Fig. 2).

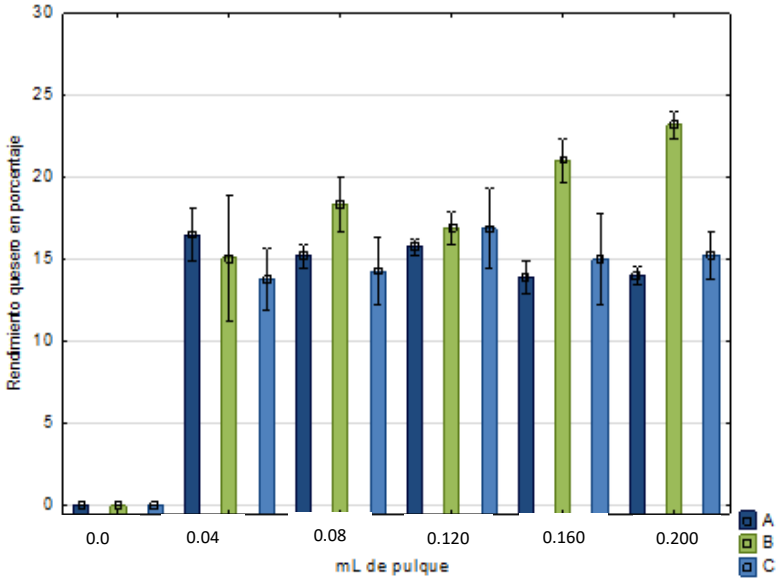


Figura 2: Rendimiento quesero en función al volumen de pulque utilizado**. (**KW p=<0.05)

 ISSN: 2007 8102

La prueba de producción de CO_2 arrojó que el pulque A y el pulque C contenían bacterias no productoras de dióxido de carbono, mientras que para el pulque B, en la mitad de las pruebas fueron positivas, y con ello se descartaron esas cepas. Para los ensayos en medio M5, el resultado fue que las cepas bacterianas eran heterolácticas, de acuerdo con el viraje de pH. Con todo lo anterior se logró confirmo que las cepas aisladas pertenecían al grupo de bacterias ácido-lácticas [3-21]

Cultivo iniciador y elaboración de queso tipo pasta láctica

En el caso particular de los cultivos iniciadores, estos sirvieron para seguir descartando aquellas cepas que presentaran un olor desagradable, así como sabores poco atractivos al paladar. Al final se seleccionó una única cepa proveniente de la muestra A de pulque la cual fue catalogada con FBX003, a diferencia del resto de las cepas, esta presentaba características organolépticas aceptables. Con esta cepa elaboró un queso tipo pasta láctica, al cual se le agregó salsa de chile seco con especias y mermelada de zarzamora, para potenciar el sabor y olor.

Evaluación sensorial:

Para el queso tipo pasta láctica salado, de los 30 jueces que degustaron el queso 21 jueces comentaron que era “Muy bueno” (70%), 7 jueces dieron una calificación “Buena” (23%) y los restantes 2 lo calificaron como “Regular” (7%) (Fig. 3).

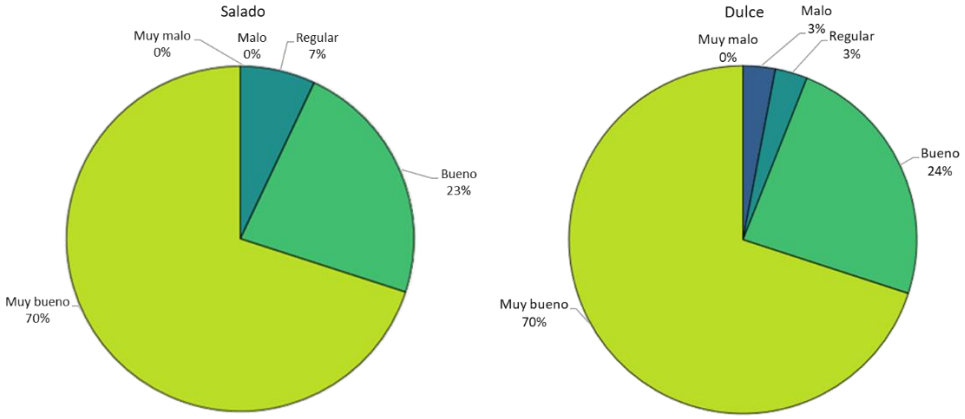


Figura 3: Porcentaje de aprobación de los quesos saborizados tipo pasta láctica.

Respecto al queso tipo pasta láctica dulce, deja como resultado que 20 jueces lo dieran como “Muy bueno” (70%), 7 de los jueces lo calificaran como “Bueno” (24%), y 1 juez le diera una calificación de “Malo” (3%) y 1 con calificación de “Regular” (3%).

El uso de sabores locales y conocidos ha permitido tener aprobaciones iguales al 70% en ambos casos, contrario a lo que se ha reportado en Colombia donde los jueces se dejaron influenciar por el aspecto del queso tipo Petit saborizado con una salsa de aguacate, dando una aceptación del 60% [22]. Por el otro lado se encuentra que el uso de sabores conocidos aumenta la aprobación del consumidor [23-24], como pudo ser en este caso.

Trabajo a futuro:

Un aspecto importante para resolver es la identificación de la bacteria aislada para determinar la especie, así como la incorporación de diferentes aditivos que modifiquen las características organolépticas del producto final para ampliar la gama del público a quien van dirigidos. Así mismo, ampliar la exploración de nuevas bacterias con potencial biotecnológico para crear nuevos productos lácticos.

Conclusiones:

Se documentó el proceso tradicional en la elaboración de pulque en la comunidad de las Vigas de Ramírez en el estado de Veracruz, México. A pesar de que esta región no es considerada de alta

producción respecto a los grandes productores del centro del país, la población ha sabido aprovechar este recurso para su consumo y elaboración de otros productos derivados del sistema de producción.
Se logró tener la caracterización del pulque producido en dicha zona, el cual está dentro de algunos estándares que marca la norma mexicana.
La aplicación de criterios selectivos para el aislamiento bacteriano de BAL dio como resultado el aislamiento de una cepa con características organolépticas agradables.
Se consiguió un cultivo iniciador para producir un queso tipo pasta láctica, a partir de bacterias ácido-lácticas presentes en la microbiota del pulque que se produce en Las Vigas de Ramírez.
Se produjeron dos quesos tipo pasta láctica los cuales tuvieron un buen sabor-aroma y obtuvieron un alto nivel de aprobación con los encuestados (90%). Dando así, una posibilidad de que este queso sea diverso en sabores.

Agradecimientos

Un agradecimiento a los productores de pulque que compartieron los saberes asociados que han adquirido con el paso de los años y al H. Ayuntamiento del municipio de Las Vigas de Ramírez, Veracruz, que brindaron el apoyo para la realización de este trabajo

Referencias:

[1] M. Cervantes Contreras y A. M. Pedroza Rodríguez, “El Pulque: Características Microbiológicas y Contenido Alcohólico Mediante Espectroscopia Raman”, Nova, vol. 5, núm. 8, p. 135, 2007.

[2] M. Isabel Enríquez-Salazar, F. Veana, C. N. Aguilar, I. M. D. Garza Rodriguez, M. G. Lopez, O. M. Rutiaga-Quiñones, J. A Morlett-Chávez y Rodriguez-Herrera, “Microbial diversity and biochemical profile of aguamiel collected from Agave salmiana and A. atrovirens during different seasons of year”, Food Sci. Biotechnol., vol. 26, núm. 4, pp. 1003–1011, 2017.

[3] R. I. Ortiz-Basurto, G. Pourcelly, T. Doco, P. Williams, M. Dornier, y M.-P. Belleville, “Analysis of the Main Components of the Aguamiel Produced by the Maguey-Pulquero (*Agave mapisaga*) throughout the Harvest Period”, J. Agric. Food Chem., vol. 56, núm. 10, pp. 3682–3687, 2008.

[4] J. C. Ramos Gorbeña y T. Agurto Sáenz, “Bacterias ácido-lácticas”, Biotempo, vol. 8, pp. 54–64, 2017.

[5] C. C. Alvarado Rivas, Z. Chacón Rueda, J. O. Rojas, B. Guerrero Cárdenas, y G. López Corcuera, “Aislamiento, identificación y caracterización de bacterias ácido-lácticas de un queso venezolano ahumado andino artesanal. Su uso como cultivo iniciador”, Rev. Cient. (Maracaibo), 2009.

[6] R. M. Murieles Ricardo, “Elaboración de queso capa a partir de leche ganado vacuno con adición de cultivos lácticos para mejorar su calidad y productividad industrial”. Universidad de Cartagena, 2012.

[7] Á. Alegría, P. González, S. Delgado, A. B. Flórez, A. M. Hernández-Barranco, A. Rodriguez Y B. Mayo, “Characterisation of the technological behaviour of mixtures of mesophilic lactic acid bacteria isolated from traditional cheeses made of raw milk without added starters”, Int. J. Dairy Technol., vol. 69, núm. 4, pp. 507–519, 2016.

[8] R. A. Parra H. y E. G. Fonseca S., “Características fisicoquímica, proximal y sensorial de un queso tipo crema saborizado”, Rev. Vitae, vol. 19, núm. 1, pp. S216–S218, 2012.

[9] A. E. García, “Caracterización de la agroindustria artesanal y atributos de la valoración en consumidores de queso bola de Ocosingo, Chiapas”, Rev. CIFE Lect. Econ. Soc., vol. 20, núm. 33, pp. 137–155, 2018.

[10] Narváez Guillén, B. L., Cruz Hernández, M. A., Hernández Centeno, F., Flores, Verastegui, M. I. M., Martínez Vázquez, D. G., & Rangel Ortega, S. C. (2017). Selección De bacterias ácido lácticas del queso artesanal de leche de cabra de Coahuila Para su uso como cultivos iniciadores. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 25(72), 45-52.

[11] R. Cobo-Monterroza, R. Rosas-Quijano, D. Gálvez-López, L. Adriano-Anaya, y A. Vázquez-Ovando, “Bacterias ácido-lácticas nativas como cultivo iniciador para la elaboración de queso crema mexicano”, Agron. Mesoam., vol. 30, núm. 3, pp. 855–870, 2019.

[12] C. Ramírez-López y J. F. Vélez-Ruiz, “Aislamiento, Caracterización y Selección de Bacterias Lácticas Autóctonas de Leche y Queso Fresco Artesanal de Cabra”, CIT Inform. Tecnol., vol. 27, núm. 6, pp. 115–128, 2016.

[13] A. V. Pegueros y Stefanie Erlwein, “Proceso de elaboración del pulque, su importancia económica y concepción social en Apan, Hidalgo”, Edu.mx. [En línea]. Disponible en: https://www.enah.edu.mx/publicaciones/documentos/36.pdf. [Consultado: 04-ago-2023].

[14] L. Huezcas-Garrido, E. Alanís-García, J. A. Ariza-Ortega, y Q. Y. Zafra-Rojas, “Subproductos de interés nutricional y funcional de Agave salmiana”, Rev. Chil. Nutr., vol. 49, núm. 2, pp. 250–262, 2022.

[15] A. Castañeda-Ovando, I. Moreno-Vilet, J. Jaimez-Ordaz, J. Ramirez-Godinez, E. Perez-Escalante, A.E. Cruz-Guerrero, E. Contreras-Lopez, S.A. Alatorre-Santamaría, F.J. Guzman-Rodríguez y L.G González-Olivares, “Aguamiel syrup as a technological diversification product: Composition, bioactivity and present panorama”, Future Foods, vol. 8, núm. 100249, p. 100249, 2023.

[16] C. Medina Mendoza, E. I. Roldán Cruz, y M. Vázquez Jahuey, “Caracterización fisicoquímica, microbiológica y organoléptica del aguamiel y pulque del Alto Mezquital, Hidalgo”, Agric. Soc. Desarro., vol. 19, núm. 4, pp. 448–462, 2023.

[17] M. del C. Álvarez-Duarte, E. Garcia-Moya, J. Suarez-Espinosa, M. Luna-Cavazos, y M. Rodríguez-Acosta, “Conocimiento tradicional, cultivo y aprovechamiento del maguey pulquero en municipios de Puebla y Tlaxcala”, Polibotanica, núm. 45, 2018.

[18] «Norma oficial mexicana para el pulque manejado a granel», Salud Publica Mex, vol. 14, n.º 6, p. 845, nov. 2014.

[19] G. D Álvarez-Ríos, C. J. Figueredo-Urbina, y A. Casas, “Physical, chemical, and microbiological characteristics of pulque: Management of a fermented beverage in Michoacán, Mexico”, Foods, vol. 9, núm. 3, p. 361, 2020.

[20] E. Valencia-Franco, M. M. Crosby-Galán, L. Galicia-Juárez, D. Hernández-Sánchez, M. Pérez-Sato, E.C. García y González y J. L. Ponce Covarrubias, “Isolation of bacteria from pulque with probiotic potential”, Agro Productividad, vol. 15, núm. 5, p. 101, 2022.

[21] A. Escalante, D. R. López Soto, J. E. Velázquez Gutiérrez, M. Giles-Gómez, F. Bolívar, y A. López-Munguía, “Pulque, a traditional Mexican alcoholic fermented beverage: Historical, microbiological, and technical aspects”, Front. Microbiol., vol. 7, 2016.

[22] E. Barrera Bello, “Elaboración de un queso Petit Suisse saborizado con aguacate Hass”, Encuentro Sennova del Oriente Antioqueño, vol. 6, núm. 1, 2021.

[23] M. J. Manríquez Rojas, C. A. Paredes Pita, y F. G. Torres Mayanquer, “Formulación y caracterización fisicoquímica y sensorial de un queso semimaduro saborizado tipo Andino Carchense”, SATHIRI, vol. 17, núm. 1, pp. 327–338, 2022.

ISSN: 2007 8102

[24] J. Vera Chang, K. Q. Betancourt, C. E. Solorzano, Y. T. Navarrete, D. A. T. Cobeña y A. I. Astaburuaga, “Obtención de crema de chocolate adicionado fruta de pan mediante la reutilización de cacao (*Theobroma cacao* L.) susceptible a monilia (*Moniliophthora roreri* Cif y Par)”, Talentos, vol. 9, núm. 1, pp. 83–98, 2022.

 ISSN: 2007 8102

Características fisicoquímicas y sensoriales de confitados de bagazo de yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam*) con edulcorantes no calóricos

Johan Alfredo Marín Quiroz[1], Eulalia Magdalena Lugo González[1], Moisés Mata García[2], Elizabeta Hernández Domínguez[3], María de la Luz Sánchez Mundo[1]*
[1]Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas, Carretera Las Choapas-Cerro de Nanchital Km 6.0 Col. J. Mario Rosado, Las Choapas, Veracruz, México, C.P. 96980. Correo[1*]: sanchez_mundo@hotmail.com*
[2]Universidad Tecnológica del Sureste, Avenida Universidad Tecnológica Lote Grande No.1 S/Col. C.P. 96360, correo: moisesmg200@hotmail.com
[3]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Acayucan Carretera Costera del Golfo km 216.4, Acayucan, Veracruz, México, C.P. 96100, correo: elihed@gmail.com

sanchez_mundo@hotmail.com
Área de participación: *Ingeniería Química*

Resumen

El consumo del fruto de yaca genera residuos como la cáscara y el bagazo o perianto con aún compuestos de interés alimentario. Se utilizó el bagazo de yaca en la elaboración de un confitado con edulcorantes no calóricos (miel de abeja, stevia y jarabe de agave) los cuales fueron adicionados en cantidades de 20, 40 y 60% en sustitución de la sacarosa. Se evaluaron el pH, acidez titulable, °Brix, color y su aceptación sensorial. Los confitados con 60% de miel de abeja presentaron un pH más bajo que el control, los confitados de stevia al 40% presentaron el mayor valor de °Brix; solo los confitados con miel de agave presentaron un color café claro. En general, todos los tratamientos con un mínimo de 20% de edulcorantes presentaron un grado de aceptabilidad notable, con lo que se posibilita la opción de uso de este subproducto de yaca.

Palabras clave*: bagazo, yaca, confitado, aceptación general.*

Abstract

The consumption of jackfruit generates residues such as peel and bagasse or perianth containing compounds of food interest. Jackfruit bagasse was used in the preparation of a candied with non-caloric sweeteners such as honey, stevia and agave syrup, which were added in quantities of 20, 40 and 60% to replace sucrose. Parameters of pH, titratable acidity, °Brix, color and sensory acceptance were evaluated. Candied with 60% honey had a lower pH than the control, 40% stevia candied had the highest °Brix value; Only those candied with agave honey presented a light brown color. In general, with a minimum of 20% of the sweeteners added, all the treatments evaluated presented a remarkable degree of acceptability, which allows the option of using this by-product of yaca.

Key words*: bagasse, yaca, candied, general acceptance*

Introducción

La yaca es una fruta tropical originaria del sureste de la India, aunque se encuentra distribuida también en diversos países del mundo, la yaca es uno de los frutos más grandes que pueden alcanzar hasta 50 cm de diámetro y cerca de 90 cm de longitud. Es una fruta que consiste en un comestible carnoso inferior (bulbo), medio fusionado (perianto) y una región espinosa externa (espiga) [1]. Cuando están maduros, los copos se vuelven carnosos, las espinas externas se ensanchan y la carne se vuelve suave y de color amarillo [2].

La parte comestible de la yaca que son los bulbos, están separados o delimitados por una especie de red filamentosa o en “bagazo”, el cual representa aproximadamente el 25.3% del fruto de la fruta, sin embargo existen escasos reportes de respecto a su uso [3]. El consumo de la yaca fresca tanto como durante su procesamiento se generan una gran cantidad de desechos tales como cáscara, eje central, semillas y perianto. Considerando que la yaca es uno de los frutos más grandes que existen, se estima que las cantidades de residuos generados

 ISSN: 2007 8102

podrían ocasionar un problema de manejo y un medio contaminación provocando malos olores y desarrollo de microorganismos, por lo que el aprovechamiento de este residuo para el desarrollo de nuevos productos es una alternativa para dar valor agregado a este desperdicio. Por otra parte, el contenido proximal del fruto de yaca se reporta con un contenido de 81% de agua, 0.23% de lípidos, 1.4 g de fibra en la pulpa, 15.2 g de proteína y 30 g de carbohidratos en la semilla, con un alto contenido de vitamina A, C y minerales como potasio, calcio y fosforo [4]. En Asia, la yaca es consumida como una planta medicinal con propiedades antibacteriales, antidiabéticas, antioxidante, antiinflamatoria y antihelmíntica [5]. El fruto de yaca contiene fitonutrientes a los que se les ha conferido propiedades anticancerígenas, antihipertensivas, entre otras [6].

Se han reportado algunas propiedades funcionales en la pulpa y en distintos alimentos elaborados de la pulpa, tales como mermeladas con extracto de stevia, miel de agave y sucralosa, con la finalidad de evaluar su impacto en los niveles de glucosa en sangre [7]. De igual forma la harina de yaca ha sido aplicada en galletas de bajo índice glucémico [8] y en destilado a partir del fruto de yaca [9]. La tendencia de las personas por inclinarse a una dieta baja en calorías, especialmente por aquellas que padecen diabetes o algún problema de salud, ha incrementado la demanda por productos con bajo nivel calórico. En este sentido, se busca incorporar ingredientes con bajas calorías que permita la elaboración de alimentos con características físicas y organolépticas semejantes a los que son calóricos, pero con la diferencia de presentar un valor calórico menor [10]. El proceso de glaseado o confitado involucra la saturación de azúcar para sustituir gradualmente la humedad de los tejidos incorporando sólidos, lo cual resulta atractivo para el almacenamiento de productos en condiciones medioambientales sin deterioro; este proceso es ampliamente utilizado como método de conservación de frutas, vegetales, flores, etc., así como en la formulación de alimentos tales como panes, dulces, principalmente listos para consumo [11].

Como se ha mencionado, uno de los principales problemas en el procesamiento del fruto son los grandes volúmenes de desperdicios generados y que aún podrían ser utilizados y darles un valor agregado. Por lo que con el perianto del fruto de yaca (bagazo) se formularon confitados elaborados con diferentes edulcorantes, se evaluaron parámetros fisicoquímicos y su aceptabilidad general mediante una evaluación sensorial tipo hedónica. Los resultados mostraron que es posible valorizar los residuos de yaca incluyéndolos en la formulación de nuevos productos que puedan ser consumidos por la población general y especialmente los diabéticos.

Metodología

Materiales

Los frutos de yaca fueron recolectados en el lote 5, ubicado en la carretera Las Choapas, Cerro de Nanchital Km 6.0, Colonia J. Mario Rosado, C.P. 96980, Las Choapas, Veracruz, México. Se procedió a la selección de los frutos maduros en buen estado, evitando aquellos que mostraban sobremaduración, malformaciones en el fruto, el pedúnculo o pudriciones.

Acondicionamiento del fruto

Los frutos se sometieron a un lavado inicial utilizando agua corriente y jabón, para eliminar cualquier presencia de cuerpos extraños y contaminantes externos. Se aplicó hipoclorito de calcio granular de la marca HTH S.A de C.V como desinfectante para reducir la carga microbiana y potenciales patógenos presentes en el fruto. Posteriormente, los frutos limpios fueron despulpados y se extrajeron las semillas rodeadas por el perianto. Estas semillas, fueron desinfectadas con un Microbicida comercial de la marca Microdyn S.A de C.V.

Formulación y elaboración de los confitados

La formulación de los diferentes confitados de yaca se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Formulación de cada confitado a diferentes niveles de sustitución de edulcorantes.

Ingredientes	Blanco	20%			40%			60%		
		Agave	Miel	Stevia	Agave	Miel	Stevia	Agave	Miel	Stevia
Yaca (g)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Agua (mL)	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
Azúcar (g)	20	16	16	16	12	12	12	8	8	8
Edulcorante (g)	-	4	4	4	8	8	8	12	12	12
Chile en polvo (g)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

 ISSN: 2007 8102

Determinación de humedad

La determinación de humedad se realizó por el método de termobalanza (Ohaus Modelo BL-MB23ZH, USA). El método se realizó por triplicado [12].

Determinación de pH

Se determinó el pH de las muestras utilizando el método descrito en la NOM-F-317-S-1978 [13] empleando un potenciómetro (Hanna HI 991301, Madrid, España) previamente calibrado con soluciones tampón comerciales pH 5.0 y pH 10. Se colocaron 10 mL de agua destilada por gramo de muestra. Las mediciones se realizaron por triplicado para cada muestra. El valor del pH se observó directamente en la escala del potenciómetro.

Sólidos solubles (°Brix)

Se determinaron los °Brix de los confitados mediante un refractómetro ATC (Xindacheng SR0017-ATC, China) de acuerdo con la metodología AOAC 931.12 [14]. Se verificó la calibración del equipo colocando unas gotas de agua destilada en el prisma del refractómetro, observando que la lectura marcara cero (0.0). Se realizaron las mediciones en los confitados aplicando 3 repeticiones para cada muestra. La lectura indicada por el refractómetro es igual al °Brix de la muestra.

Determinación de acidez titulable

El contenido de acidez en las muestras se cuantificó como porcentaje de ácido cítrico por gramo, siguiendo el método de AOAC [15]. Para esto, se homogeneizaron 10 g de las muestras en 50 mL de agua desionizada. Se tomó una alícuota de 10 mL y se neutralizó con NaOH al 0.1 N (Golden Bell ®) y fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$) como indicador. El porcentaje de acidez se calculó aplicando la ecuación (1).

$$\%\ \text{Ác. cítrico} = \frac{(\text{mL NaOH gastado})\text{x}(\text{N NaOH})\text{x}(\text{Meq.acido})\text{x}(\text{VT})\text{x}(100)}{(\text{Peso muestra})\text{x}(\text{Alicuota})} \quad (1)$$

Donde:
N= Normalidad del NaOH
Meq= miliequivalentes del ácido
VT= volumen total gastado

Análisis colorimétrico

El color de las muestras se determinó mediante un Colorímetro Hunter Color Measuring System UltraScan Vis (Lanscan, XE, Hunter Lab, Inc., USA). Se midieron los parámetros L*, a* y b* empleando la escala CIE. El promedio de seis valores fue tomado para cada corrida de las muestras. Con base a los valores de L*, a* y b se calcularon croma (C*) que representa el índice de saturación aplicando la ecuación (2), y el ángulo de tono (°h) aplicando la ecuación (3).

$$C = (a^2 + b^2)^2 \quad (2)$$

Donde:
C= cromaticidad
a= coordenada a* (rojo-verde)
b= coordenada b* (amarillo-azul)

$$^\circ h = \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \quad (3)$$

Donde:
°h = ángulo de cromaticidad
a= coordenada a* (rojo-verde)
b= coordenada b* (amarillo-azul)

 ISSN: 2007 8102

Análisis sensorial

Se realizó un análisis sensorial de los confitados teniendo en cuenta los atributos de apariencia, color, textura, olor y grado de aceptación. Está prueba se llevó a cabo en un grupo de 30 jueces no entrenados, con una escala hedónica de 9 puntos (9. Me gusta muchísimo, 8. Me gusta mucho, 7. Me gusta moderadamente, 6. Me gusta poco, 5. Ni me gusta ni me disgusta, 4. Me disgusta poco, 3. Me disgusta moderadamente, 2. Me disgusta mucho, 1. Me disgusta muchísimo) [16].

Análisis estadístico

Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) con la comparación de medias mediante la prueba de Tukey de rangos múltiples para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos utilizando el software MiniTab v. 19.1 (Minitab Inc., State College, PA, EE. UU). El nivel de significancia se fijó en $p \leq 0,05$. Los experimentos se realizaron por triplicado, y los datos se presentan como las medias ± desviación estándar.

Resultados y discusión

Determinación de pH

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la determinación de pH de los confitados, para el caso de la adición de stevia, no se observó una diferencia estadísticamente significativa en el descenso de pH con un 60% de edulcorante, siendo este el más bajo entre las muestras con un valor de 3.70 ± 0.43^{c}, este resultado se asemeja a lo reportado por Bravo *et al*. [17], con un valor de 3.71 ± 0.01 de pH en una golosina tipo gomita a base de pulpa de parchita (*Passiflora edulis*) endulzada con estevia (*Stevia rebaudiana bertoni*), y con un confitado de mango verde con un pH de 3.6 [18] y papaya verde confitada [19]. La inclusión del jarabe de agave y de miel de abeja mantuvieron su pH sin diferencias estadísticas en los niveles de sustitución.

Tabla 2. Resultados de pH de los confitados de bagazo de yaca.

Muestra	pH			
	20%	40%	60%	Blanco
Stevia	4.26 ± 0.60^{b}	4.34 ± 0.04^{b}	3.70 ± 0.43^{b}	5.16 ± 0.28^{a}
Jarabe de agave	5.31 ± 0.02^{a}	5.42 ± 0.02^{a}	5.43 ± 0.03^{a}	5.16 ± 0.28^{a}
Miel de abeja	5.57 ± 0.07^{a}	5.60 ± 0.02^{a}	5.42 ± 0.01^{ab}	5.16 ± 0.28^{b}

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Los datos expresan valores promedio ± la desviación estándar (n=3) repeticiones y medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, p≤0.05).

°Brix

En la Figura 1 se presentan los resultados de °Brix de los confitados, para el caso de la adición de stevia al 40% mostró diferencia significativa con respecto al blanco y las otras muestras con edulcorantes, alcanzando cerca de 10 °Brix; los confitados con los diferentes edulcorantes no presentaron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de °Brix. La muestra con adición de miel al 40 % obtuvo el menor valor con 6.16 ± 0.28 °Brix, este resultado se asemeja a lo reportado por Bravo *et al*. [17] con un 6.20 ± 0.00 °Brix en una golosina tipo gomita a base de pulpa de parchita (*Passiflora edulis*) endulzada con estevia (*Stevia rebaudiana bertoni).*

 ISSN: 2007 8102

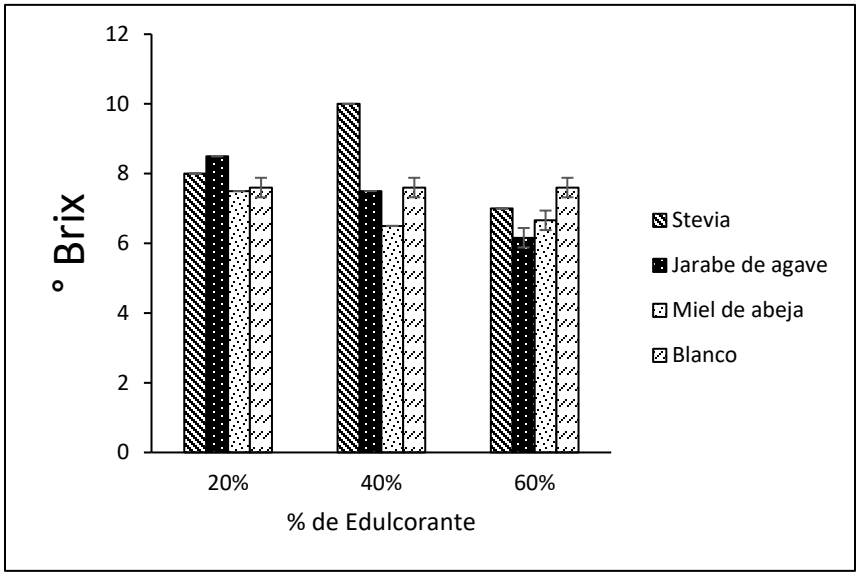


Figura 1. Grados Brix de las diferentes formulaciones de los snacks de bagazo de yaca.

Acidez

En la Tabla 3 se presentan los valores de acidez titulable de los confitados, la cual no presentó diferencia estadísticamente significativa en ninguno de los confitados elaborados con las diferentes sustituciones de los edulcorantes. Los valores de acidez detectados en los confitados de bagazo de yaca fueron mayores a los reportados en papaya verde confitada con 0.26 ± 0,06 % de acidez [19] y a lo reportado por Bravo *et al.* [15] con un valor de 0,31 ± 0,06 % de acidez en una golosina tipo gomita a base de pulpa de parchita (*Passiflora edulis*) endulzada con estevia (*Stevia rebaudiana bertoni*).

Tabla 3. Valores de acidez titulable de los confitados de bagazo de yaca.

Muestra	Acidez Titulable (%)			
	20%	40%	60%	Blanco
Stevia	1.5 ± 0.17[a]	1.6 ± 0.17[a]	1.33 ± 0.15[a]	1.5 ± 0.26[a]
Jarabe de agave	1.8 ± 0.3[a]	1.46 ± 0.3[a]	1.3 ± 0.2[a]	1.5 ± 0.26[a]
Miel de abeja	1.56 ± 0.3[a]	1.53 ± 0.3[a]	1.7 ± 0.2[a]	1.5 ± 0.26[a]

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Los datos expresan valores promedio ± la desviación estándar (n=3) repeticiones y medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, p≤0.05).

Humedad

Los valores de humedad se muestran en la Tabla 4, los cuales para el caso de confitados elaborados con stevia presentaron el mayor porcentaje de humedad con respecto a los otros productos con agave y miel de abeja, sin embargo, estos valores no superan el 10 % lo cual resulta aún conveniente para disminuir las probabilidades de crecimiento microbiológico. Los confitados con miel de agave y miel de abeja no mostraron diferencias en sus valores de humedad con la adición incremental de edulcorantes, siendo ligeramente cercanos a lo reportado por Campo *et al.* [20] con un valor de 2.81 % de humedad en un confite a base de panela con 20% de glucosa**.** Los valores de humedad detectados fueron menores a los reportados en confitados de mango verde con un 14.64% [18] y a lo reportado por Iglesias *et al.* [21] con un 18.1 % de humedad en caramelos tipo goma con adición de miel de abeja (*Apis mellifera*).

 ISSN: 2007 8102

Tabla 4. Contenido de humedad de los confitados de bagazo de yaca.

Muestra	% Humedad			
	20%	40%	60%	Blanco
Stevia	9.36 ± 1.40^{a}	7.67 ± 1.76^{a}	9.07 ± 2.63^{a}	8.2 ± 0.72^{a}
Jarabe de agave	3.36 ± 1.10^{bc}	4.43 ± 1.21^{b}	1.86 ± 0.23^{c}	8.2 ± 0.72^{a}
Miel de abeja	4.06 ± 0.73^{b}	4.0 ± 0.1^{b}	3.36 ± 0.60^{b}	8.2 ± 0.72^{a}

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Los datos expresan valores promedio ± la desviación estándar (n=3) repeticiones y medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, p≤0.05).

Color

En la Tabla 5 se muestra el análisis de color de los confitados, en los que se puede apreciar que en cuanto al parámetro *L* los valores más altos se detectaron en los confitados con jarabe de agave, tendiendo a color café claro con respecto del resto de las muestras con stevia y miel de abeja. El comportamiento también ocurre con los parámetros a* y b*. Los confitados con stevia y miel de agave mostraron valores muy semejantes, tendiendo a color marrón, el cual se observa menos intenso al incrementarse los porcentajes de sustitución de los edulcorantes.

Tabla 5. Análisis colorimétrico de los confitados de bagazo de yaca.

		Confitados de yaca					
%	**Muestra**	**L***	**a***	**b***	**Croma**	**Hue**	**Color**
	Stevia	19.54 ± 0.04	5.4 ± 0.36	4.33 ± 0.03	6.92 ± 0.28	38.77 ± 1.81	
20	**Jarabe de agave**	32.74 ± 0.04	15.84 ± 0.03	25.73 ± 0.03	28.53 ± 0.01	56.3 ± 0.1	
	Miel de abeja	12.73 ± 0.03	6.53 ± 0.05	3.4 ± 0.36	7.37 ± 0.14	27.43 ± 2.55	
	Stevia	18.85 ± 0.03	4.75 ± 0.03	3.56 ± 0.41	6.11 ± 0.09	38.86 ± 0.66	
40	**Jarabe de agave**	29.43 ± 0.03	10.16 ± 0.11	17.15 ± 0.03	19.94 ± 0.08	59.36 ± 0.23	
	Miel de abeja	18.11 ± 0.08	3.81 ± 0.03	3.36 ± 0.25	5.09 ± 0.18	41.37 ± 1.92	
	Stevia	17.92 ± 0.04	3.54 ± 0.04	3.43 ± 0.03	4.93 ± 0.05	44-06 ± 0.11	
60	**Jarabe de agave**	30.55 ± 0.04	15.74 ± 0.04	25.54 ± 0.04	30.0 ± 0.05	58.33 ± 0.05	
	Miel de abeja	19.39 ± 0.05	4.7 ± 0.06	4.17 ± 0.2	6.21 ± 0.01	42.17 ± 2.54	

Análisis sensorial

El análisis sensorial de los confitados de bagazo de yaca sustituidos con miel de abeja se muestra en la Tabla 6, en el cual no se detectaron diferencias significativas en los atributos evaluados y aceptación general con respecto a los diferentes porcentajes de sustitución y con respecto al confitado blanco, lo cual resulta positivo ya que los evaluadores no detectaron diferencias y con buena probabilidad de consumo.

Tabla 6. Evaluación sensorial escala hedónica de nivel de agrado de sustitución con miel de abeja.

Atributo	Muestras			
	Blanco	20%	40%	60%
Apariencia	2.0 ± 1.48^{a}	2.55 ± 1.14^{a}	2.95 ± 0.75^{a}	2.2 ± 1.28^{a}
Color	2.25 ± 1.2^{b}	2.95 ± 1.09^{ab}	3.2 ± 0.61^{a}	2.65 ± 0.98^{ab}
Olor	0.8 ± 1.85^{a}	1.65 ± 1.78^{a}	2.05 ± 1.79^{a}	1.5 ± 1.85^{a}
Textura	1.5 ± 1.76^{ab}	2.4 ± 1.46^{a}	1.85 ± 1.63^{ab}	0.75 ± 2.12^{b}
Sabor	1.65 ± 1.84^{a}	2.25 ± 1.74^{a}	2.3 ± 1.68^{a}	1.95 ± 1.66^{a}
Picor	2.15 ± 1.59^{a}	2.6 ± 1.35^{a}	2.5 ± 1.76^{a}	2.05 ± 1.09^{a}
Aceptación	1.5 ± 1.93^{a}	2.35 ± 1.49^{a}	2.55 ± 1.23^{a}	1.4 ± 1.5^{a}

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Los datos expresan valores promedio ± la desviación estándar (n=3) repeticiones y medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, p≤0.05).

 ISSN: 2007 8102

Con respecto a la Tabla 7, se observan los resultados de la evaluación sensorial de los confitados con stevia, en los cuales los jueces no detectaron diferencias en los atributos evaluados y presentaron un nivel de aceptación igual con respecto al blanco elaborado con sacarosa. Los confitados con jarabe de agave de igual forma presentaron una aceptación general similar con respecto al blanco y entre los diferentes niveles de sustitución con los edulcorantes (Tabla 8).

Tabla 7. Evaluación sensorial escala hedónica de nivel de agrado de sustitución con stevia.

Atributo	Muestras			
	Blanco	20%	40%	60%
Apariencia	2.35 ± 0.87^{a}	2.6 ± 1.23^{a}	1.85 ± 1.72^{a}	2.65 ± 1.26^{a}
Color	1.75 ± 1.8^{a}	2.35 ± 1.53^{a}	2.15 ± 1.63^{a}	1.95 ± 1.39^{a}
Olor	2.35 ± 1.42^{a}	2.85 ± 1.22^{a}	2.95 ± 0.68^{a}	2.4 ± 0.94^{a}
Textura	2.15 ± 1.59^{a}	2.6 ± 1.35^{a}	2.5 ± 1.76^{a}	2.05 ± 1.09^{a}
Sabor	1.7 ± 1.86^{a}	2.15 ± 1.69^{a}	2.45 ± 1.53^{a}	1.95 ± 1.31^{a}
Picor	1.35 ± 1.75^{a}	1.8 ± 1.47^{a}	2.0 ± 1.89^{a}	1.5 ± 1.43^{a}
Aceptación	2.0 ± 1.58^{a}	2.5 ± 1.05^{a}	2.75 ± 0.91^{a}	1.8 ± 1.39^{a}

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Los datos expresan valores promedio ± la desviación estándar (n=3) repeticiones y medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, p≤0.05).

Tabla 8. Evaluación sensorial escala hedónica de nivel de agrado de sustitución con jarabe de agave.

Atributo	Muestras			
	Blanco	20%	40%	60%
Apariencia	2.0 ± 1.48^{a}	2.55 ± 1.14^{a}	2.95 ± 0.75^{a}	2.2 ± 1.28^{a}
Color	1.75 ± 1.8^{a}	2.35 ± 1.53^{a}	2.15 ± 1.63^{a}	1.95 ± 1.39^{a}
Olor	2.35 ± 1.42^{a}	2.85 ± 1.22^{a}	2.95 ± 0.68^{a}	2.4 ± 0.94^{a}
Textura	1.5 ± 1.76^{ab}	2.4 ± 1.46^{a}	1.85 ± 1.63^{ab}	0.75 ± 2.12^{b}
Sabor	1.65 ± 1.84^{a}	2.25 ± 1.68^{a}	2.3 ± 1.68^{a}	1.95 ± 1.66^{a}
Picor	1.35 ± 1.75^{a}	1.8 ± 1.47^{a}	2.0 ± 1.89^{a}	1.5 ± 1.43^{a}
Aceptación	1.5 ± 1.93^{a}	2.35 ± 1.49^{a}	2.55 ± 1.23^{a}	1.4 ± 1.5^{a}

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Los datos expresan valores promedio ± la desviación estándar (n=3) repeticiones y medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, p≤0.05).

Trabajo a futuro

A partir de los resultados obtenidos es posible continuar con el análisis proximal y pruebas de calidad microbiológica, así como de vida de anaquel de los mismos, que permitan mostrar el tiempo de vida útil de cada confitado, así como pruebas de textura, empacado y etiquetado para su posible comercialización. Se considera importante continuar con estudios de predicción de índice glicémico de los productos elaborados.

Conclusiones

Se concluye que el bagazo de yaca puede ser utilizado en la elaboración de confitados, sustituyendo la sacarosa por un mínimo de 20% de miel, jarabe de agave o stevia alcanzando un nivel de aceptación similar a los elaborados con azúcar; los confitados presentaron parámetros de pH menores o igual a 5, con valores de 8 °Brix, un contenido de humedad menor a 9% y con un color tendiente a café claro a marrón. Lo anterior genera una alternativa de consumo para este residuo de la fruta de yaca para la generación de valor agregado.

 ISSN: 2007 8102

Agradecimientos

M.L Sánchez-Mundo, agradece al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto TNM "Evaluación de la incorporación de residuos de yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam*) sobre la digestibilidad in vitro en productos de panificación "con clave TNM 17834.23. PD de la Convocatoria 2023 Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación, para los Institutos Tecnológicos Federales, Descentralizados y Centros.

Referencias

[1] F. Akter and M.A. Haque, "Jackfruit Waste: A Promising Source of Food and Feed,"*Annals of Bangladesh Agriculture,* vol. 23, no. 1, pp. 91-102, 2019.

[2] A. U. Khan, "A Review on Importance of *Artocarpus heterophyllus* L. (Jackfruit)," *Journal of Multidisciplinary Applied Natural Science,* vol. 1, no. 2, pp. 106-116, 2021.

[3] Dam, S. M and N. T. Nguyen. Production of fermented beverage from fruit rags of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*). *Acta Horticulturae*. vol. 989 pp.285-292, 2013.

[4] J.O. Chávez-Santiago, J.O, A.L. Perales-Torres, S.E. Alemán-Castillo, R. Santiago-Adame. Composición química proximal de jaca (*Artocarpus heterophyllus* L.) Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos Vol. 5, pp. 207-210, 2020.

[5] A. U. Khan, M. A. R. Choudhury, M. A. Maleque, C. K. Dash, M. S. A. Talucder, A. R. M. Maukeeb, I. J. Ema, M. Adnan. "Management of insect pests and diseases of jackfruit (Artocarpus heterophyllus l.) in agroforestry system: a review". *Acta Entomology and Zoology*. Vol. 2 (1) pp. 37–46, 2021.10.33545/27080013.2021.v2.i1a.29.

[6] S. Palamthodi, S. Shimpi, and K. Tungare,"A study on nutritional compositions and functional properties of wheat, ragi and jackfruit seed composite flour," *Food Science and Applied Biotechnology*, Vol. 4, no. 1, pp. 63-75, 2021.

[7] D. Cruz-Guevara, Franco-Robles, E., C. Ozuna, " Efecto de la incorporación de diferentes tipos de edulcorantes en las propiedades físicas y funcionales de un producto panificable", *Ciencias Agropecuarias*, vol. 4, No. 1, 2018.

[8] S. Semante, "Utilización de harina de jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) en galletas con bajo índice glucémico," Tesis Profesional de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador, 2021.

[9] K. C. Porras López, "Análisis comparativo del destilado obtenido a partir de Jaca (*Artocarpus heterophyllus*) utilizando dos diferentes endulzantes a diversas concentraciones de levadura *Saccharomyces cerevisiae"*, Tesis de Licenciatura, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Ecuador, 2022.

[10] K. M. de León Farfán, "Revisión de Literatura: Industria de conservas dulces reducidas en calorías y aporte de Zamorano en la investigación de alimentos y bebidas reducidas en azúcar, grasa y sal", Tesis de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, 2020.

[11] N. K. T. Asri, M. Devi, S. Soekopitojo, "Effect of drying on antioxidant capacity, sugar content, water content, physical and organoleptic properties of dried candied Dewandaru fruit (*Eugeia uniflora* L.)," *Journal of Physics*.: Conf. 1882 012110, 2021.

[12] NMX-F-428-1982. Alimentos. Determinación de humedad (Método rápido de la termobalanza). Foods. Determination of moisture (Thermobalanza). Foods. Determination of moisture (Thermobalance rapid method). Normas Mexicanas. Dirección general de normas

[13] México, Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, "NORMA OFICIAL MEXICANA "Determinación de pH en Alimentos" NOM-F-317-S-1978", *Diario Oficial de la Federación*, 23 de mayo de 1978. Accedido el 6 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4704689&fecha=23/05/1978&print=true.

[14] AOAC. (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. Virginia, pp.1000-1050.

[15] AOAC. (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. Virginia, pp.1000-1050.

[16] A. M. Muñoz, G. V. Civille y B. T. Carr, "Quality Ratings Method", en *Sensory Evaluation in Quality Control*. Boston, MA: Springer US, 1992, p. 108–139. Accedido el 6 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2653-1_4.

 ISSN: 2007 8102

[17] M. Bravo Velásquez, H. Barazarte, y C. C. González T., «Evaluación físico-química y sensorial de una golosina tipo gomita a base de pulpa de parchita (*Passiflora edulis*) endulzada con estevia (*Stevia rebaudiana bertoni*)», Agroindustria Sociedad y Ambiente, vol. 1, no.14, pp. 21-58, oct. 2020.

[18] J. A. Peña Custodio, “Obtención de parámetros óptimos en la elaboración de fruta confitada a partir de mango verde (*Mangífera indica*)”, Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Piura, Facultad de Ingeniería Agroindustrial e Industrias Alimentarias, Piura, Perú, Julio. 2019.

[19] Y.N, Alvarado Pralin, G.R. Cabrera Alvarado, L.I. Delgado Nuñez, “Obtención de fruta confitada de papaya (Carica papaya) por deshidratación osmótica y secado con aire caliente”. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Facultad de Ciencias Químicas, León, Nicaragua, 2020.

[20] Y. Campo Vera, V. M. Gélvez Ordoñez y J. L. Restrepo, "Elaboración y estandarización de un confite (caramelo duro) a base de panela", *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, vol. 5, no. 2, pp. 74–79, 2018. Accedido el 5 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.23850/24220582.1414

[21] D. Iglesias Guevara, K. B. Febles Fresquet, J. Escandell Comesaña y J. A. Arencibia Sánchez, "Elaboración artesanal de caramelos masticables tipo goma con adición de miel de abeja (*Apis mellifera*)", *Tecnología Química*, vol. 42, no. 2, pp. 174–192, 2022. Accedido el 4 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852022000200174

ISSN: 2007 8102

Producción y caracterización de biopelículas micro y nanoestructuradas basadas en almidón de sorgo

I.G. Ruiz-Martínez[2*], G. Pacheco-Vargas[1], S.V. Ávila-Reyes[2], D. Tapia-Maruri[1], J. Solorza-Feria[1*]
[1]Instituto Politécnico Nacional, CEPROBI. Km 6 Carretera Yautepec-Jojutla, Calle Ceprobi 8, Col. San Isidro. C.P. 62731. Yautepec, Morelos, México.
[2]CONACyT-Instituto Politécnico Nacional, CEPROBI. Km 6 Carretera Yautepec-Jojutla, Calle Ceprobi 8, Col. San Isidro. C.P. 62731. Yautepec, Morelos, México.
*iqlupitarm@gmail.com; jsolorza@ipn.mx

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen
La obtención y aplicación de materias primas provenientes de fuentes naturales como el almidón de sorgo, que tiene la capacidad de formar matrices poliméricas biodegradables que al ser reforzadas por nanoarcillas (bentonita) y microfibras (bagazo de caña de azúcar), proveen mejoras en las propiedades fisicoquímicas de los biomateriales. Se prepararon películas por el método de vaciado en placa o casting, involucrando una muestra control (M1) de almidón de sorgo con glicerol y agua como plastificantes, y seis muestras reforzadas (M2-M7) conteniendo ácidotánico, nanoarcillas (bentonita), microfibra de bagazo de caña, glicerol y agua, obtenidas a diferentes concentraciones de cada componente. Se caracterizaron los espesores y las propiedades mecánicas de las películas. Se encontró que el contenido el agua y el glicerol actuaron como plastificantes, y la adición de ácido tánico mejoró las condiciones de homogenización de las muestras, entonces el espesor de las biopelículas aumentó (71 a 85 µm). Se obtuvieron módulos elásticos (0.17 a 2.52 MPa) y tensión a la fractura (3.36 a 8.37 MPa), existió cierto efecto reforzante del ácido tánico, bentonita y las microfibras, mejorándolas propiedades de elasticidad con un rango del porcentaje de elongación de 20.50 a 58.28 %. En general, las formulaciones M4 y M7 produjeron mejores películas en términos de propiedades mecánicas.

***Palabras clave**: almidón de sorgo, ácido tánico, nanoarcillas, microfibras.*

Abstract
The obtaining and application of raw materials from natural sources such as sorghum starch, which has the capacity to form biodegradable polymeric matrices that, when reinforced by nanoclays (bentonite) and microfibers (sugarcane bagasse), provide improvements in the physicochemical properties of biomaterials. Films were prepared by the casting method, involving a control sample (M1) of sorghum starch with glycerol and water as plasticizers, and six reinforced samples (M2-M7) containing tannic acid, nanoclays (bentonite), sugarcane bagasse microfibers, glycerol and water, obtained at different concentrations of each component. The thickness and mechanical properties of the films were characterized. It was found that the water and glycerol content acted as plasticizers, and the addition of tannic acid improved the homogenization conditions of the samples, so the thickness of the biofilms increased (71 to 85 µm). Elastic modulus (0.17 to 2.52 MPa) and tensile strength (3.36 to 8.37 MPa) were obtained, there was some reinforcing effect of tannic acid, bentonite and microfibers, improving elastic properties with an elongation percentage range from 20.50 to 58.28 %. Overall, the M4 and M7 formulations produced better films in terms of mechanical properties.

***Key words**: sorghum starch, tannic acid, nanoclays, microfibers.*

Introducción
Es importante buscar una alternativa sostenible a los polímeros sintéticos, ha sido casi imposible reemplazarlos en la vida diaria, debido a las propiedades de resistencia que ofrecen en el embalaje y transporte de productos. Se demandan materiales seguros utilizando un método o procesamiento ecológico como el casting, promoviendo esfuerzos en la obtención e investigación de materiales derivados de fuentes renovables para minimizar el uso de envases plásticos provenientes de los derivados del petróleo, buscando alternativas verdes. Los materiales utilizados para producir materiales biodegradables, especialmente biopelículas incluyen hidrocoloides, lípidos y aditivos (ej. plastificantes, emulsionantes), entre los que se encuentran el almidón, la gelatina, el colágeno, el quitosano, destacando la celulosa, la pectina y las ceras. Las películas hechas de hidrocoloides son fáciles de procesar y por lo general, tienen buenas propiedades de barrera a gases como el oxígeno y al dióxido de carbono [1]; sin embargo, no tienen buenas propiedades mecánicas. Uno de los hidrocoloides más utilizados para producir biopelículas es el almidón, principalmente porque es un material abundante en la naturaleza, por lo que es

 ISSN: 2007 8102

económico y puede ser fácilmente aislado de varios cultivos y fuentes botánicas renovables como maíz, trigo, papa, sorgo, amaranto, yuca, guisantes, yuca, arroz, plátano verde, entre otros [2]. El sorgo se considera un cultivo importante en los países en desarrollo y es el quinto cultivo más importante del mundo. El almidón de sorgo obtenido del grano se entrecruza con la proteína y, por lo tanto, es menos digerible, lo que limita su aplicación alimentaria [3-4]. Por lo tanto, la modificación del almidón de sorgo y su uso como material base para biopelículas puede ser una forma prometedora de agregar valor a los cultivos de sorgo. Sin embargo, la alta hidrofilia, la solubilidad y la baja resistencia a la tracción (tensión a la fractura) de las biopelículas limitan su uso como empaque de alimentos. [5]. El almidón se puede modificar usando diferentes métodos, tales como los físicos, químicos, enzimáticos y/o combinados, con el objetivo de mejorar las propiedades de la película [6]. Se han probado micro y nano materiales de refuerzos, tales como; las microfibras de fuentes renovables como el bagazo de caña, ha captado cierta atención cada vez mayor en la industria del envasado de alimentos, no solo por su sustentabilidad sino también por sus excelentes propiedades, como flexibilidad, alta resistencia a la tracción/módulo de Young, baja densidad, capacidad de unión y alta barrera contra gases [7]. Las nanoarcillas, debido a su fuente natural, mineral libre de toxinas y costo relativamente bajo, han encontrado un gran uso como nanorrelleno para diferentes polímeros, junto con cristales de nanocelulosa. De ellos, la bentonita es una arcilla que consta de dos láminas tetraédricas de silicato con una lámina octaédrica en el centro de cada capa y cationes intercambiables entre las capas, estando en forma de plaquetas [8-9]. Debido a que su componente principal (montmorillonita), la bentonita tiene una alta propiedad absorbente y capacidad de hinchamiento. También son usados los agentes de entrecruzamiento para crear enlaces covalentes estables entre los materiales, para que contribuyan al mejoramiento de las propiedades de los biomateriales como el ácido tánico.

En el presente estudio se elaboraron biopelículas de almidón de sorgo reforzadas con diferentes concentraciones de bentonita, microfibra de bagazo de caña, glicerol y ácido tánico, con el objetivo de evaluar el espesor y sus propiedades mecánicas.

Metodología

Materiales

Los materiales utilizados para este estudio fueron: glicerol (GLY) (grado analítico, Sigma-Aldrich, USA), bentonita hidrofílica (Nanomer® PGV, Sigma-Aldrich, USA), microfibra de bagazo de caña de azúcar (MBC) recolectado del Ingenio Azucarero “Emiliano Zapata” ubicado en el municipio de Zacatepec, Mor., ácido tánico (ACS, Alfa Aesar, EE. UU.), sílica gel (Hycel, México), bromuro de sodio y cloruro de sodio (Fermont, México). Agua destilada (WT) fue usada en todas las formulaciones.

Desarrollo

Producción de muestras de biopelículas

La concentración de cada componente se basa principalmente en siete formulaciones óptimas desarrolladas desde trabajos previos en el laboratorio, como se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1. Formulaciones (% p/p) usadas para las muestras producidas por casting

Muestra	Glicerol	Almidón	Bentonita	Ácido Tánico	Microfibra
M1	30.00	70.00	0.00	0.00	0
M2	28.00	68.50	3.50	0.00	0
M3	29.00	69.50	0.00	0.00	1.5
M4	29.00	66.50	1.50	1.50	1.5
M5	27.87	65.13	3.50	3.50	0
M6	28.00	69.00	0.00	1.50	1.5
M7	27.87	65.13	3.50	0.00	3.5

***Las cantidades por muestra representan el 6% de solidos usados en el total de la solución filmogénica.**

Se obtuvieron las biopelículas por el método de vaciado en placa o casting, con base en la matriz de almidón de sorgo reforzada con las diferentes concentraciones de bentonita y microfibras, adicionada con ácido tánico como agente reticulante que es responsable que ocurra una reacción química entre cadenas de polímeros para quese unan. Siguiendo la metodología de Ruiz-Martínez y col. [10] con algunas modificaciones, se realizaron las soluciones filmogénicas previamente, por un lado, la mezcla acuosa de almidón/plastificante/microfibras y por otro bentonita/ácido tánico, posteriormente se unieron ambas mezclas que formaron las soluciones filmogénicas que fueron vertidas en placas de acrílico, un vez secas originaron a las biopelículas reforzadas o compuestas. Todas

 ISSN: 2007 8102

las soluciones generadoras de biopelículas o filmogénicas se realizaron manteniendo una concentración de 6% p/p de sólidos totales.

Por un lado, se prepararon las suspensiones acuosas de almidón de sorgo y microfibra de bagazo de caña de azúcar y glicerol. En seguida, se dejó el almidón de sorgo (AS) en agitación constante a 85±1 ºC por 20 min en alrededor de 23.5 mL de agua (WT). Además, se disolvió el porcentaje en p/p de mircrofibra de bagazo de caña (MBC) correspondiente en 23.5 mL de WT, se agitó a temperatura ambiente durante 2 h, la suspensión obtenida se sumergió en un baño ultrasónico durante 30 min a 60 °C usando un sonicador marca Branson Modelo 2510, USA (40 kHz, 75 W). A continuación, se añadió la solución de glicerol (GLY) a la suspensión de microfibra (MBC) y estas al AS, esta mezcla se sonicó (40 kHz) durante 25 min y quedó en reserva.

Por otro lado, la misma metodología [10] con algunas modificaciones se siguió para las soluciones de bentonita (BN) y acido tánico (AT) como se menciona a continuación. Se disolvió el ácido tánico (GLY) en 47 mL de WT, se dejó en agitación durante 30 min. Luego se agregó lentamente el porcentaje de BN para 100 g de formulación y se agitó nuevamente durante 30 min a 50 °C. La solución obtenida se homogeneizó a 4500 x g por 10 min (ULTRA TURRAX IKA, T25 digital, Alemania). Posteriormente, a la solución AS-MBC-GLY se le añadió suavemente la solución de AT-BN por goteo y con agitación constante durante 6 h a 50 °C. Después se homogeneizaron ambas mezclas (AS-MBC-GLY y AT-BN) a 4500 x g por 10 min, esto seguido de una sonicación (40 kHz) por 30 min, que se usó para lograr la exfoliación e intercalación de la arcilla y el plastificante.

Elaboración de las biopelículas por el método de casting

Las biopelículas se elaboraron por el método conocido como vaciado o casting mencionado anteriormente. Las soluciones filmogénicas fueron vaciadas sobre cajas cuadradas de acrílico (Corning) con medidas de 24.5 cm x 24.5 cm de área superficial, las cuales se secaron a 35 °C durante 24 h. Finalmente, se desprendieron las biopelículas y se almacenaron por 7 días a temperatura ambiente dentro de un desecador, con una humedad relativa del 57%, acondicionada por una solución saturada de NaBr, antes de cada prueba.

Espesor

El espesor de la película (M1 a M7) se midió con un micrómetro digital (Mitutoyo IP65 Coolant Proof, Japón) con una sensibilidad de 1 µm. Se utilizaron al menos diez (n=10) ubicaciones aleatorias en cada película para obtener un valor medio y una desviación estándar. Las pruebas se realizaron por triplicado (n = 3) para cada muestra.

Propiedades mecánicas

Para la determinación de las propiedades mecánicas de las diferentes biopelículas (M1 a M7), se realizaron pruebas de tensión a la fractura (TF), módulo elástico o módulo de Young (ME) y el porcentaje de elongación (%E) de acuerdo con la ASTM (ASTM D882-02, 2002). Por un lado, previo a las pruebas, las muestras fueron acondicionadas durante 7 días en un desecador provisto de una solución saturada de NaBr que proporciona 57% HR. Las pruebas se realizaron en un Texturómetro TAXT2i (Stable Micro SystemsTM, Surrey, UK) equipado con una celda de carga de 25 kg; con una muestra efectiva de prueba por la separación de pinzas de 60 mm y una velocidad de deformación de 10 mm/min. Se cortaron rectángulos de cada película de 1 cm x 10 cm, además se les midió el espesor con un micrómetro digital Mitutoyo IP65 (Coolant Proof, Japón) en 10 posiciones aleatorias a lo largo del rectángulo.

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron con OriginPro 8.5 (OriginLab Corporation, EE.UU.). Los datos se sometieron a un análisis de la varianza para determinar las diferencias significativas entre las muestras. Las medias se compararon mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey y las diferencias se consideraron significativas cuando $p < 0.05$.

Resultados y discusión

Producción de muestras de biopelículas

En la Figura 1 se muestran las diferentes películas elaboradas por el método de casting o vaciado en placa, se obtuvieron biopelículas completas, cuadradas, delgadas, flexibles y transparentes a simple vista.

 ISSN: 2007 8102



Figura 1. Biopelículas de almidón de sorgo reforzadas con micro y nanoestructuras, obtenidas por el método de casting.

Las siete biopelículas fueron obtenidas por casting, desprendidas de la caja de acrílico sin presentar problemas para su manipulación y fueron guardadas en un desecador a 57 % HR para acondicionarlas y se encontraron listas para su caracterización.

Espesor

La aplicación del método de análisis de varianza a los datos de espesor de las siete biopelículas, con cuando menos 15 mediciones, dio como resultado diferencias significativas, con probabilidad $p<0.05$ (Tabla 2). Lo cual indicó variaciones en el espesor de las biopelículas en función de las formulaciones.

Tabla 2. Análisis de varianza del espesor de las biopelículas obtenidas por casting

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	p
Muestra	6	2417.97	402.99	1629.25	< 0.05
Residual	98	24.24	0.25		
Total	104	2442.21			

La Tabla 3 muestra los espesores, se observa que existen diferencias significativas ($p < 0,5$) entre las muestras M3, M4, M5 y M7, pero no presentan diferencias significativas entre ellas las muestras M1, M2 y M6, entonces los resultados muestran que las biopelículas producidas por castingson materiales con espesores que variaron entre 71 µm y 85 µm.

Tabla 3. Espesor de muestras de película (micras) producidas por casting

Muestra	Espesor ± d.e. (µm)
M1	75.60 ± 0.99^{d}
M2	75.86 ± 0.67^{d}
M3	84.39 ± 0.24^{b}
M4	80.48 ± 0.30^{c}
M5	71.31 ± 0.20^{e}
M6	75.43 ± 0.29^{d}
M7	85.30 ± 0.20^{a}

Valor promedio ± d.e. (desviación estándar); n=10. Valores con letras iguales no muestran diferencias significativas entreellas ($p>0.05$).

En general, el espesor de una película depende de la composición de la solución formadora de la muestra, así como de la naturaleza y concentración de sus componentes. Estos componentes de la solución formadora de una biopelícula afectan a la alineación, la ordenación y la compactación de las moléculas durante el proceso de secado

 ISSN: 2007 8102

de la película, lo que provoca las diferencias de espesor [10]. Se distinguen biopelículas que no muestran diferencias significativas entre sus espesores (p> 0.05). Las biopelículas se basan en las formulaciones con mayor concentración de microfibras en las formulaciones M3 y M7, que tenían los espesores mayores que van del 6-7% mayor que la muestra M1. A continuación la muestra M4 con la concentración de 1.5 % p/p de cada uno de los refuerzos (Tabla 1), presentó con 3.5 % mayor espesor con respecto a la biopelícula control. En el caso de las muestras M2 y M6 no mostraron diferencias significativas entre sus espesores, pero si hubo diferencias significativas con respecto a la muestra control M1. En el caso de la biopelícula M5 presentó un valor del 3% menor en el espesor con respecto a la M1. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Ruiz-Martínez y col. [10], quienes observaron que al aumentar la concentración de bentonita en las muestras el espesor aumentó de 60 a 110 µm, debido a que la nanoarcilla proporciona firmeza y su red molecular se entrelazan con los otros componentes. Por otro lado,Shrestha y col. [11] en su estudio demuestran que las biopelículas de almidón de sorgo fueron aumentando el espesor al aumentar la concentración de glicerol presentes en ellas.

El espesor de las biopelículas de plástico comerciales oscila dentro de un intervalo de 12-125 µm para el polipropileno y para el polietileno de baja densidad (LDPE) en un intervalo de 15-250 µm [11], en consecuencia, los resultados obtenidos para todas las biopelículas son aceptables para su comercialización.

Propiedades mecánicas

En la Tabla 4 se muestra la tensión a la fractura (TF), el porcentaje de elongación (%E) y el módulo de Young (ME) de las biopelículas de almidón de sorgo control (M1) y las reforzadas con MBC, BN y AT a diferentes concentraciones.

Tabla 4. Propiedades mecánicas de las biopelículas de gelatina obtenidas por el método de casting

Muestra	Tensión a la fractura (MPa) ± d.e.	Elongación (%) ± d.e.	Módulo elástico (MPa) ± d.e.
M1	3.75± 0.65^{cd}	58.28± 0.84^{a}	0.17± 0.01^{d}
M2	8.37± 0.77^{a}	38.81± 0.40^{b}	0.70±0.01b^{c}
M3	6.06± 1.06^{b}	38.15± 0.28^{b}	0.39± 0.01^{cd}
M4	6.03± 0.27^{b}	20.50± 0.56^{d}	2.31± 0.06^{a}
M5	3.36± 0.86^{d}	55.87± 0.79^{a}	0.36± 0.01^{cd}
M6	4.68± 1.03^{bcd}	35.66± 1.10^{bc}	1.14± 0.01^{b}
M7	4.84± 0.64^{bc}	25.42± 0.45^{cd}	2.52± 0.02^{a}

Propiedades mecánicas de las biopelículas de almidón de sorgo. Valor promedio ± d.e. (desviación estándar); n=10. Valores con letras iguales no muestran diferencias significativas entre ellas (p>0.05).

Las propiedades mecánicas de las biopelículas, en general, están asociadas en gran medida a la naturaleza y la estructura química de los materiales que las forman. En la Tabla 4 en la columna que corresponde a los valores de la tensión a la fractura, se observan que existen diferencias significativas (p < 0,5) entre las muestras, se indicó claramente que la tensión a la fractura de las biopelículas de almidón aumentó significativamente por el aumento con base en el contenido de los micro y nano refuerzos, sin llegar a la saturación de los mismos. El valor más alto corresponde a la muestra M2 reforzada únicamente con BN al 3.5 % p/p, Solorza-Feria y col., [12] comprobaron en sus estudios que las nanoarcillas se intercalan en la estructura de la matriz polimérica, aumentando la resistencia de la matriz reforzada. El segundo valor más alto es de la muestra M3, es una muestra reforzada únicamente con MF a 1.5% p/p en su concentración, presentó diferencias significativas (p < 0,5) con respecto a la película control M1, requiriendo más esfuerzo para ser fracturadas se observó un aumento del 62 % al añadir la microfibra en comparación con la biopelícula control. Ludvik y col. [13] observaron el mismo comportamiento en sus muestras reforzadas con fibra celulósica y los valores de TF, fueron similares a los obtenidos en este estudio, se debió probablemente a la firmeza y estabilidad de la estructura del material lignocelulósico, brindando fuerza a cada biopelícula. La muestra M4 compuesta por BN, AT y MBC mostró diferencias significativas (p < 0,5) con respectoa M1, ya que al unir las propiedades de todos los componentes muestran un efecto de sinergia y mejoran las propiedades de la muestra, resultando 61 % mayor su valor de tensión a la fractura con respecto a M1. Estos resultados de las muestras M2, M3 y M4 que hayan tenido los valores más altos de tensión a la fractura, también se les atribuyen a sus resultados observados en la Tabla 3, donde se nota que tienen los valores de espesores mayores, entonces resultan muestras más fuertes. En cambio, las muestras M5, M6 y M7, presentaron los valores más bajos y muy similares a la biopelícula control, aunque no tuvieron diferencias significativas con respecto a M1, esto se atribuye a la saturación de las concentraciones de sus componentes.

 ISSN: 2007 8102

En la Tabla 4 también se presenta el porcentaje de elongación y el módulo elástico de cada muestra analizada, contrastando los resultados de cada concentración con respecto a la biopelícula control. Los valores de este parámetro variaron entre 20 % y 58 %. La muestra M5 presentó un porcentaje similar a la película control, no habiendo diferencias significativas entre ellas, debido a la dispersión homogénea entre sus componentes, atribuyéndole esto principalmente al ácido tánico, siendo este el agente dispersor entre la matriz, el plastificante y la nanoarcilla. Las biopelículas M2, M3 y M6 no mostraron diferencias significativas entre ellas, pero si mostraron diferencias significativas con respecto a la biopelícula control, con valores menores del 33% al 39 %. Las muestras M4 y M7 mostraron valores del 65% y 53% menores del porcentaje de elongación con respecto a la M1, tambiénse puede observar que los valores del módulo elástico son los más altos, lo que concuerda con la literatura ya que al tener un material rígido, sus valores del porcentaje de elongación son menores.

Trabajo a futuro

Se continuará realizando la caracterización fisicoquímica completa de las siete biopelículas para conocer sus alcances como futuro biomaterial y dirigirlo a una aplicación como por ejemplo recubrimiento o embalaje.

Conclusiones

En este trabajo, las biopelículas elaboradas a base de almidón de sorgo se produjeron con éxito mediante el método de vaciado en placa o casting, fue posible adicionar a las biopelículas ácido tánico, nanoarcillas, y microfibras (reforzantes). Los resultados mostraron que el agua y el glicerol actuaron como plastificantes, donde los valores del porcentaje de elongación disminuyeron al adicionar los micro (bagazo de caña de azúcar) y nanorefuerzos (bentonita). Y la adición de ácido tánico, mejoró las condiciones de homogenización de las muestras y aumentó el espesor de las biopelículas. Así como las nanoarcillas y microfibras aumentaron generalmente el módulo elástico o de Young y la resistencia a la tensión.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo del Instituto Politécnico Nacional en Mexico (COFAA, EDI, SNI) a través de la SIP, y al proyecto Posdoctoral del CONACYT.

Referencias

[1] Kumar, A., Hasan, M., Mangaraj, S., Pravitha, M., Verma, D. K., and Srivastav, P. P. “Trends in edible packaging films and its prospective future in food: a review,” *Applied Food Research*, vol. *2*, no. 1, pp.100-118, 2022.

[2] Gómez-Aldapa, C. A., Velazquez, G., Gutierrez, M. C., Castro-Rosas, J., Jiménez-Regalado, E. J., and Aguirre-Loredo, R. Y. “Characterization of functional properties of biodegradable films based on starches from different botanical sources,” *Starch-Stärke*, vol. *72* no.11-12, pp. 1900282, 2020.

[3] Ezeogu, L. I., Duodu, K. G., Emmambux, M. N., and Taylor, J. R. “Influence of cooking conditions on the protein matrix of sorghum and maize endosperm flours,” *Cereal Chemistry*, vol. *85,* no. 3, pp. 397-402, 2008.

[4] Wong, J. H., Lau, T., Cai, N., Singh, J., Pedersen, J. F., Vensel, W. H., ... and Buchanan, B. B. “Digestibility of protein and starch from sorghum (Sorghum bicolor) is linked to biochemical and structural features of grain endosperm,” *Journal of cereal science*, vol. *49,* no.1, pp. 73-82, 2009.

[5] Zhang, Y., Liu, Q., y Rempel, C. “Processing and characteristics of canola protein-based biodegradable packaging: A review,” *Critical reviews in Food Science and Nutrition,* vol. 58, no. 3, pp. 475-485, 2018.

[6] Sandhu, K. S., Kaur, M., Singh, N., and Lim, S. T. ”A comparison of native and oxidized normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties,” *LWT-Food Science and Technology*, vol. *41*, no. 6, pp. 1000-1010, 2008.

[7] Zheng, M., Tajvidi, M., Tayeb, A. H., and Stark, N. M. “Effects of bentonite on physical, mechanical and barrier properties of cellulose nanofibril hybrid films for packaging applications,” *Cellulose*, vol. *26*, pp. 5363-5379, 2019.

[8] Rafiee, R., and Shahzadi, R. “Mechanical properties of nanoclay and nanoclay reinforced polymers: a review,” *Polymer Composites*, vol. *40*, no. 2, pp. 431-445, 2019.

[9] Alekseeva, O. V., Noskov, A. V., and Agafonov, A. V. “Structure, physicochemical properties, and adsorption performance of the ethyl cellulose/bentonite composite films,” *Cellulose*, vol. *29, no.* 7, pp. 3947-3961, 2022.

ISSN: 2007 8102

[10] Ruiz-Martínez, I. G., Rodrigue, D., Arenas-Ocampo, M. L., Camacho-Díaz, B. H., Avila-Reyes, S. V., and Solorza-Feria, J. “Production and characterization of gelatin biomaterials based on agave microfibers and bentonite as reinforcements,” *Foods*, vol. 11, no. 11, pp. 15-73, 2022.

[11] Shrestha, B., Dhungana, P. K., Dhital, S., and Adhikari, B. “Evaluation of modified sorghum starches and biodegradable films,” *Journal of Food Science and Technology Nepal*, vol. 10, pp. 11-17, 2018.

[12] Solorza-Feria, J., Ortiz-Zarama, M. A., Jimenez-Aparicio, A., and Rodrigue, D. “Production and characterization of fully biobased foamed films based on gelatin,” *Cellular Polymers*, vol. *39*, no. 2, pp. 69-97, 2020.

[13] Ludvik, C. N., Glenn, G. M., Klamczynski, A. P., y Wood, D. F. “Cellulose fiber/bentonite clay/biodegradable thermoplastic composites,” *Journal of Polymers and the Environment,* vol. 15, no. 4, pp. 251-257, 2007.

ISSN: 2007 8102

Análisis comparativo del almacenamiento criogénico de energía

Joana Patricia Sánchez Flores[1], Sagrario Corazón Alcudia Ovando[2], Esveidi Montserrat Valdovinos García[3], Moisés Abraham Petriz Prieto[4]*
[1]División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Estatal Libre Vilahermosa-Comalcalco Km. 27+000 s/n Ranchería Ribera Alta, C.P. 86205, Jalpa de Méndez, Tabasco, México.
Correo de contacto: moises.petriz@ujat.mx*

***Área de participación**: Ingeniería química (Procesos)*

Resumen
El almacenamiento de energía a gran escala juega un papel fundamental en las energías renovables con miras hacia un sistema energético más sostenible y resiliente. El almacenamiento de energía facilita el suministro constante y confiable de energía limpia, sin embargo, en la actualidad, se enfrenta un desafío global en relación con la insuficiente capacidad de almacenamiento de energía a gran escala para fuentes renovables. En este trabajo se analizó el rendimiento energético del almacenamiento criogénico de energía con ciclos de licuefacción Linde y Claude. Se analizaron 5 configuraciones para el ciclo Linde y 3 para el ciclo Claude y se estudió la incorporación de uno o dos ciclos Rankine para incrementar el rendimiento. De acuerdo a los resultados obtenidos, el sistema con ciclo linde y dos Rankine obtiene el mejor rendimiento. En general, incorporar los ciclos Rankine incrementa el rendimiento global del sistema.

***Palabras clave**: Energía, almacenamiento criogénico, ciclo Linde, ciclo Claude*

Abstract
Large-scale energy storage plays a fundamental role in renewable energies, aiming for a more sustainable and resilient energy system. Energy storage enables a continuous and reliable supply of clean energy. However, there is a global challenge regarding the insufficient capacity of large-scale energy storage for renewable sources. In this study, the energy efficiency of cryogenic energy storage with Linde and Claude liquefaction cycles was analyzed. 5 configurations for the Linde cycle and 3 for the Claude cycle were analyzed and the incorporation of one or two Rankine cycles to increase performance was studied. According to the results obtained, the system with Linde cycle and two Rankine cycles obtained the best performance. In general, incorporating Rankine cycles increases the overall performance of the system.

***Key words**: Energy, cryogenic storage, Linde cycle, Claude cycle*

Introducción
La energía es un concepto fundamental en nuestra sociedad, ya que es la capacidad de realizar trabajo o generar movimiento; en el ámbito social, proporciona comodidad y mejora la calidad de vida de las personas. En la industria, es un factor clave para el desarrollo económico, la competitividad empresarial y el impulso de la innovación tecnológica. El estilo de vida mejorado, la demanda de energía aumentando y las economías industrializadas que contienen el 25% de la población mundial, consumen el 75% del suministro de energía mundial [1]. La creciente necesidad de energía a nivel mundial ha provocado un incremento de más del 5 % en las emisiones de CO_2 durante el año 2021, en este contexto actual, se está observando un impresionante avance en la implementación de sistemas de energía renovable, con el objetivo de contrarrestar el creciente problema ambiental global causado por las emisiones de CO_2 [2].

Cabe mencionar que cuando hablamos de las fuentes de energía, podemos clasificarla en dos categorías importantes, estas son las energías renovables y no renovables. Las energías no renovables, como el petróleo, el gas natural y el carbón, han sido fuentes tradicionales de energía ampliamente utilizadas. Estas energías ofrecen ventajas en términos de densidad energética y capacidad de almacenamiento, lo que las hace adecuadas para aplicaciones de alta demanda. Sin embargo, tienen limitaciones significativas, el uso de combustibles fósiles ha puesto en peligro de manera creciente la estabilidad mundial, ocasionando problemas como el cambio

ISSN: 2007 8102

climático global, los conflictos energéticos internacionales y la falta de fuentes de energía. En los últimos años, debido al crecimiento de las demandas tanto de consumo de energía como de regulaciones ambientales, la necesidad de sistemas energéticos en la sociedad humana ha experimentado un continuo incremento [3]. Para el año 2100, se estima que los requisitos mundiales de energía aumentarán en un factor de aproximadamente seis [4].

Las energías renovables son aquellas que provienen de una fuente inagotable [5]. Son fuentes de energía sostenibles y respetuosas con el medio ambiente y generan emisiones de carbono mínimas o nulas. Estas energías promueven la seguridad energética al diversificar las fuentes y reducir la dependencia de combustibles fósiles limitados, sin embargo, también presentan algunas limitaciones. La intermitencia de su generación es uno de los desafíos más destacados, ya que dependen de las condiciones climáticas y la disponibilidad de recursos naturales. Esto requiere soluciones de almacenamiento y gestión de la energía para garantizar un suministro constante. En consecuencia, con el fin de abordar estas fluctuaciones y asegurar un equilibrio adecuado entre la generación y la demanda de energía, se considera que los sistemas de almacenamiento de energía (ESS por sus siglas en inglés) son la opción más práctica y eficiente, ya que tienen un enorme potencial para mejorar la gestión de la energía y controlar el desperdicio energético. Los ESS son principalmente diseñados para capturar energía de diversas fuentes, transformarla y almacenarla según sea necesario para diversos fines [2]. Esto contribuye a mejorar la confiabilidad del suministro eléctrico y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, mitigando en consecuencia las emisiones de gases de efecto invernadero y respaldando la sostenibilidad ecológica.

Existen diversas tecnologías de almacenamiento, sin embargo, en este trabajo solo se hará énfasis en las aplicadas a gran escala. Dentro de esta categoría podemos encontrar el almacenamiento hidroeléctrico, el cual, se basa en la utilización de embalses de agua para almacenar energía potencial que se convierte en energía eléctrica mediante turbinas hidráulicas, por ejemplo, si una masa de 1 tonelada cae desde una altura de 100 metros, se generarán aproximadamente 0,272 kilovatios-hora (kWh) de energía [6]; aunque es una buena alternativa, su implementación está limitada por la disponibilidad de recursos hídricos y la necesidad de infraestructuras específicas, como embalses y centrales hidroeléctricas, lo que puede tener impactos ambientales y sociales significativos. El almacenamiento térmico es otra opción, la cual implica aprovechar la transición entre los estados líquido y sólido de un material a una temperatura constante (calor latente de fusión). Durante la etapa de carga, el material experimenta un cambio de estado de sólido a líquido, mientras que, durante la etapa de descarga, vuelve a transformarse en estado sólido [6]; no obstante, en la práctica, se suelen presentar desafíos debido a la limitada variación de densidad, la conductividad térmica, el subenfriamiento de los materiales de cambio de fase, la estabilidad de las propiedades durante ciclos prolongados y, en ocasiones, la segregación de fases [7]. Por otro lado, la tecnología de almacenamiento de energía mediante aire comprimido transforma la energía eléctrica en energía mecánica al utilizar electricidad para comprimir aire [8]; una de las limitaciones más significativas, es la eficiencia energética. Durante el proceso de compresión de aire, se genera calor como subproducto, lo que implica una pérdida de energía, ésta pérdida de energía térmica reduce la eficiencia general del sistema y limita la cantidad de energía recuperable durante la fase de expansión o descarga del aire comprimido. Otro de los métodos más comunes de almacenamiento de energía es el almacenamiento en baterías, éste enfoque se basa en la conversión y almacenamiento de energía eléctrica en una variedad de celdas electroquímicas, ofrecen una alta eficiencia en la conversión y almacenamiento de energía, pero en las baterías de flujo, se han detectado desequilibrios de capacidad debido a la difusión del electrolito (que contiene vanadio como componente activo) desde ambos lados de la membrana. Este fenómeno provoca una pérdida irreversible de capacidad y eficiencia en estas baterías [9], asimismo, las baterías tienen una vida útil limitada y con el tiempo necesitarán ser reemplazadas, lo que implica costos adicionales y consideraciones de manejo y reciclaje adecuados de los materiales utilizados en las baterías.

Otro enfoque innovador y prometedor es el almacenamiento criogénico, en éste se emplean fuentes renovables intermitentes o electricidad durante los períodos de menor demanda para llevar a cabo el proceso de licuefacción de aire, transformándolo en aire líquido. Luego, durante los períodos de alta demanda, se libera el aire líquido almacenado para generar electricidad, en un proceso conocido como recuperación de energía [10]. Esta técnica ofrece una alta densidad de energía, lo que significa que una pequeña cantidad de material criogénico puede almacenar una gran cantidad de energía. Además, este método ofrece una baja pérdida de energía durante el almacenamiento y la liberación, lo que lo hace altamente eficiente en comparación con otros sistemas de almacenamiento. El almacenamiento criogénico de energía es una alternativa en la lucha contra el cambio climático y la búsqueda de una matriz energética más sostenible. Al abordar la intermitencia de las fuentes renovables y reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles, esta tecnología desempeña un papel clave en la transición hacia un futuro energético más limpio y sostenible, al tiempo que garantiza un suministro de

 ISSN: 2007 8102

energía confiable para nuestras necesidades actuales y futuras, a menudo, el sol no brilla ni el viento sopla cuando más necesitamos electricidad. Con esta tecnología, podemos almacenar la energía en forma de frío y liberarla cuando sea necesario, proporcionando una fuente de energía confiable y estable en todo momento. En 2018, Highview Power Storage finalizó y puso en funcionamiento una planta de almacenamiento criogénico de energía precomercial en Manchester, Reino Unido, con una capacidad de 5 MW/15 MWh. Se informó que esta planta precomercial alcanzó una eficiencia de ida y vuelta de aproximadamente el 60% [10]. Como se mencionó anteriormente, al ser una tecnología que aun esta en desarrollo no se conocen detalles del proceso, por lo cual es necesario estudiarlo y conocer cuál es impacto en las variables del proceso y analizar si es posible realizar alguna propuesta de mejora y finalmente poder compararlo con otros sistemas ya en uso.
Este trabajo tiene como objetivo analizar el almacenamiento criogénico empleando dos variantes principales para la licuefacción del aire, el ciclo Linde y el ciclo Claude, cada una de las cuales tuvo modificaciones que permitieron aumentar el porcentaje de recuperación de energía. Dichas modificaciones incluyen el incremento del número de compresores y/o la inclusión de un sistema de recuperación de calor para su empleo en uno o más ciclos Rankine. Como variable de respuesta se evaluó el porcentaje de recuperación de energía mediante el almacenamiento criogénico, empleando herramientas de simulación de procesos.

Metodología

El almacenamiento criogénico de energía se divide en dos etapas, la primera etapa se refiere a la licuefacción del aire, en la cual se analizaron 2 ciclos de licuefacción, es decir, procesos criogénicos que transforman el aire gaseoso en líquido. En el ciclo de licuefacción Linde, el aire se comprime y enfría a alrededor de -108°C, el aire se expande adiabáticamente y se enfría aún más alcanzando una temperatura lo suficientemente baja como para licuarse, luego, se separa la fracción líquida del vapor y el vapor frío se utiliza para refrigerar el aire comprimido inicial, ver Figura1. El líquido resultante se almacena en tanques criogénicos para su uso posterior.

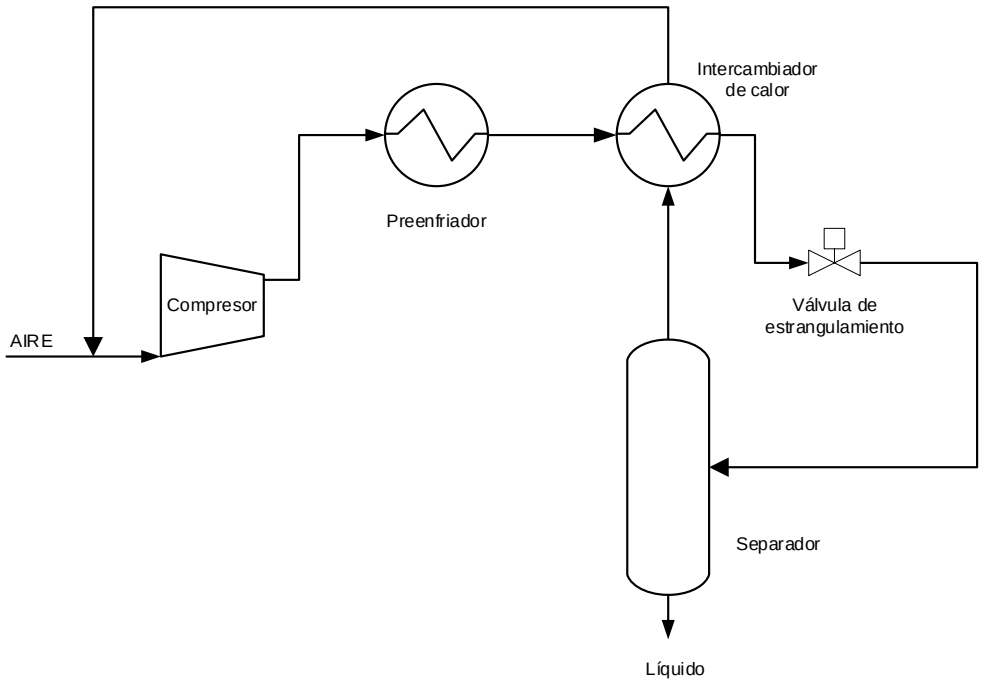


Figura 1. Diagrama conceptual del ciclo Linde.

El ciclo de licuefacción Claude, ver Figura 2, es similar al ciclo de Linde pero en este ciclo, el aire se comprime y se enfría mediante intercambiadores de calor, después, el flujo se separa y una parte se expande aproximadamente en un 15% dentro de una turbina, en la cual, se trabaja con una presión de descarga de 1 bar, la otra parte del aire, atraviesa un segundo intercambiador de calor, liberándose a una temperatura muy baja, después experimenta una expansión isoentrópica y se retira la fase líquida. El vapor se combina con el flujo proveniente de la turbina y se utiliza como refrigerante en el segundo regenerador, después en el primero, antes de reciclarse y mezclarse con el aire que entra en el ciclo.

 ISSN: 2007 8102

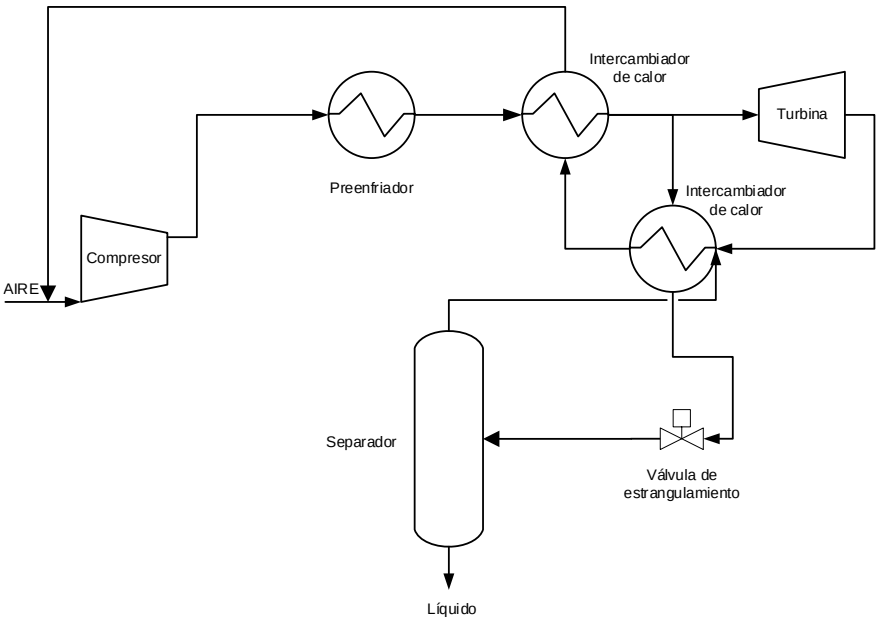


Figura 2. Diagrama conceptual del ciclo Claude.

La segunda etapa del proceso del almacenamiento criogénico de energía es la expansión isoentrópica, en la cual, el aire líquido almacenado a baja presión en los tanques es drenado y bombeado a alta presión, se recalienta y se expande, con el objetivo de recuperar mayor energía, se calienta la corriente antes de entrar a la turbina, ver Figura 3.

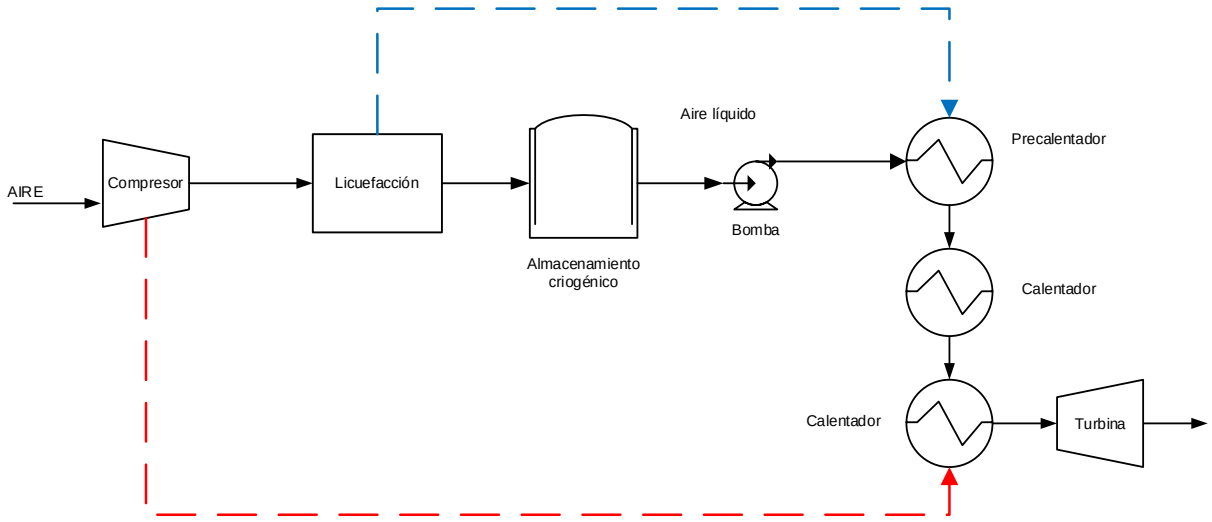


Figura 3. Diagrama conceptual del almacenamiento criogénico de energía.

Este trabajo se realizó empleando el software de simulación ASPEN PLUS V10, en total se desarrollaron ocho casos de estudio del proceso de almacenamiento criogénico de energía. Cinco de estos casos se hicieron empleando ciclos de licuefacción Linde, en las cuales se propuso el empleo de múltiples compresores con inter-enfriamiento para reducir el consumo de energía por la compresión del gas, se llevó a cabo un análisis de los escenarios base, a través del cual se identificaron aquellos que presentaban una mayor disipación de energía cuando se utilizaba una corriente de alta temperatura como fuente de energía para los ciclos Rankine, se adicionaron 1 o 2 ciclos Rankine, además, se hicieron tres simulaciones con ciclos de licuefacción Claude, con diferentes configuraciones de compresores, y se estudió el empleo de adicionar un ciclo Rankine al sistema. Para el desarrollo de las simulaciones se empleó el método Peng Robinson como modelo termodinámico siguiendo la

 ISSN: 2007 8102

guía de métodos termodinámicos recomendados en la sección de ayuda del software. Se consideró estado estable a lo largo de todas las simulaciones y se seleccionaron opciones default del simulador para los modelos.

Los compresores y turbinas empleado en todas las simulaciones consideran una eficiencia isoentrópica de 0.85, en el caso de las bombas se usó una eficiencia de 0.85. Por otro lado, para todos los enfriadores se considera que se utiliza agua de enfriamiento a 25 °C y proporciona enfriamiento hasta los 35 °C. La inclusión de los ciclos Rankine en este trabajo es debido a la energía térmica que es susceptible de ser recuperada de la corriente de gas comprimido la cual se convierte en la fuente de calor para el empleo de uno o dos ciclos Rankine.

Los parámetros clave de los casos de estudio analizados son: caso 1) Ciclo Linde base, explicado anteriormente, caso 2) Ciclo Linde con 2 compresores con interenfriamiento, en el cual se buscó aprovechar la energía que se disipa en forma de calor al salir del compresor en el ciclo de licuefacción, separando en 2 compresores con interenfriamiento entre ellos, en los cuales, se optimizó el valor de las presiones entre sí para obtener el máximo aprovechamiento, caso 3) Ciclo Linde con 3 compresores con interenfriamiento, de la misma forma, al salir con una temperatura de 1202 °C del compresor en el ciclo de licuefacción, se buscó analizar el comportamiento del aprovechamiento de energía al separarlo en varios compresores con interenfriamiento con el objetivo de determinar cuál de ellos recupera más dicha energía, caso 4) Ciclo Linde acoplado con un ciclo Rankine, este sirve para convertir energía térmica en trabajo mecánico, y posteriormente, en energía eléctrica, se propuso incorporarlo en el ciclo de licuefacción, entrando una corriente de agua a la bomba, en la cual, se determinó solo la cantidad de agua que pudiera ser calentada por el intercambiador de calor, caso 5) Ciclo Linde acoplado con 2 ciclos Rankine, asimismo, se añadió un primer ciclo Rankine, pero, a la salida de este, se agregó un intercambiador de calor para bombear agua y poder añadir otro ciclo Rankine, con el objetivo de recuperar la mayor energía posible, caso 6) Ciclo Claude base, mencionado previamente, caso 7) Ciclo Claude con 2 compresores con interenfriamiento, se llevó a cabo un enfoque orientado a aprovechar eficientemente la energía al salir del compresor durante el ciclo de licuefacción. Para lograr este objetivo, se implementó un diseño que incluía la utilización de dos compresores, con un proceso de interenfriamiento entre ambos. En este procedimiento, se puso un especial énfasis en optimizar cuidadosamente los valores de presión entre ambos compresores, con el propósito de alcanzar un rendimiento óptimo y máximo en la obtención de aprovechamiento de la energía y caso 8) Ciclo Claude acoplado a un ciclo Rankine, se presentó la idea de incluir este proceso dentro del ciclo de licuefacción mediante la introducción de una corriente de agua como fluido de trabajo del ciclo Rankine. En este contexto, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el simulador con respecto al caudal de agua, con el propósito de lograr la máxima recuperación de energía, teniendo en cuenta la temperatura mínima posible de salida para la fuente de calor que podría ser calentada a través del intercambiador de calor. Es importante destacar que esta estrategia fue concebida con el fin de garantizar una eficiencia máxima en la incorporación de este componente en el ciclo. La metodología empleada para determinar la eficiencia se describe en la ecuación 1.

$$\%Eficiencia\ energética = \left(\frac{Energía\ recuperada\ total\ (kW)}{Energía\ consumida\ total\ (kW)}\right) * 100 \qquad \text{Ec. 1}$$

La energía se consumió por las bombas y compresores, por lo tanto, la energía consumida total, es la suma de la energía que consumen estos equipos. La energía se recuperaba a través de las turbinas del proceso y los ciclos Rankine, siendo la energía recuperada total, la suma de las energías que entregaban todas las turbinas. En el proceso de simulación de los diferentes casos de estudio, se utilizaron diversos parámetros para los flujos y compresores, los cuales están detallados en la Tabla 1. Con el propósito de alcanzar la máxima eficiencia en cada uno de estos escenarios, se hizo uso de las herramientas de diseño proporcionadas por Aspen Plus, conocidas como "Desing specs", así como también se aplicó un análisis de sensibilidad. Este enfoque permitió explorar diferentes configuraciones y ajustes para optimizar al máximo el rendimiento en cada caso particular. A través de este procedimiento, se buscó alcanzar un nivel óptimo de aprovechamiento de los recursos, considerando todas las variables y factores relevantes involucrados en el proceso de licuefacción y asegurando resultados más precisos y confiables.

ISSN: 2007 8102

Tabla 1. Parámetros empleados en los casos de estudio.

Casos de estudio	Flujo molar de aire [Kmol/h]	Flujo molar de agua [Kmol/h]	Presión de compresores [bar]
Caso 1	0.18957	N.A.	200
Caso 2	0.18944	N.A.	13 y 200
Caso 3	0.18931	N.A.	6, 59 y 200
Caso 4	0.1897	1.1	200
Caso 5	0.1897	1.1 y 0.33	200
Caso 6	0.18769	N.A.	30
Caso 7	0.18769	N.A.	6 y 30
Caso 8	0.18769	0.422	30

Resultados y discusión

Con el uso de las simulaciones, se han obtenido los resultados de los casos estudiados. En la Tabla 2 se detallan los rendimientos obtenidos mediante diversas configuraciones propuestas, que varían en un rango desde el 2% hasta el 30%, ver Figura 4.

Tabla 2. Resultados de los casos de estudio.

Casos de estudio	Energía consumida [kW]	Cantidad de energía por cada kg de aire líquido [KJ/Kg]	Energía recuperada [kW]	Eficiencia del sistema [%]
Caso 1	28.28	18.61	1.72	6.09
Caso 2	18.02	11.87	0.79	4.42
Caso 3	15.80	10.41	0.46	2.97
Caso 4	28.29	18.62	7.43	26.26
Caso 5	28.30	18.62	8.68	30.68
Caso 6	8.87	5.89	1.67	18.87
Caso 7	7.094	4.71	1.32	18.69
Caso 8	8.87	5.90	2.53	28.61

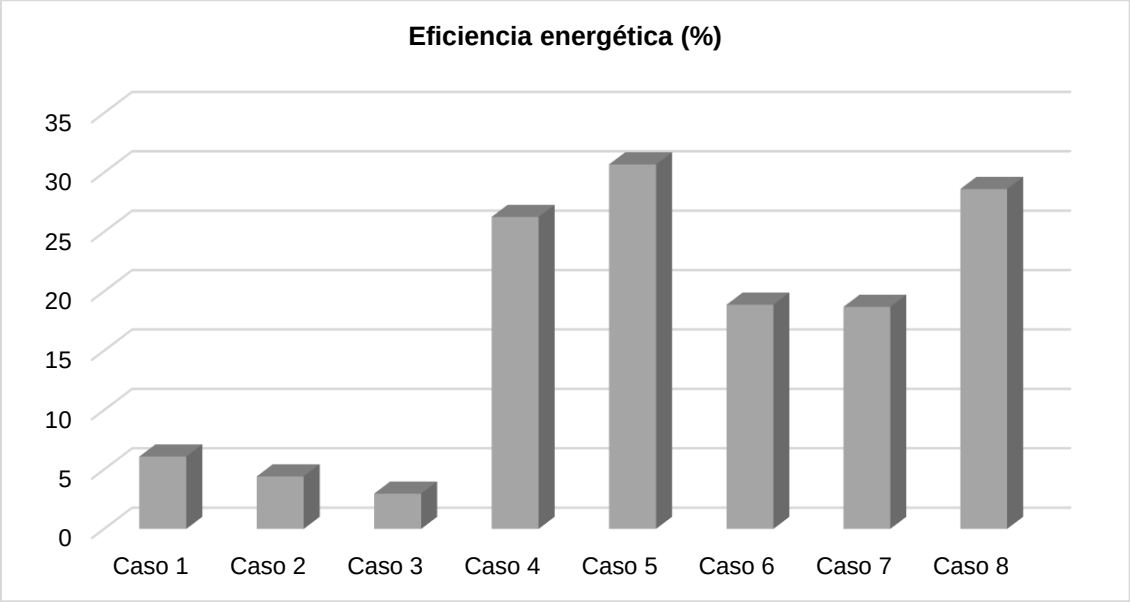


Figura 4. Rendimiento energético

 ISSN: 2007 8102

Los comportamientos observados para los casos bases, Linde y Claude, concuerdan con la información de la literatura, concluyendo que, entre estos dos casos, el proceso Claude obtiene un mayor rendimiento [11], un ciclo Claude tiene como ventaja que es capaz de alcanzar temperaturas extremadamente bajas con un consumo de energía relativamente bajo, sin embargo, los sistemas Claude pueden ser complejos y requieren un mantenimiento continuo para garantizar su operación eficiente. Por otra parte, aunque el ciclo Linde, generalmente es menos eficiente en términos de consumo de energía en comparación con el ciclo Claude, El ciclo Linde es más versátil y puede adaptarse mejor a una variedad de tamaños de plantas y aplicaciones específicas, teniendo como ventajas más áreas de oportunidad para mejorar. No obstante, al analizar las distintas configuraciones, se destaca que el ciclo Linde con 2 ciclos Rankine ofrece la mayor eficiencia. Esto se atribuye al hecho de que, al comprimir en un solo paso, se obtiene una corriente de alta temperatura que permite entregar energía térmica al calentador antes de la turbina, ver Figura 5. Como resultado, la turbina logra recuperar más energía. Incorporar un ciclo Rankine ofrece una significativa ventaja en términos de sostenibilidad, ya que, cuando se emplea en conjunto con fuentes de calor ecoamigables, como la energía solar, permite su funcionamiento con emisiones reducidas de gases de efecto invernadero y otras sustancias contaminantes, convirtiéndolo en una opción más amigable con el entorno en comparación con algunas alternativas tecnológicas.

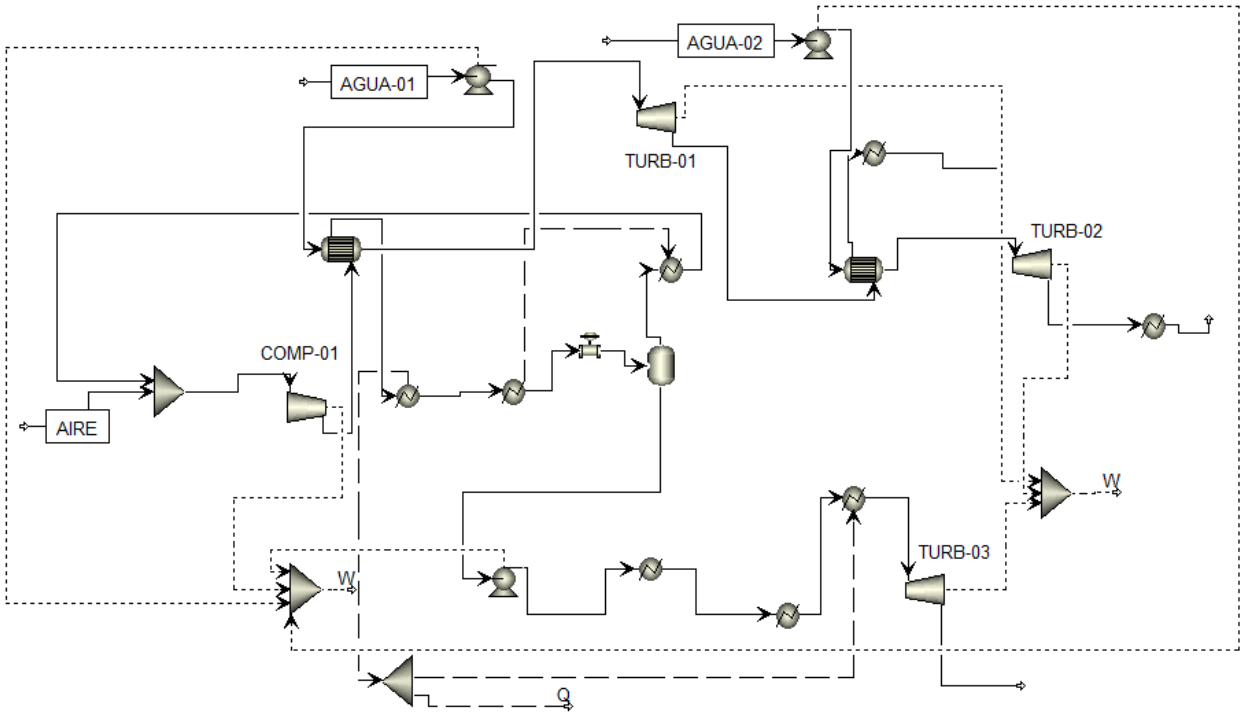


Figura 5. Flowsheet en Aspen Plus del caso 5, ciclo Linde acoplado a 2 ciclos Rankine.

En las diferentes configuraciones con ciclos Rankine presentadas en el contexto de este estudio, se evidencia una tendencia ligeramente divergente en sus rendimientos. En particular, en el caso 4, donde se implementa un solo ciclo Rankine acoplado con ciclo de licuefacción Linde, se observa una subutilización de la energía térmica disponible en el sistema. Específicamente, se destaca que la corriente de salida de la turbina en este ciclo Rankine presenta una elevada temperatura de 641°C, lo cual indica la existencia de una notable cantidad de energía térmica que no se aprovecha de manera efectiva. Esta subutilización de la energía térmica residual se traduce en un rendimiento inferior del sistema en comparación con otras configuraciones. Un solo ciclo Rnkine no es suficiente para aprovechar la energía térmica del sistema. El ciclo Claude se caracteriza por ser un enfoque más optimizado en términos de eficiencia energética en comparación con el ciclo Linde, ver Figura 6. No obstante, se observa que el ciclo Linde exhibe múltiples áreas donde la energía se desaprovecha, lo cual contrasta con el ciclo Claude, que presenta un mayor nivel de eficiencia en la utilización de la energía. A pesar de la ventaja en eficiencia del ciclo Claude, el ciclo Linde presenta la posibilidad de recuperar energía en determinados puntos del proceso, lo que resultó en un aumento del rendimiento general en el caso 5.

 ISSN: 2007 8102

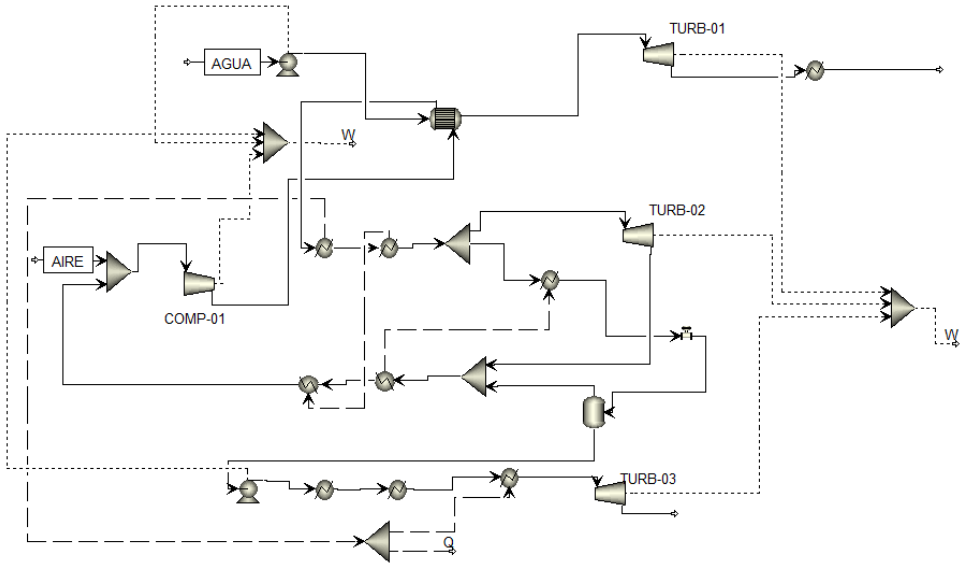


Figura 6. Flowsheet en Aspen Plus del caso 8, ciclo Claude acoplado a 1 ciclo Rankine.

En contraste, al dividir el proceso de compresión en varios pasos, como en los casos 2, 3 y 7, en los cuales se propusieron configuraciones con 2 y 3 compresores, ver Figuras 7 se obtienen corrientes a menor temperatura. Esto lleva a una menor capacidad de recuperar energía térmica, y también se presenta una pérdida de energía en los interenfriadores. Debido a esta pérdida de energía, la cantidad de energía térmica disponible no es suficiente para lograr una recuperación óptima de energía, resultando en una disminución del rendimiento, asimismo, con más componentes en el sistema, el mantenimiento se vuelve más complejo. Por esta razón, en este proceso, implementar múltiples pasos de compresión no representa una mejora efectiva para aumentar el rendimiento. La cantidad de energía por kg de aire líquido en este trabajo es inferior a los reportados en otros autores, Tugberk et al [12], reportan que la unidad de licuefacción consume 963,6 kJ trabajo para producir 1 kg de licuefacción, empleando un sistema de almacenamiento de energía criogénico impulsado por energía geotérmica. Asimismo, en el trabajo de Rodrigo et al [13], concluyen que el ciclo Claude presenta mayor eficiencia, sin embargo, los resultados obtenidos en este trabajo, corresponden al inicio de la investigación en este tipo de tecnología y un acercamiento a la misma, con el objetivo de combinarla con otras alternativas que incrementen el rendimiento global del sistema de almacenamiento.

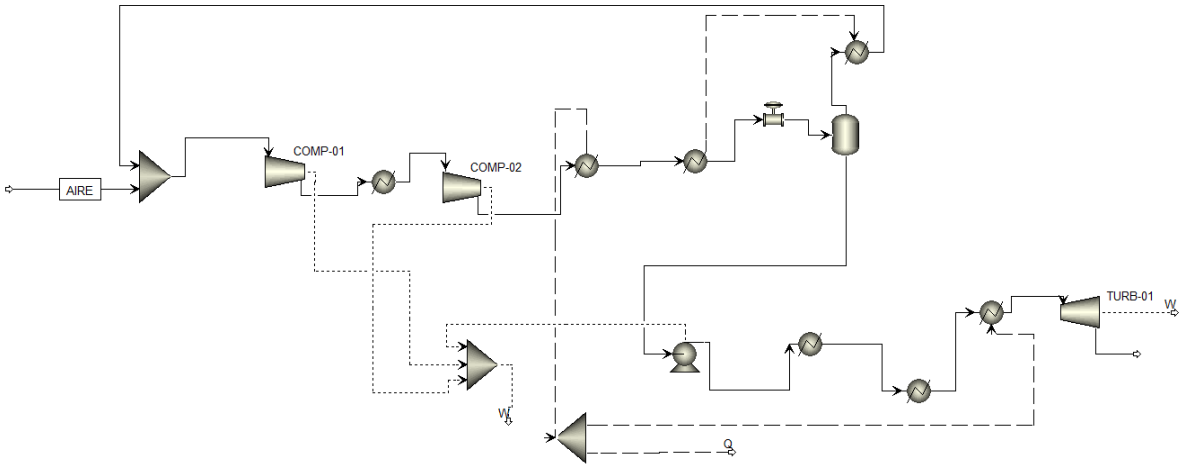


Figura 7. Flowsheet en Aspen Plus del caso 2, ciclo Linde con 2 compresores con interenfriamiento.

 ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

Como parte del trabajo a futuro se propone, investigar otros parámetros fundamentales dentro del proceso que puedan incidir directamente en la eficiencia y rendimiento del sistema. Estos parámetros podrían abarcar aspectos como la optimización de los ciclos termodinámicos, la implementación de tecnologías más eficientes en los dispositivos de compresión y expansión, la incorporación de técnicas de recuperación y reutilización de calor residual. Asimismo, establecer nuevos límites en la temperatura de operación de los compresores y turbinas, considerando nuevos materiales para que las turbinas soporten altas temperaturas, también se plantea posibilidad de combinar el almacenamiento criogénico con otros procesos de almacenamiento de energía en forma química y sustituir el aire por algún tipo de combustible, como el metano.

Conclusiones

Han sido llevadas a cabo un total de ocho simulaciones, teniendo como objetivo principal analizar el proceso de almacenamiento criogénico de energía y evaluar su rendimiento con las configuraciones propuestas, se ha constatado que el empleo de ciclos Rankine ha demostrado ser efectivo para mejorar el rendimiento del proceso. No obstante, resulta relevante mencionar que, al introducir múltiples compresores en el sistema, no se observó un aumento significativo en dicho rendimiento. Con base en los resultados obtenidos hasta el momento, se considera que existe un amplio espacio para la exploración y aplicación de nuevas estrategias y tecnologías que puedan impulsar la eficiencia del sistema.

Referencias

[1] I. Dincer, “Renewable energy and sustainable development: a crucial review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 4, no. 2, pp. 157–175, Jun. 2000, doi: 10.1016/S1364-0321(99)00011-8.

[2] J. Mitali, S. Dhinakaran, and A. A. Mohamad, “Energy storage systems: a review,” *Energy Storage and Saving*, vol. 1, no. 3, pp. 166–216, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.ENSS.2022.07.002.

[3] A. N. Abdalla *et al.*, “Integration of energy storage system and renewable energy sources based on artificial intelligence: An overview,” *J Energy Storage*, vol. 40, p. 102811, Aug. 2021, doi: 10.1016/J.EST.2021.102811.

[4] R. Kothari, V. V. Tyagi, and A. Pathak, “Waste-to-energy: A way from renewable energy sources to sustainable development,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 9, pp. 3164–3170, Dec. 2010, doi: 10.1016/J.RSER.2010.05.005.

[5] U. Shahzad, “The Need For Renewable Energy Sources,” International Journal of Information Technology and Electrical Engineering, 2015, Accessed: Jul. 03, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Umair-Shahzad/publication/316691176_The_Need_For_Renewable_Energy_Sources/links/590ca6bfaca2722d185bff3a/The-Need-For-Renewable-Energy-Sources.pdf

[6] H. Ibrahim, A. Ilinca, and J. Perron, “Energy storage systems—Characteristics and comparisons,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, no. 5, pp. 1221–1250, Jun. 2008, doi: 10.1016/J.RSER.2007.01.023.

[7] T. M. I. Mahlia, T. J. Saktisahdan, A. Jannifar, M. H. Hasan, and H. S. C. Matseelar, “A review of available methods and development on energy storage; technology update,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 33, pp. 532–545, May 2014, doi: 10.1016/J.RSER.2014.01.068.

[8] C. R. Matos, J. F. Carneiro, and P. P. Silva, “Overview of Large-Scale Underground Energy Storage Technologies for Integration of Renewable Energies and Criteria for Reservoir Identification,” *J Energy Storage*, vol. 21, pp. 241–258, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.EST.2018.11.023.

[9] A. Z. AL Shaqsi, K. Sopian, and A. Al-Hinai, “Review of energy storage services, applications, limitations, and benefits,” *Energy Reports*, vol. 6, pp. 288–306, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.EGYR.2020.07.028.

[10] X. Peng *et al.*, “Liquid air energy storage flexibly coupled with LNG regasification for improving air liquefaction,” *Appl Energy*, vol. 250, pp. 1190–1201, Sep. 2019, doi: 10.1016/J.APENERGY.2019.05.040.

[11] R. F. Abdo, H. T. C. Pedro, R. N. N. Koury, L. Machado, C. F. M. Coimbra, and M. P. Porto, “Performance evaluation of various cryogenic energy storage systems,” *Energy*, vol. 90, pp. 1024–1032, Oct. 2015, doi: 10.1016/J.ENERGY.2015.08.008.

ISSN: 2007 8102

[12] T. H. Cetin, M. Kanoglu, and N. Yanikomer, “Cryogenic energy storage powered by geothermal energy,” *Geothermics*, vol. 77, pp. 34–40, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.GEOTHERMICS.2018.08.005.
[13] R. F. Abdo, H. T. C. Pedro, R. N. N. Koury, L. Machado, C. F. M. Coimbra, and M. P. Porto, “Performance evaluation of various cryogenic energy storage systems,” *Energy*, vol. 90, pp. 1024–1032, Oct. 2015, doi: 10.1016/J.ENERGY.2015.08.008.

ISSN: 2007 8102

Estudio de la factibilidad de la implementación de un sistema híbrido para suministro eléctrico

Alejandro David Crespo López[1], Edgar Vicente Torres González[2],

Manuel Antonio Corona Sánchez[2], Raúl Lugo Leyte[3], Alejandro Torres Aldaco[3]

[1]Programa de Energía, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Plantel Del Valle, San Lorenzo 290, esquina Roberto Gayol, Del Valle Sur, Benito Juárez, Ciudad de México, 03100, México

[2]Programa de Energía, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Plantel San Lorenzo Tezonco, Prol. San Isidro No. 151, Col. San Lorenzo Tezonco, 09790, Iztapalapa, Ciudad de México, México

[3]Área a de Ingeniería en Recursos Energéticos, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma 1era Sección, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09310, Ciudad de México, México

Área de participación: *Ingeniería Química*

Resumen

Los sistemas híbridos prometen ser una alternativa viable para una mayor incorporación de energías alternativas en el sector energético, y al mismo tiempo ser una solución al problema de intermitencia que las caracteriza, por medio de la complementación con tecnologías de generación convencional, tales como las que utilizan combustibles fósiles, biocombustibles o sistemas de almacenamiento de energía. Por tal motivo, en el presente trabajo se busca proponer y abordar las ventajas que un sistema híbrido podría dar a una comunidad rural, en cualquier parte del mundo, aprovechando los recursos disponibles, y en donde no se cuenta con una electrificación plena de sus hogares, y en medio de la carrera por reducir las consecuencias del calentamiento global cada vez más visibles.

Palabras clave: *Sistema híbrido, pobreza energética, energías renovables, calentamiento global*

Abstract

Hybrid systems promise to be a viable alternative for a greater incorporation of alternatives energies in the energy sector, and at the same time to be a solution to the intermittency problem that characterizes them, through the mixture with generation technologies such as fossil fuels, biofuels or energy storage systems. For this reason, in the present work we seek to propose and address the benefits that such a system could give to a rural community in any part of the world, taking advantage of the available resources, and where there is no full electrification of their homes and in middle of the race to reduce the increasingly visible consequences of global warming.

Key words: *Hybrid system, energy poverty, renewable energy, global warming*

Introducción

La pobreza es un obstáculo importante para el desarrollo sostenible, no sólo de países en desarrollo sino también del mundo entero. La energía desempeña un papel importante para el desarrollo en términos de reducción de la pobreza, y el Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético (ESMAP) del Banco Mundial ha adoptado iniciativas sobre la pobreza desde el ámbito de la energía. El acceso inadecuado a la energía (especialmente a la electricidad) es un gran obstáculo al desarrollo social y económico de una sociedad. El efecto negativo de esto es mayoritariamente predominante entre las mujeres y los niños en los países en desarrollo [1,2].

ISSN: 2007 8102

El consumo de energía per cápita se define como el consumo de energía primaria por habitante, en 2020 a nivel mundial fue de 75.42 GJ/habitante, decreciendo en 4.69% en comparación al año previo. Esta disminución en el consumo, se debió al confinamiento por la prevención ante los contagios por el virus SARS-CoV-2. Por otro lado, la población mundial creció 1.13% entre 2019 y 2020, al pasar de 7,665.97 a 7,752.74 millones de habitantes. Hoy en día, 770 millones de personas en todo el mundo siguen viviendo sin acceso a la electricidad, principalmente en África y los países en desarrollo de Asia. La crisis de Covid-19 supuso un obstáculo y frenó el progreso sobre nuevas conexiones, al tiempo que debilitó la capacidad económica de los hogares para pagar la electricidad [3].

A pesar que en México más del 99% de la población se encuentra con acceso a servicios de electrificación no se cubren al 100% las necesidades básicas para vivir, tales como la iluminación, entretenimiento, calentamiento de agua, cocción de alimentos, refrigeración de alimentos y confort térmico en la vivienda. De esta manera, caen dentro de la definición de pobreza energética como la carencia de al menos uno de los servicios o bienes económicos que se consideran básicos para satisfacer las “necesidades humanas fundamentales” [4]. Entonces, el 36.7% de los hogares en el país carecen de al menos uno de los servicios o bienes económicos necesarios para cubrir estas necesidades [5].

Los sistemas de energía híbrida son aquellos que generan electricidad a partir de dos o más fuentes, generalmente de origen renovable, compartiendo un mismo punto de conexión. Un sistema híbrido puede contar o no con un sistema de almacenamiento [6, 7].

Los sistemas híbridos ofrecen una solución a la pobreza energética en México, ya que, al tener la disponibilidad de varias fuentes y una flexibilidad de conexión por fuente de generación, cuando una se encuentra inactiva reduce la imprevisibilidad inherente a las energías renovables, y mejora la estabilidad de la energía eléctrica suministrada, de tal manera que, así se garantiza el suministro de potencia en el punto de necesidad.

Para lograr el acceso pleno a una electrificación total de la población mundial en el 2030, se requerirá conectar a casi 100 millones de personas cada año en todo el mundo. Por tal motivo, en el presente trabajo se busca proponer un sistema híbrido para las comunidades más apartadas, con nula o poca electrificación de los hogares, y así poder cerrar la brecha de desigualdad y pobreza que existe a nivel mundial por escasez de este recurso, es decir, la electricidad en pleno siglo XXI es importante para todos los habitantes de la Tierra. Generar esta energía por medio de energías alternativas, como son la energía eólica y la energía solar, son recursos que en la mayor parte de las comunidades del mundo se tienen de manera gratuita y constante, pero que en casos cuando estos recursos no existan, se pueda proveer de energía eléctrica a cada comunidad con el uso de un generador diesel o biogás, y siendo importante el almacenamiento del combustible, para accionar el generador en caso de situaciones de poca disponibilidad de recursos renovables por varios días.

El objetivo de este trabajo es proponer un sistema híbrido que pueda ser escalable, de acuerdo a las necesidades que en cada población existan, y cubrir dichas necesidades por medio del aprovechamiento de fuentes renovables y de un generador diesel o biogás de respaldo.

Metodología

El sitio elegido para proponer la implementación de un sistema hibrido es la comunidad de Amador Hernández en el actual estado de Chiapas, como muestra la Figura 1, esta comunidad cuenta con una población de aproximadamente 1000 personas y con falta de electrificación en los hogares. Este poblado tiene una latitud de 16°32.3’ N y longitud 91°19.9’ W. Además, es el pueblo más poblado en la posición número 68 de todo el municipio. La comunidad de Amador Hernández está a 340 metros de altitud, y se encuentra a 91.4 kilómetros (en dirección Noreste) de la localidad de Ocosingo.

 ISSN: 2007 8102

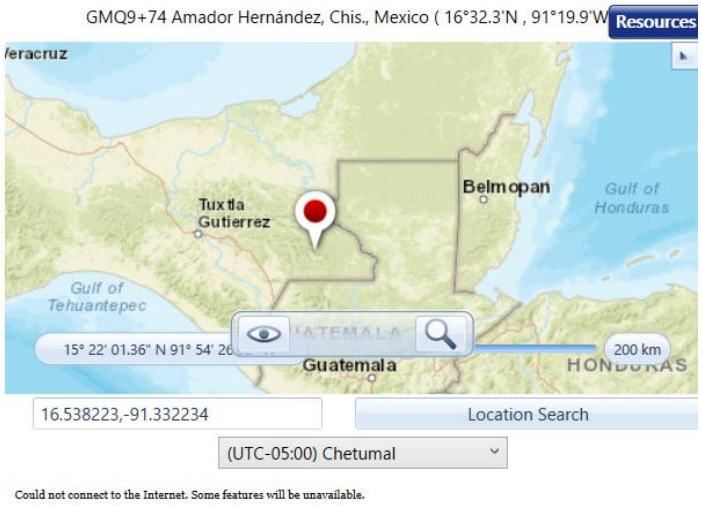


Figura 1. Localización del lugar de estudio.

De esta manera, se introducen las coordenadas de localización del poblado de Amador Hernández en el simulador *HomerPro,* el cual se utiliza en el presente trabajo para simular el comportamiento del sistema híbrido propuesto y obtener información requerida para el estudio de implementación. Con la ayuda de otro software, el *PVSyst,* se introducen las cargas de los electrodomésticos, que se han pensado importantes para los hogares de Amador Hernández, y a partir de información obtenida del *INEGI* sobre las costumbres, actividad económica, electrificación (como son iluminación de LED, lavadora, refrigerador, parrilla para cocinar, ventilador, televisión, radio, computadora y celular, así como un motor o bomba hidroneumática para el riego de las parcelas, las cuales son el sustento para la mayoría de familias que viven del autoconsumo de los productos que cultivan como maíz y frijol), etc. Una vez teniendo enlistadas las cargas, se introduce la potencia que consume cada una y las horas de operación al día, de tal forma que, que el software del *PVSyst* calcula el consumo diario de energía por equipo, así como el consumo total en kWh por día y por mes de toda la carga en cada hogar, como muestra la Figura 2.

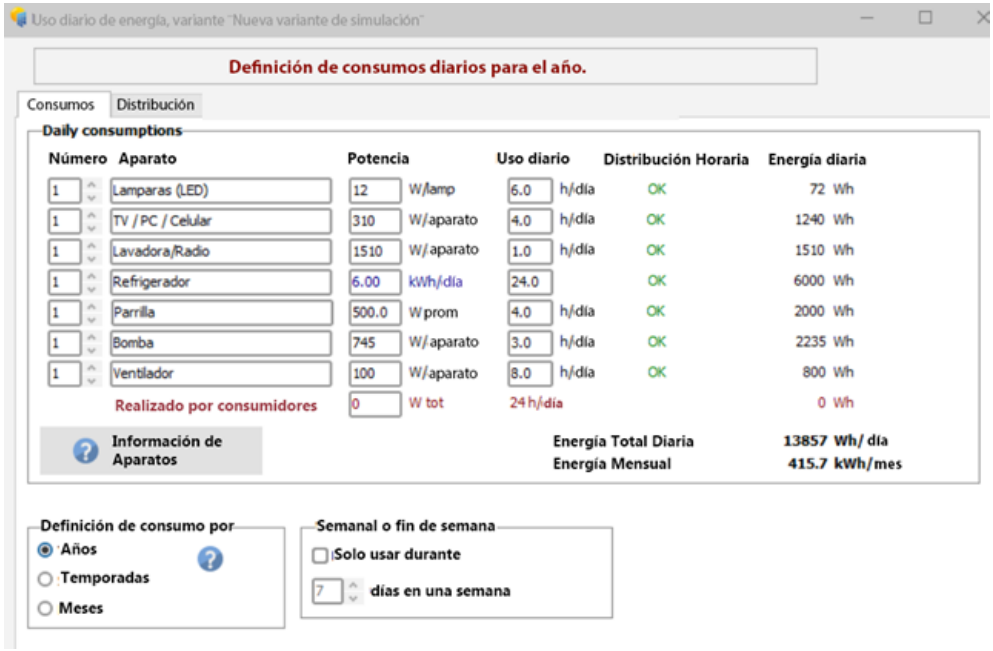


Figura 2. Consumo diario de energía por equipos en un hogar de Amador Hernández.

 ISSN: 2007 8102

La Figura 3 muestra los datos introducidos de la distribución de horas de las cargas en un círculo que representa un total de 24 horas, con dos círculos internos que cuentan con divisiones de celdas y cada celda representa una fracción a la mitad de hora; es decir, una media hora. La carga que más tiempo opera es la del refrigerador, que normalmente se encuentra encendido las 24 horas del día; seguido de las luces LED, tomando en cuenta el ritmo de vida que normalmente se lleva en las comunidades rurales (cuyos horarios para empezar su día es a partir de las 5 am), seguido de otras cargas menores, pero no despreciables como lavadora, radio, televisión, computadora y celular. Una vez habiendo introducido la distribución de horas el mismo software, se genera una gráfica con la distribución de horas de mayor y menor consumo, para poder identificar las horas de los picos de mayor consumo de energía en la población de Amador Hernández. Con la distribución de horas y los cálculos de consumo por horas, para un total de aproximadamente 250 hogares, se introducen dichos consumos en *HomerPro* para el primer mes y el resto de meses del año, de acuerdo a las horas del día, siendo las 10:00 y 21:00 las horas de mayor consumo de energía.

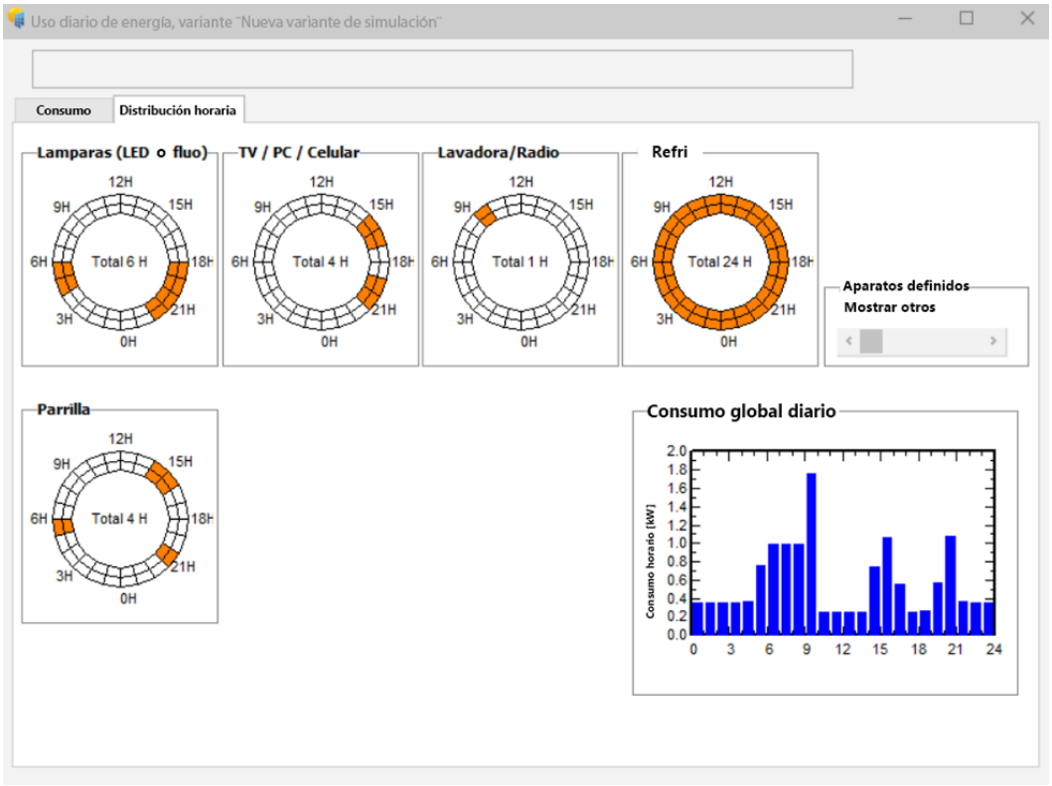
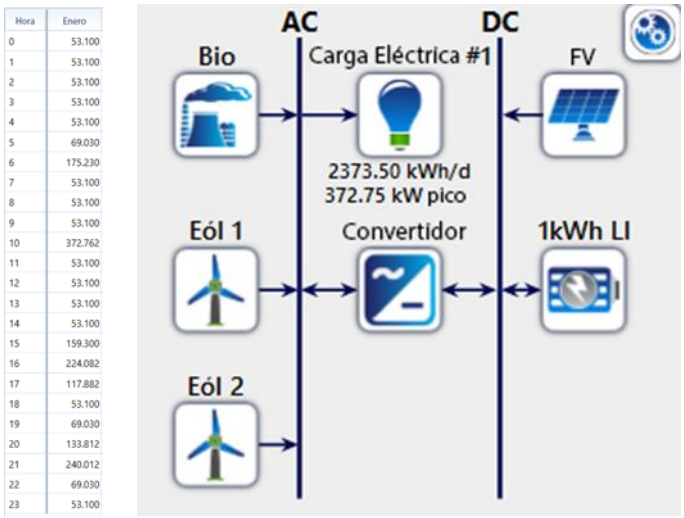


Figura 3. Distribución horaria de consumo diario de energía por equipos en un hogar de Amador Hernández.

Se diseña el sistema a partir de la demanda pico que tiene la población, la cual es de 372 kW pico y con un consumo de 2373 kWh/día, como muestra la Figura 4, especificados para el lado de DC, una capacidad instalada de 200 kW con módulos fotovoltaicos, y del lado de AC, dos aerogeneradores de 100 kW cada uno, de tal manera que, se tenga una capacidad instalada mayor que la demanda pico actual y que con los años irá aumentando de manera proporcional al incremento de la población. Además, se tiene conectado del lado de DC, un banco de baterías calculado por el simulador de 1778 kW, mientras que, del lado de AC, un generador a Biogás de 50 kW de respaldo, el cual funcionaría como generador eléctrico en caso de emergencia, sino se tuvieran las condiciones necesarias para la aportación de energía alternativa (energías fotovoltaica y eólica).

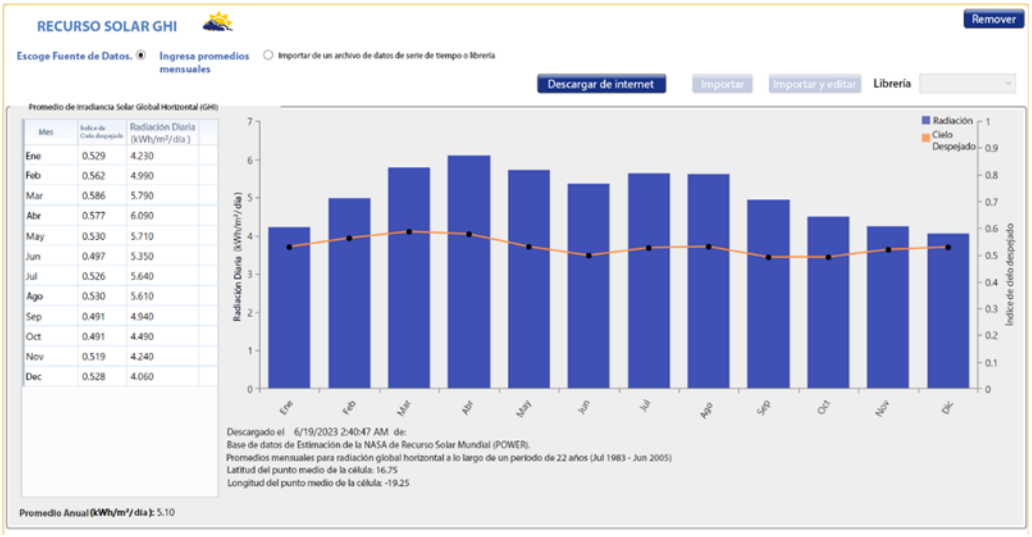
 ISSN: 2007 8102



Hora	Enero
0	53.100
1	53.100
2	53.100
3	53.100
4	53.100
5	69.030
6	175.230
7	53.100
8	53.100
9	53.100
10	372.762
11	53.100
12	53.100
13	53.100
14	53.100
15	159.300
16	224.082
17	117.882
18	53.100
19	69.030
20	133.812
21	240.012
22	69.030
23	53.100

Figura 4. Distribución horaria de la demanda en kW del total de hogares y esquema del sistema híbrido en Amador Hernández.

Con *HomerPro* también se obtiene el recurso solar disponible en la zona de interés, como muestra la Figura 5, donde se observa que este fluctúa durante el año con un pico de radiación en el mes de abril que alcanza los 6.090 kWh/m^2; seguido del mes de marzo con 5.790 kWh/m^2; y en tercer lugar mayo con 5.710 kWh/m^2. Por otra parte, los meses de menor disponibilidad de recurso son enero y noviembre, con 4.230 kWh/m^2 y 4.240 kWh/m^2 respectivamente. Con un promedio anual de 5.1 kWh/m^2, la población cuenta con un índice adecuado para el buen aprovechamiento de este recurso a comparación de la media anual del país que se encuentra en 5.5 kWh/m^2 [7].



Mes	Índice de Cielo despejado	Radiación Diaria (kWh/m²/día)
Ene	0.529	4.230
Feb	0.562	4.990
Mar	0.586	5.790
Abr	0.577	6.090
May	0.530	5.710
Jun	0.497	5.350
Jul	0.526	5.640
Ago	0.530	5.610
Sep	0.491	4.940
Oct	0.491	4.490
Nov	0.519	4.240
Dec	0.528	4.060

Figura 5. Gráfica de la radiación solar promedio mensual en el sitio.

Incluso el recurso eólico también se obtiene de la zona en donde se observa que también fluctúa durante el año con un pico de radiación en el mes de marzo con 2.770 m/s seguido del mes de marzo con 2.770 m/s y en tercer lugar abril con 2.680 m/s, como muestra la Figura 6. Por otra parte, los meses de menor disponibilidad de recurso son agosto y septiembre con 2.220 m/s y 2.030 m/s, respectivamente. Con un promedio anual de 2.41 m/s, la población cuenta con un índice muy pobre para el buen aprovechamiento de este recurso.

 ISSN: 2007 8102

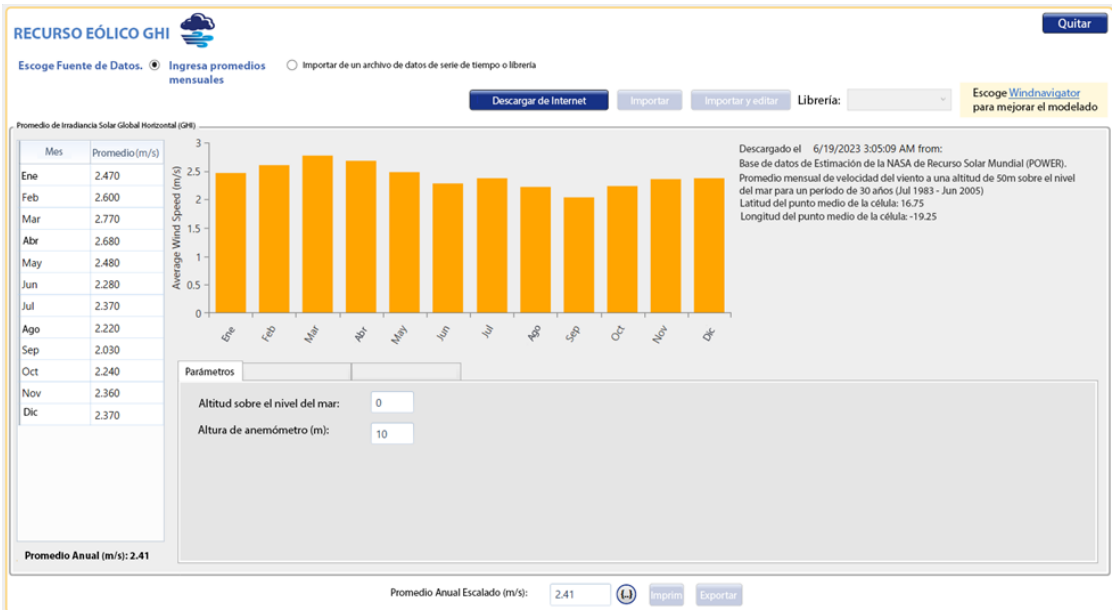


Figura 6. Gráfica de recurso eólico promedio mensual disponible en el sitio.

Resultados

De manera que, de la gama de posibilidades planteadas por *HomerPro* y teniendo activados los controladores de seguimiento de la carga conectada y de carga de ciclos del banco de batería, se eligió el que resolvía de mejor manera las necesidades de la comunidad y *HomerPro* muestra una gráfica de le generación durante todo el año en donde se tiene una mayor parte de la generación renovable por medio del generador con Biogás (59.5%), de la instalación fotovoltaica (35.2%), y por último en menor proporción de las dos turbinas eólicas (5.32%), como muestra la Figura 7.

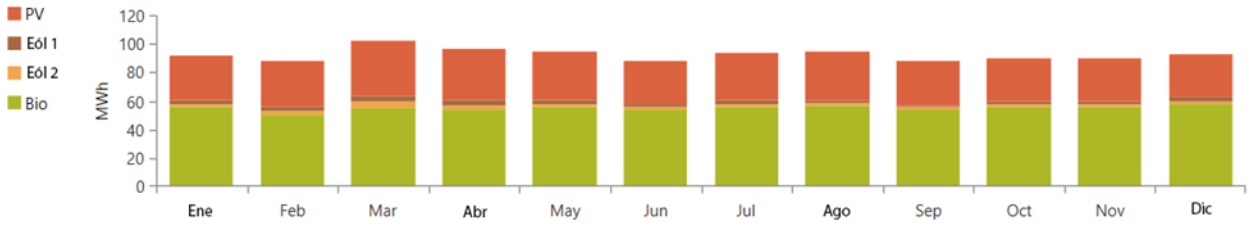


Figura 7. Distribución de la generación eléctrica del sistema híbrido por fuente.

Los generadores eólicos funcionarían en pequeña proporción, ya que no se cuenta con un gran potencial eólico en la zona (3 m/s), por lo que estos operarían de manera intermitente durante el año teniendo poca aportación al sistema durante el año. De la misma manera, el generador a biogás resuelve el problema de intermitencia en la generación por parte del sistema fotovoltaico a lo largo del año y el banco de baterías por medio del almacenamiento de la energía resolvería el desabasto de energía por varios días antes de activar el generador a biogás; de esta manera, el sistema híbrido en Amador Hernández tendría una mayor eficiencia, continuidad, seguridad y sustentabilidad.

Teniendo los picos en la demanda eléctrica diaria entre las 10:00 y 11:00 de cerca de 370 kW y otras demandas menores entre las 16:00 y 17:00 y entre las 21:00 y 22:00 con 250 kW aproximadamente, y suponiendo que los fines de semana sea la misma carga ya que por lo general la vida en el campo es el de trabajo duro y diario para mantener las cosechas es por eso que la curva de demanda anual se mantiene

 ISSN: 2007 8102

constante siendo las horas de mayor demanda las mencionadas anteriormente y representadas con franjas en escalas de diferentes colores, como muestra la Figura 8.

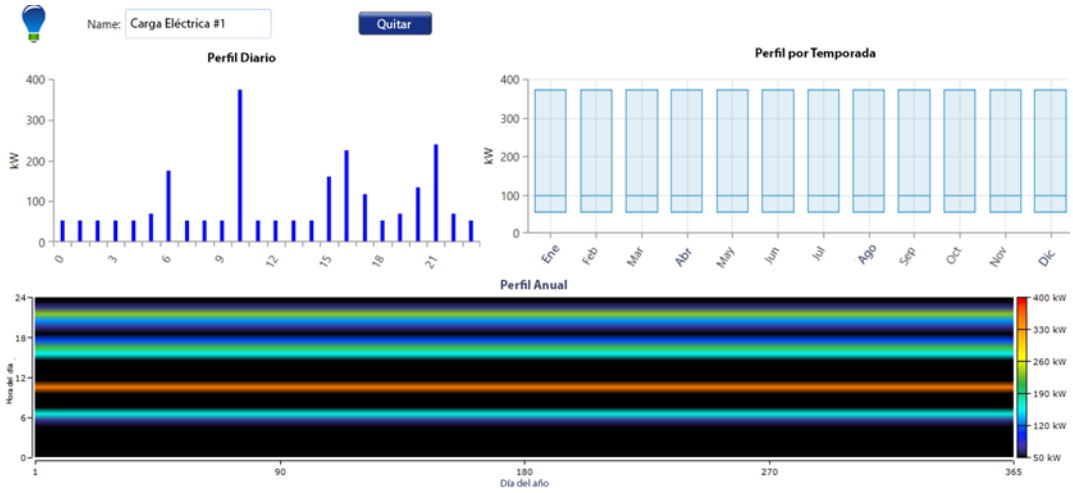


Figura 8. Perfil de la demanda horaria y anual en Amador Hernández.

Trabajo a futuro

Utilizando esta metodología de estudio se estudiara la factibilidad de la implementación de estos sistemas a otras zonas geográficas del país con diferentes condiciones climáticas.

Conclusiones

Los sistemas híbridos como el planteado en el presente trabajo por medio de un software como *HomerPro* prometen ser una solución viable ante un problema de continuidad o de alcance en el suministro eléctrico para las comunidades rurales más alejadas de los centros urbanos. Es por eso que, por medio de la incorporación de sistemas fotovoltaicos, eólicos, almacenamiento y con un generador biodiesel en un sistema híbrido podría garantizar una mayor cobertura, continuidad y sustentabilidad a la comunidad, para el presente trabajo la comunidad de Amador Hernández, sin importar que tan lejos se encuentre esta de algún centro urbano o de problemas de intermitencia debido a las energías renovables disponibles en el lugar, satisfaciendo todas las necesidades eléctricas para las personas y siendo una alternativa más amigable con el medio ambiente en un esfuerzo por reducir los efectos del Cambio Climático.

Referencias

[1] Olubayo Moses Babatunde, ”Analysis of an optimal hybrid power system for an off-grid community in Nigeria”, *International Journal of Energy Sector Management*, Vol. 14, No. 2, pp. 335–357, 2019.

[2] E. E. Osei Opoku, N. Kwabena Kufuor y S. Adasi Manu, “Gender, electricity access, renewable energy consumption and energy efficiency”, Technological Forecasting and Social Change, Volume 173, 2021.

[3] International Energy Agency, World Energy Outlook, pp.175-180, 2021.

[4] Ochoa Rigoberto García y Boris Graizbord,” Caracterización espacial de la pobreza energética en México”, *Un análisis a escala subnacional. Economía, Sociedad y Territorio*, Vol. 16, No. 51, pp. 289-337, 2019.

[5] V. Magar, M. S. Gross, y L. González García, “Offshore wind energy resource assessment under techno-economic and social-ecological constrains”, *Ocean and Coastal Management*, Vol. 152, pp. 77-87, 2018.

ISSN: 2007 8102

[6] Q. Hernández-Escobedo, R. Saldaña Flores, E. R. Rodríguez García y F. Manzano Agugliaro, “Wind energy resource in Northern Mexico”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 14, pp. 2830-2840, 2014.

[7] Y. Cancino Solorzano, A. J. Gutiérrez Trashorras y J. Xiberta-Bernat, “Current state of wind energy in Mexico, achievements and perspectives”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 15, pp. 3352-3557, 2011.

[8] Sing, Nanda, “Radiografía de la energía solar de México: los Estados con mayor potencial y parques fotovoltaicos en operación comercial”, *Energía Estratégica*, 2019.

[9] M. Kanagawa, N. Toshihiko, “Analysis of the energy access improvement and its socio-economic impacts in rural areas of developing countries”, *Ecological Economics,* Vol. 62(2), pp. 319-329, 2007.

[10] D. Pérez, E. F. Fernández Luqueño, D. Vilariño Ayala, L. M. Montaño Zetina, L. A. Maldonado López, “Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* No. 78, pp. 597-613, 2017.

[11] M. A. Elhadidy, “Performance evaluation of hybrid (wind/solar/diesel) power systems”, *Renewable Energy,* Vol. 26(3), pp. 401-413, 2002.

ISSN: 2007 8102

Cultivo de microalga *Chlorella vulgaris* en fotobiorreactor tipo raceway modificado

L. Poot Tamer[1], E. Hernández-Aguilar[1], C. A. Ortiz Sánchez[1], R. I. Castro Salas[1], N. Gutiérrez-Casiano[1]*

[1]Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Oriente 6 1009, Rafael Alvarado, C.P. 94340, Orizaba, Ver., México

*nagutierrez@uv.mx

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

Las microalgas son microorganismos fotosintéticos los cuales requieren de luz como fuente principal de energía y CO_2 del aire, han tomado importancia como materia prima para diversos productos. El cultivo se puede realizar en fotobiorreactores cerrados o en estanques abiertos. Se realizó la evaluación de las condiciones de luz para el cultivo en un fotobiorreactor abierto tipo Raceway modificado a nivel laboratorio en medio sintético Bold Basal enriquecido con fertilizante inorgánico. La evaluación del crecimiento se realizó mediante un diseño unifactorial para establecer los niveles de intensidad de luz (9200 y 13800 lux), con monitoreo de pH y temperatura, además se evaluó la producción de pigmentos los cuales están relacionados directamente con el proceso fotosintético, se encontró que la *Chlorella vulgaris* tiene un mayor crecimiento en el reactor modificado tipo Raceway cuando se utilizan 13800 lux.

***Palabras clave**:* Cultivo, Cinética de crecimiento, *Chlorella vulgaris*, fotobiorreactor raceway.

Abstract

Microalgae are photosynthetic microorganisms, which require light as the main source of energy and CO_2 from the air; they have become important as raw material for various products. Cultivation can be carried out in closed photobioreactors or in open ponds. The evaluation of light conditions for cultivation in a laboratory-modified Raceway-type open photobioreactor in Bold Basal synthetic medium enriched with inorganic fertilizer was performed. The growth evaluation was carried out through a unifactorial design to establish the light intensity levels (9200 and 13800 lux), with pH and temperature monitoring, in addition the production of pigments which are directly related to the photosynthetic process was evaluated. Found that Chlorella vulgaris has a higher growth in the modified Raceway type reactor when 13800 lux is used.

***Key words**: Culture, Growth kinetics, Chlorella vulgaris, raceway photobioreactor)*

Introducción

En la actualidad, los mayores dilemas de la sociedad a nivel global se basan en buscar nuevos, creativos e innovadores métodos de producción basados en energías renovables evitando utilizar combustibles fósiles, disminuir la emisión de gases causantes del efecto invernadero ya que estos retienen y aumentan el calor en la atmosfera del planeta y asegurar el acceso a agua de calidad, sin impurezas ni contaminantes. Estos aspectos se relacionan directamente con los problemas de contaminación mundial y fueron principio generador de leyes que abordan estos perjudiciales temas de salud, medio ambiente y economía [1].

La especie *Chlorella vulgaris* es una microalga muy particular, es popular por su habilidad de unirse a toxinas como el mercurio y eliminarlas del organismo. Son utilizadas en la industria alimentaria por su capacidad de proveer eficientemente proteínas y vitaminas del grupo B. Ha tomado relevancia en la producción de biocombustibles, además han demostrado que en un tratamiento combinado pueden realizar el tratamiento de aguas residuales, por lo que establecer condiciones de cultivo en sistemas abiertos que permitan el escalamiento a nivel industrial es importante.

Se puede hallar gran variedad en los diseños de reactores de cultivo según las características de las microalgas que se quieran reproducir. Para obtener biomasa de alta calidad y menos contaminantes, se usan fotobiorreactores cerrados, mientras que, si el resultado que se desea son altos niveles de producción se emplean fotobiorreactores abiertos, que son los más utilizados globalmente [2]. Los fotobiorreactores Raceway es uno de los reactores o estanques más utilizados para el cultivo de microalgas debido a su eficiencia [3]. Estos son rentables y energéticamente eficientes debido al bajo costo de construcción, además son fáciles de controlar la profundidad del cultivo y el movimiento del líquido. Sin embargo, su desempeño está limitado a la adaptabilidad de las cepas de microalgas, al alto riesgo de contaminación, al control deficiente de la temperatura y la baja densidad de biomasa. No muchos microorganismos pueden sobrevivir en condiciones extremas; por lo tanto, la contaminación se puede evitar cultivando algunas cepas de microalgas altamente resistentes a un pH alto, ha sido probadas para *Chlorella sp, Spirulina sp* y *Dunaliella sp* [4], sin embargo, no se ha probado la *Chlorella vulgaris*.

El fotobiorreactor Raceway se divide en tres partes como se muestra en la Figura : un foso para inyectar gases, un canal en forma de U para que las microalgas reciban la luz solar y realicen la fotosíntesis, y palas para mover el cultivo a lo largo del canal. Este diseño de fotobiorreactor es ampliamente usado en todo el mundo, con más del 90% de la producción total utilizando esta tecnología [5].

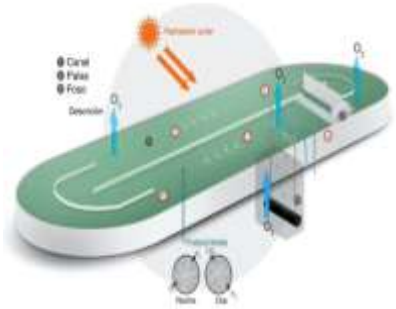


Figura 1. Fotobiorreactor tipo Raceway [5].

Metodología

Diseño de fotobiorreactor tipo Raceway modificado

Se realizó el diseño del fotobiorreactor modificado Raceway tiene una forma rectangular con una altura de 22 cm, un largo de 40 cm, 21 cm de ancho y un grosor de 0.3 cm, con una capacidad total de 18.48 L en la Figura 2 se puede observar el diseño del fotobiorreactor en el que la principal diferencia es que normalmente este tipo de fotobiorreactores tienen extremos curvos, sin embargo, se modifico el diseño a forma rectangular que reduce costos de construcción.

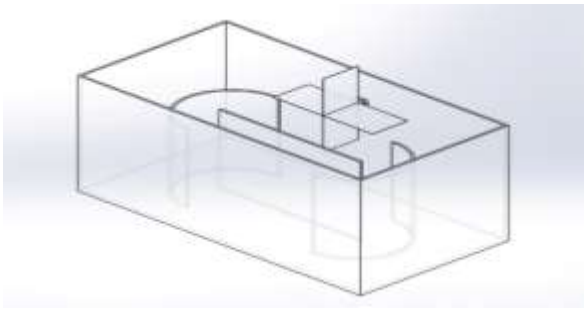


Figura 2.- Diseño del fotobiorreactor modificado tipo Raceway

En el interior del fotobiorreactor sobre la base de este, se dispusieron 3 divisiones tal como se muestra en la Figura 3: La primera pieza es de forma rectangular de 15 cm de alto y 20 cm de ancho posicionada al centro de la base y con 2 semicírculos de 15 cm de altura, 12 cm de diámetro y un ancho de 8 cm, estos ubicados a los laterales de la base rectangular del fotobiorreactor, respetando el diseño clásico de un fotobiorreactor tipo Raceway.

 ISSN: 2007 8102

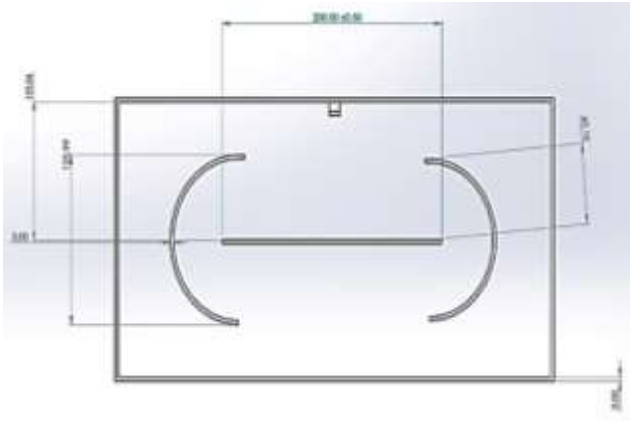


Figura 3. Vista superior de fotobiorreactor modificado tipo Raceway

Finalmente, se diseñó el sistema de agitación el cual consiste en una hélice de 4 palas (Figura 4) este sistema permite la impulsión del cultivo en suspensión, así como el mezclado permitiendo de esta manera suministrar el CO_2 en el medio de cultivo de la microalga *Chlorella vulgaris*, la hélice es impulsada por un motor de 12V.

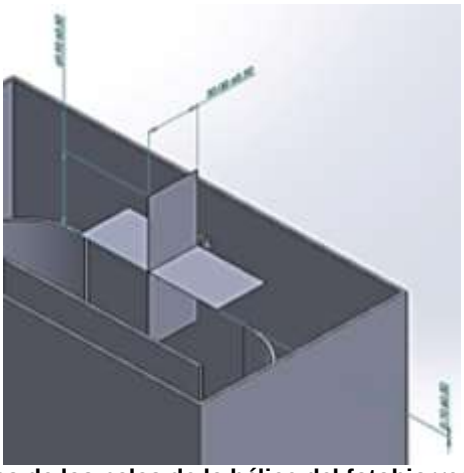


Figura 4. Especificaciones de las palas de la hélice del fotobiorreactor modificado Raceway

Cultivo de la microalga *Chlorella vulgaris* en medio Bold Basal enriquecido

Se preparó el medio de cultivo Bold Basal (BBM) previamente esterilizado, utilizando un volumen de 6 L de medio de cultivo con una concentración celular de 208,933.495 cel/mL, utilizando 1 mL de vitamina B1 y 7 mL de fertilizante inorgánico foliar/líquido. Las condiciones de cultivo se muestran en la Tabla 1.
Una vez terminado el cultivo y la inoculación de la microalgas *Chlorella vulgaris* se realizaron lecturas cada 24 horas por un periodo de 16 días que duró la cinética de crecimiento, además se monitoreo el pH, temperatura y pigmentos.

Tabla 1. Condiciones del fotobiorreactor para las cinéticas de crecimiento

Condiciones	Descripción
Reactor	Fotobiorreactor raceway's de 18.48 L
Volumen	Volumen de trabajo 6.6. L
Cantidad de luz	9 200 y 13 800 lux

 ISSN: 2007 8102

Medición de pH y temperatura

Para obtener los valores de pH se empleó la norma mexicana NMX-AA-008-SFCI-2016 que establece los parámetros de medición de pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. De la misma manera, diariamente se tomó la medición de la temperatura con la finalidad de controlarla ya que esta debe permanecer a 28 °C (±3 °C) para un crecimiento optimo y adecuado [6].

Recuento celular en cámara de Neubauer

Se tomó 0.5 µL como muestra original con una micropipeta de 10 µL, se disolvió con agua destilada en proporción 1:10, posteriormente la muestra se colocó sobre la cámara de Neubauer, una vez sedimentada la muestra, se realizó el conteo celular de acuerdo a la técnica de Gallego-Albiach y Pérez-Igualada [7].

Se calculó la densidad celular de la muestra extraída utilizando la siguiente ecuación, donde CC es el número de células contadas, SC es la superficie de conteo en mm^2, P es la profundidad en mm y D es la dilución.

$$DC = \frac{CC}{(SC)(P)(D)}$$

Determinación de pigmentos

Se realizó la extracción de pigmentos con una solución de acetona al 90%. Partiendo de biomasa fresca recogida por centrifugación de 2 mL de cultivo de microalgas, Chamipon S-50D, después se agregaron 3 mL de solución de acetona al 90%. La extracción de pigmentos se realizó en total oscuridad tapados herméticamente y colocados en un congelador 20 h a 4 ºC, pasado el tiempo se agitaron los tubos en vortex durante 30 s y posterior sonicación en una sonda ultrasónica SONICS durante 1 min, con pulsos de 50 y 10 s, a una amplitud del 100%.

Los extractos fueron clarificados por centrifugación a 5000 rpm durante 10 minutos antes de hacer el análisis espectrofotométrico y colocados en celdas para espectrofotómetro, las mediciones se realizaron en un espectrofotómetro marca Thermo scientific Genesys 20 [8]. Para finalizar, se efectuaron las mediciones espectrofotométricas de clorofilas a, b y clorofilas totales, a una longitud de onda de 480, 630, 647 y 664 nm. Las concentraciones de pigmentos se determinaron mediante las siguientes ecuaciones y por sumatoria la concentración de clorofilas totales, donde A es la absorbancia y el subíndice indica la longitud de onda en nm.

$$\text{Clorofila a} = 11.93\, A_{664} - 1.93\, A_{647}$$
$$\text{Clorofila b} = 20.36 A_{647} - 5.50 A_{664}$$

Resultados y discusión

Comportamiento del pH y temperatura

En la Figura 5 se presenta la conducta del pH en los experimentos cambió de neutro a alcalino a medida que el cultivo maduraba; el pH partió de 7 ± 0.3 y subió a partir del segundo día, lo cual se debe a que la población de microalgas aumentó celularmente. Es importante notar que, a lo largo de los experimentos, el pH se mantuvo dentro del rango que la microalga *Chlorella vulgaris* puede tolerar (7 a 9).

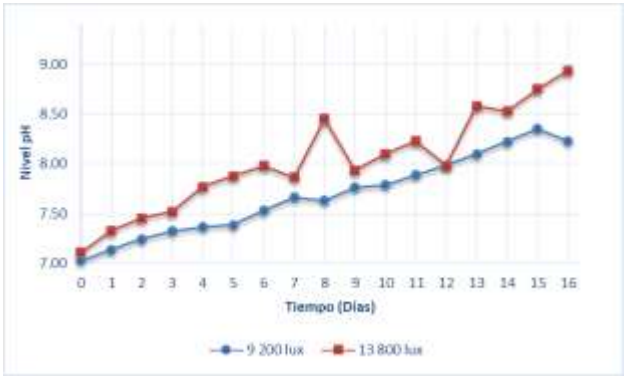


Figura 5. Comportamiento de pH con diferentes condiciones de luz

 ISSN: 2007 8102

En la Figura 6 se muestra el comportamiento de la temperatura de los dos experimentos realizados, la temperatura se mantuvo en un rango de 22 y 30 °C. El rango operativo del fotobiorreactor es crítico, según la literatura, el crecimiento celular disminuye a temperaturas inferiores a 16 °C y se vuelve letal para la gran mayoría de las especies de microalgas a temperaturas superiores a 35 °C

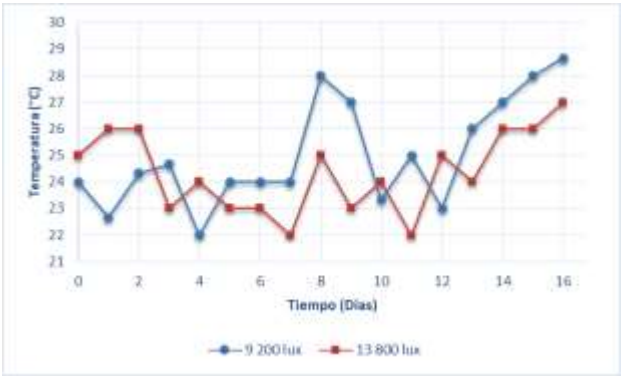


Figura 6. Comportamiento de la temperatura con diferentes condiciones de luz

Crecimiento celular

El análisis de varianza indicó que el nivel de iluminación (medido en lux) tiene un impacto significativo en la capacidad de las microalgas para desarrollar nuevas células (p= 0.002 menor que 0.05), por lo que se puede afirmar que el nivel de luz si afecta la reproducción de la microalga *Chlorella vulgaris*. En la Figura 7 se observa que la microalga *Chlorella vulgaris* puede desarrollarse y crecer en un fotobiorreactor modificado Raceway, también se observa que el crecimiento aumenta cuando la intensidad de luz es mayor.

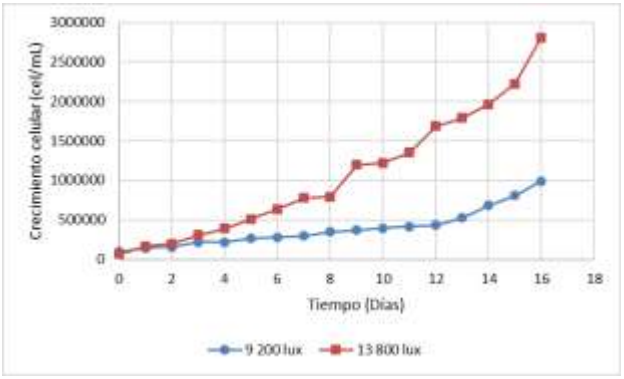


Figura 7. Crecimiento celular en diferentes condiciones de iluminación

El análisis de varianza con un índice de confiabilidad del 95 % indicó que la intensidad de luz es un factor que afecta significativamente la producción de clorofila *a* (p=0.023) y de clorofila *b* (p=0.001). Encontrándose que a mayor intensidad luminosa (13800 lux) una producción de clorofila *a* de 1.997 ± 0.227 µg/mL y de clorofila *b* de 1.564 ± 0.86 µg/mL. Los valores obtenidos son ligeramente menores a los obtenidos por García [9] para clorofila *a* de 3.56 ± 0.13 µg/mL en un cultivo de microalga *Chlorella vulgaris* en medio BG-11 con diferentes concentraciones de NaCl y también son menores a los encontrados en otros estudios donde utilizaron la microalga *Chlorella vulgaris* en medio de cultivo Bold Basal (BBM), donde el contenido de clorofila *b* fue de 2.02 ± 0.09 µg/mL [10].

Evaluación en la producción de pigmentos

De acuerdo con el análisis de varianza con un índice de confiabilidad del 95%, respectivamente, se encontró que la intensidad de la luz es un factor significativo en la producción de clorofila a (p=0.023) tal como se muestra. Esto se debe a que la luz es esencial para la síntesis de la clorofila a, la intensidad de luz de 13 800 lux produjo la

 ISSN: 2007 8102

mayor cantidad de clorofila a. En otras palabras, la producción de clorofila a se incrementa con la intensidad de la luz, obteniéndose las mayores cantidades (1.997 ± 0.227 µg/mL) a 13 8000 lux. En otras palabras, a medida que aumenta la intensidad de la luz, también aumenta la producción de clorofila a. Un comportamiento similar se presentó en otros trabajos en los cuales se obtuvo un contenido de clorofila a de 3.56 ± 0.13 µg/mL en un cultivo de microalga *Chlorella vulgaris* en medio BG-11 con diferentes concentraciones de NaCl [9].

Tabla 2. Análisis de varianza para clorofila a

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Luz	1	5.516	2.757	5.92	0.023
Error	32	4.191	0.4856		
Total	33	21.412			

El análisis de varianza (Tabla 3) demostró que para la producción de clorofila b de la microalga *Chlorella vulgaris* el factor luz es significativo con un valor de p de 0.001. Encontrandose que a mayores niveles de intensidad lumínica (13 800 lux) resultaron en una mayor producción de clorofila b (1.564 ± 0.86 µg/mL). Se calculó un valor de 2.373 ± 0.12 µg/mL usando un suministro de luz de 13800 lux. Estos resultados son similares a los reportados por otros autores [10] utilizando la microalga *Chlorella vulgaris* en medio de cultivo Bold Basal (BBM), logró un contenido de clorofila b de 2.02 ± 0,09 µg/mL.

Tabla 3. Análisis de varianza para clorofila b

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Luz	1	1.3273	0.6636	16.77	0.001
Error	32	0.3561	0.0396		
Total	33	5.0466			

Finalmente, el análisis de varianza para la producción de clorofilas totales de la microalga *Chlorella vulgaris*, presentó un valor de p=0.008. La concentración máxima de clorofila total (3.643 ± 0.32 µg/mL) se obtuvo a 13 8000 lux. Una mayor producción de clorofilas totales requiere una iluminación mayor. La información obtenida se asemeja a la reportada por otros autores [11] en un cultivo discontinuo de la microalga *Chlorella vulgaris* a una temperatura de 25±2 °C, los investigadores obtuvieron 5.58 ± 0.4 µg/mL de clorofilas totales.

Tabla 3. Análisis de varianza para clorofilas totales

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Luz	1	12.179	6.09	8.49	0.008
Error	32	6.472	0.721		
Total	33	45.462			

Trabajo a futuro

Realizar la evaluación del crecimiento de la microalga *Chlorella vulgaris* con agua residual de una industria azucarera cultivada en un fotobiorreactor tipo raceway´s modificado.

Conclusiones

La microalga *Chlorella vulgaris* demostró que es posible cultivarse en un fotobiorreactor Raceway´s modificado. La iluminación es un factor que influye significativamente en el crecimiento, reproducción e incremento en fase exponencial de la microalga *Chlorella vulgaris* debido a que a mayor iluminación en el medio de cultivo del microorganismo se incrementó la densidad celular, la cinética de crecimiento, el nivel de pH el cual se incrementó manteniendo las condiciones para el crecimiento de la microalga. Obteniendo una concentración celular inicial de $6.66x10^4$ células/mL y finalizando con $2.81x10^6$ células/mL; dejando $2.74x10^6$ células/mL como crecimiento celular después del periodo de la cinética de crecimiento de la microalga que tuvo un periodo de 16 días, se puede confirmar que exponer el medio de cultivo a un nivel de luz de 13800 lux fue el que mejores resultados presentó tanto para alcanzar un alto crecimiento celular de la microalga *Chlorella vulgaris* como para la producción de pigmentos los cuales son un indicativo de que el proceso fotosintético se realizó de forma favorable en el medio de cultivo sintético Bold Basal.

Referencias

[1] J. L. Guzmán, F. G. Acién, y Berenguel, M. “Modelado y control de la producción de microalgas en fotobiorreactores industriales” *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 18, no. 1, pp. 1-18, 2021.

[2] F. G. Acién-Fernández, J. M. Fernández-Sevilla, y E. Molina Grima. “Contribución de las microalgas al desarrollo de la bioeconomía”, 2018.

[3] J. S. Tan, S. Y. Lee, K. W. Chew, M. K. Lam, J. W. Lim, S. H. Ho and P. L. Show. “A review on microalgae cultivation and harvesting, and their biomass extraction processing using ionic liquids”. *Bioengineered*, vol. 11, no. 1, pp. 116-129, 2020.

[4] J. S. Chang, P. L. Show, T. C. Ling, C. Y. Chen, S. H. Ho, C. H.Tan, D. Nagarajan,and W. N. Phong. “Photobioreactors. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Bioprocesses”, *Bioreactors and Controls*, pp. 313–352.

[5] Á. H.Sánchez, J. L. G. Sánchez, J. C. M. Úbeda, y A. B. Torrico. “Control robusto del pH en un fotobiorreactor Raceway”. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 19, no.3, pp. 274-283, 2022.

[6] L. Gómez-Luna, L. Tormos-Cedeño, y Y. Ortega-Díaz. “Cultivo y aplicaciones de *Chlorella vulgaris*: principales tendencias y potencialidades en la agricultura”. *Tecnología Química*, vol. 42, no. 1, pp. 70-93, 2022.

[7] V. Gallego Albiach y L. M. Pérez-Igualada. “Estimación de la densidad celular mediante el uso de cámaras de recuento”. 2021

[8] J. A. Aguilar Moreno. “Tratamiento de aguas residuales con el uso de la microalga *Chlorella vulgaris* para la remoción de materia orgánica”, 2023.

[9] J. L. García, B. Galán y M. De Vicente. “Presente y futuro del cultivo de las microalgas para su uso como superalimentos”. *Mediterráneo Económico*, pp. 333-350, (2018).

[10] M. O. M.de la Cruz, J. C. R. Heredia, A. N. García, F. A. Franseschi, M. C. T. Ordoñez, A. R. Marín, y Y. C. López. “Desarrollo celular de Chlorella vulgaris en FBR de columna de burbujeo bajo distintos regímenes de luz”. *Journal of Basic Sciences*,vol. 8, no. 23, pp. 72-84 (2022).

[11] W. Farooq, S. R. Naqvi, M. Sajid, A. Shrivastav, and K. Kumar. “Monitoring lipids profile, CO_2 fixation, and water recyclability for the economic viability of microalgae *Chlorella vulgaris* cultivation at different initial nitrogen”.*Journal of Biotechnology*, *vol.* 345, pp. 30-39, 2022.

ISSN: 2007 8102

Calidad de pastas elaboradas con diferentes niveles de hierba mora

*V. M. Luna-Hernández, J. G. Torruco-Uco, J. Rodríguez-Miranda, R. Gloria-Tejeda, B. Hernández-Santos**

*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Calzada Dr. Víctor Bravo Ahúja, No. 561, Col. Predio el Paraíso, Tuxtepec, Oaxaca, C.P. 68350, México. *bethersan19@gmail.com; betsabe.hs@tuxtepec.tecnm.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar la calidad pastas con diferentes niveles de sustitución de la harina de trigo (HT) por polvo de hierba mora (PH). Se sustituyó la HT por PH (%), (HT85/PH15 y HT70/PH30) la HT100/PH0 fue la pasta control. Se determinó la capacidad de absorción de agua (AA), el porcentaje de sólidos sueltos (SS), textura y el color (*L*, a* y b**). Los resultados de AA oscilaron entre 14 a 28%, los valores más bajos se encontraron en HT70/PH30 y el valor más alto en HT100/PH0, en SS el valor más bajo se encontró en la pasta control y el más alto en HT70/PH30 (1.02%). La textura de la pasta se vio afecta por la adición de PH. Al igual que una relación lineal entre el cambio de color y el contenido de harina de polvo de hierba mora en la pasta Los resultados obtenidos muestran el potencial de la hierba mora para su incorporación en el desarrollo e innovación de nuevos productos con un mayor aporte nutricional.

***Palabras clave**: Harina de trigo, pasta, Solanum nigrescens*

Abstract

The aim of the research was to evaluate the quality of pasta with different levels of substitution of wheat flour (HT) by powder of nightshade (PH). HT was replaced by PH (%), (HT85/PH15 and HT70/PH30) HT100/PH0 was the control paste. The water absorption capacity (WAC), the percentage of loose solids (SS), texture and color (L, a* and b*) were determined. The WAC results ranged from 14 to 28%, the lowest values were found in HT70/PH30 and the highest value in HT100/PH0, in SS the lowest value was found in the control paste and the highest in HT70/ pH30 (1.02%). The texture and color of the paste was affected by the addition of PH. The results obtained show the potential of the nightshade for its incorporation in the development and innovation of new products with a greater nutritional contribution.*

***Key words**: Wheat flour, pasta, Solanum nigrescens*

Introducción

La pasta es un producto tradicional elaborado generalmente a base de sémola, considerada la mejor materia prima [1]; La producción de pasta comienza con la adición de agua al grano, seguida de la mezcla, extrusión, recorte y secado [2]. Su consumo se ha incrementado, debido a su facilidad de transporte, manipulación, cocción y preparación [3]. La pasta de espagueti se reconoce como baja en sodio y grasa sin colesterol y una rica fuente de carbohidratos complejos [4]. Sin embargo, se le puede agregar otros ingredientes para aumentar sus propiedades nutricionales. En este sentido, se han evaluado diversas alternativas para aumentar el valor nutricional de las pastas mediante el uso de legumbres como las habas son fuentes valiosas de proteínas y carbohidratos con azúcares almidonados y no amiláceos (fibras dietéticas) como porción predominante y cantidades significativas de oligosacáridos [5]. Por otro lado, las plantas son otra fuente de proteínas como son las espinacas [6, 7, 8] y plantas silvestres como la hierba mora que se podrían utilizar para este fin. La hierba mora es una planta herbácea y crece como maleza en zonas silvestres adaptándose a todos los climas. Su distribución se encuentra a menudo en regiones tropicales, subtropicales y templadas, con una variedad de

 ISSN: 2007 8102

formas vegetales y reproductivas. Se le conoce comúnmente como hierba mora negra americana, Quelite Mora, Hoja de Zarazar, Macui [9]. Las hojas son verdes de aproximadamente de 3 a 5 cm de longitud, con una altura de más de 1 metro dependiendo del lugar y clima, esta planta puede ser una alternativa a las espinacas por su alto contenido de fibra dietética y proteínas, su bajo contenido en carbohidratos y grasas, proporcionando beneficios a la salud al ingerirlos así como agente antioxidante útil para la prevención de múltiples enfermedades asociadas a los procesos oxidativos, por lo que se considera un buen complemento de los granos [10]. También, presentan cantidades significativas de calcio, magnesio y potasio [11]. El papel de cada mineral es importante en la realización de diversos procesos fisiológicos fundamentales, incluida la digestión, la transmisión de mensajes en el sistema nervioso y el metabolismo celular [12]. Además, contiene fitoquímicos como: glicoalcaloides (solanina, solamargina, solanigrina, solasodina), glicósidos esteroidales (β-solamargina, solasonina), saponinas esteroidales (diosgenina), geninas esteroidales (gitogenina), taninos y compuestos fenólicos [13]. Debido a sus componentes bioactivos se le atribuyen diversas propiedades benéficas tales como: en el tratamiento de afecciones externas de la piel como acné, pústulas, inflamaciones, heridas superficiales, llagas, abscesos e inflamaciones por golpes, así como la actividad antidiabética [13, 9]. Sin embargo, su uso es solo en platillos tradicionales de la región de la cuenca del Papaloapan, ya que las hojas de la hierba mora se utilizan en sopas y guisos, ya sea como plato principal o como complemento debido a que tienen un sabor herbáceo, amargo y un olor fuerte que se elimina en el proceso de cocción, por lo que también no es muy conocida y consumida y por ende no se cultiva ni comercializa en grandes cantidades [14,15], por esta razón se pretende darle un valor agregado a esta planta al ser usada en la elaboración de un alimento de fácil acceso y rápido de preparar. Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar algunos parámetros de la calidad de pastas con diferentes niveles de sustitución de la HT por PH.

Metodología

Materiales y obtención del polvo de hierba mora (PH)

La hierba mora se adquirió en el mercado local de San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México. La harina de trigo fue de grado alimenticio (marca Da Rivara, México).

Se seleccionaron las hojas de hierba mora que no presentaran daños visuales y se lavaron con abundante agua, se desinfectaron con una solución de cloro (0.5%) y se secaron a 50 °C por 4 h. Las muestras secas se molieron y tamizaron hasta reducir las partículas a un tamaño de 0.177 mm (malla 80). El polvo se colocó en bolsas de polietileno y fueron selladas y almacenadas a 4 ºC hasta su posterior uso.

Preparación de la pasta

Se realizaron tres formulaciones de 100 g a 0, 15 y 30% de sustitución de harina de trigo (HT) por PH (HT100/PH0 la pasta control, HT85/PH15 y HT70/PH30, respectivamente). Se utilizó una batidora doméstica (marca Oster) para mezclar durante 5 min agregando 70 mL de agua, para así obtener la pasta. Posteriormente se utilizó una maquina manual para pasta (marca Imperia), donde se le dio forma y se cortó. La pasta obtenida se colocó en bandejas de aluminio para un secado a temperatura ambiente (27 ºC) por 15 min. Finalmente, la pasta se llevó a un secador de bandejas (POLI REP, México) a 70 °C durante 25 min [16].

Cocción de la pasta.

La cocción de la pasta se realizó en agua destilada hirviendo (98 ºC) a una relación 1:20 p/v, para determinar el tiempo de cocción se tomaron muestras cada minuto, monitoreando la desaparición del punto blanco central de la pasta [16].

Absorción de agua (AA) y solidos sueltos (SS)

Se realizaron cinéticas de absorción de agua con muestras de 5 g de pasta a tiempos de 2, 4, 6, 9,12 y 15 minutos de cocción para determinar el porcentaje de absorción de agua de las pastas y el agua que quedó de la cocción se colocó en una charola de aluminio para desecación en una estufa (marca Riossa E-41, México) a 70 ºC por 16 h. El peso de los sólidos secos se utilizó para calcular el % de sólidos sueltos (Ec. 1).

 ISSN: 2007 8102

$$\boldsymbol{SS}(\%) = \left(\frac{\boldsymbol{Peso\ de\ los\ solidos\ disuletos\ en\ el\ sobrenandante}}{\boldsymbol{peso\ de\ los\ solidos\ iniciales}}\right) * \mathbf{100} \qquad \text{(Ec. 1)}$$

Análisis de textura

Se utilizaron aproximadamente 2 cm de largo y 0.5 cm de diámetro de pasta cocida, la textura se midió en un Texturómetro universal (Texture Analyser TA-XT plus, Stable Micro Systems, USA) en modo de corte. Las condiciones fueron: Velocidad del cabezal del analizador de textura de 2.5 mm/s, recorriendo una distancia de 20 mm.

Análisis de color

El color se determinó de acuerdo a la medición de coordenadas de color CieLab mediante un colorímetro UltraScan® Vis (HunterLab, Inc. 11491 Sunset Hills Road, Virginia USA). Donde se obtuvieron los valores de *L** (Luminosidad), *a** (– verde a + rojo) y *b** (–azul a + amarillo).

Análisis estadístico.

Los datos fueron analizados y presentados como valor promedio ± desviación estándar. Las diferencias estadísticas significativas entre los valores promedio se analizaron utilizando la prueba de comparación HSD de Tukey con un nivel de confianza del 95% ($p<0.05$). Se utilizó el programa STATISTICA 5.0 para Windows de StatSoft Inc, Tulsa (USA).

Resultados y discusión

Tiempo de cocción y Absorción de agua

El tiempo de cocido de las pastas es después de la gelatinización del almidón presente en las harinas, el cual causa el desvanecimiento del nervio en el centro de la pasta [16]. En este caso el tiempo de cocción encontrado fue a los 15 min, ya que fue el tiempo en el cual ya no se observó el centro de la pasta.

Se encontraron diferencias significativas ($p<0.05$) entre los tratamientos a excepción del minuto 2 y 4 en donde la pasta con mayor contenido de PH no presentó diferencias significativas ($p>0.05$) con respecto al control. Los últimos 3 min de cocción fue el punto más alto de la absorción de agua, dándose a notar que HT100/PH0 fue el tratamiento que presentó mayor absorción de agua. Esto se debe a la alta concentración de almidón dando lugar a una alta porosidad y como resultado una mejor absorción de agua incluso sin una elevación de temperatura, es decir a temperatura ambiente. El valor obtenido más alto fue de 28.15% en la pasta control, el cual se representa en la Figura 1, se observó que la absorción de agua disminuyó significativamente a medida que se sustituía la HT por PH. La diferencia de absorción de agua entre las mezclas puede relacionarse a la diferencia en la cantidad de proteínas, almidón y de fibra presente en las harinas [17]. Así mismo se ha reportado que la capacidad de absorción de agua está influenciada por la presencia de grupos hidrofílicos procedentes de las proteínas [18].

 ISSN: 2007 8102

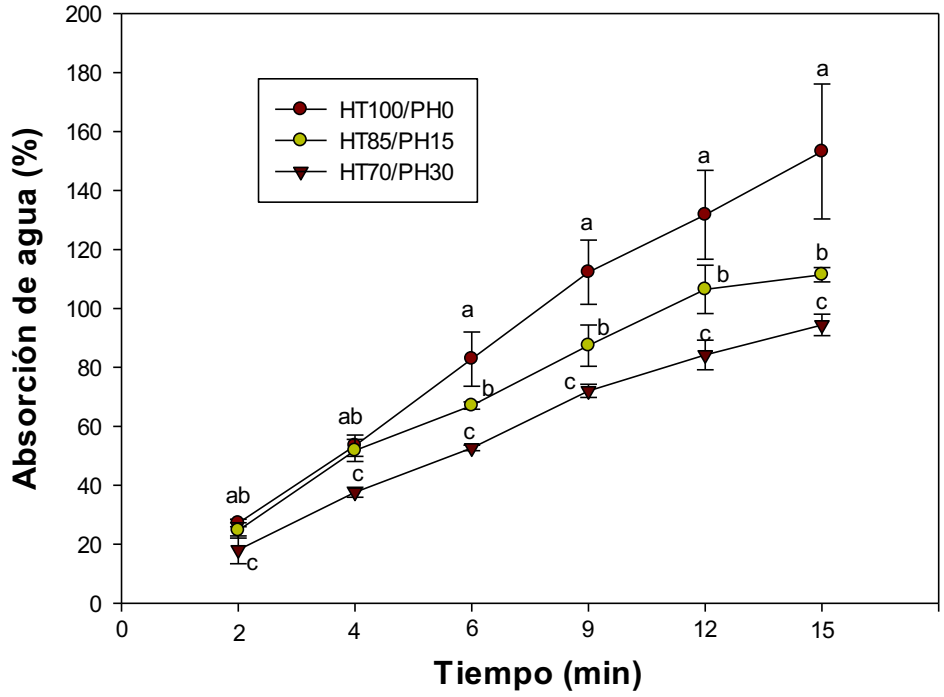


Figura 1. Cinética de absorción de agua de la pasta control 100% harina de trigo (HT100/PH0) y con sustitución de polvo de hierba mora (HT70/HP30 y HT85/PH15).

Porcentaje de solidos sueltos en la cocción de la pasta

Se observaron diferencias significativas (p<0.05) entre los tratamientos (Tabla 1). El tratamiento con mayor porcentaje de solidos sueltos fue HT70/PH30, siendo esta las que tienen mayor concentración de hierba mora, y los tratamientos que presentaron menor solidos sueltos fueron HT100/PH0 y HT85/PH15. Esta pérdida de solidos no es deseada ya que ésta se produce por la solubilidad de los compuestos como almidones, proteínas y minerales, los cuales pasan al agua de cocción ocasionando que las pastas pierdan su forma, llegando a partirse o no tener estructura si se dejan más tiempo sumergidas en agua caliente [18]. Se ha reportado que una pasta de alta calidad puede tener pérdidas de cocción de hasta 8%, una pasta elaborada 100% de sémola de trigo presenta una pérdida de cocción de hasta 6% dependiendo de la calidad y tipo de materia prima [19]. Los resultados de esta investigación son inferiores a lo reportado, tomando esto en cuenta, al sustituir la harina de trigo por polvo de hierba mora incrementó la perdida de sólidos hasta el 1%. De acuerdo a lo reportado por Malhotra et al. [20], ellos encontraron valores de pérdidas de sólidos de entre 6.53 y 12.53% en pastas elaboradas con sustitución de harina de papa dulce. Mientras que Avendaño et al. [21] reportó pérdidas de entre 2 y 3% en pastas sustituidas con harina de ahuyama.

Tabla 1. Porcentajes de solidos sueltos en el agua de cocción de las pastas.

Tratamientos (%)	Solidos sueltos (%)
HT100/PH0	0.28±0.02a
HT85/PH15	0.73±0.03b
HT70/PH30	1.02±0.05c

Media de 3 repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes por columna indican diferencia estadística significativa (p<0.05). T: tratamientos. HT: harina de trigo. PH: polvo de hierba mora.

 ISSN: 2007 8102

Textura de las pastas cocidas

Se mostraron diferencias significativas ($p<0.05$) entre los tratamientos (Tabla 2). La muestra control presentó el menor valor en comparación con los tratamientos HT85/PH15 y HT70/PH30, se observó que al incrementar la cantidad de polvo de hierba mora en las mezclas, aumentó la textura, esto puede ser atribuido a la alta cantidad de proteínas y fibra que contiene PH lo que le da esa firmeza y por lo que necesita mayor fuerza para el corte, sin embargo se ha reportado que la disminución de proporción de gluten en la formulación suele disminuir la firmeza de la pasta, ya que la red puede perder fuerza y la microestructura general de la pasta se altera [19]. En este caso la adición de hierba mora mejoró la firmeza, esto podría deberse al tipo de proteína presente en esta materia prima y al tratamiento térmico durante los pasos de secado, como se mencionó anteriormente. Estos resultados son superiores a lo reportado por Sykut-Domańska et al. [5] en pastas elaboradas con residuos de la extracción del aceite de coco y con harina de coco, reportando valores de entre 0.74 y 1.19 N. Así como por lo reportado por Valdez-Meza et al. [22] en pastas con sustitución con hidrolizados proteicos de amaranto, reportaron valores de entre 3.31 y 5.73 N.

Tabla 2. Textura de las pastas cocidas

Tratamientos (%)	Textura (N)
HT100/PH0	6.04±0.50a
HT85/PH15	6.61±0.46ab
HT70/PH30	10.93±0.80c

Media de 3 repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes por columna indican diferencia estadística significativa ($p<0.05$). T: tratamientos. HT: harina de trigo. PH: polvo de hierba mora.

Parámetros de color en las pastas

Se observaron diferencias significativas ($p<0.05$) para los tratamientos en los parámetros de color estudiados (L^*, a^* y b^*). La mayor luminosidad fue registrada en el tratamiento control ($L^* = 85.83$), ya que la harina de trigo es con tendencia a blancos mientras que la hierba mora, tiende a ser más oscura ($L^* = 59$), es por ello que cuando se incrementa la concentración de polvo de hierba mora, la luminosidad disminuye (Tabla 3). En el caso del parámetro a^* el tratamiento control presentó el valor más bajo, mientras que el tratamiento con mayor sustitución de PH presentó el valor más alto negativo, por lo que a medida que se incrementa la concentración de PH el parámetro a^* se incrementa, sugiriendo este resultado, que la pasta presenta tonalidades con tendencia hacia el verde, mientras que, en el parámetro b^* la tendencia fue hacia el amarillo (Tabla 3). Estas diferencias con respecto al control se deben a que el PH al ser un polvo de color verde oscuro les proporciona la tonalidad oscura a las pastas. Este comportamiento ha sido reportado por Gallegos-Infante et al. [16], en pastas compuestas con harina de frijol, sugiriendo que las pastas con mayor concentración de harina de frijol eran más oscuras. Por su parte Valdez-Meza et al. [22], menciona que el oscurecimiento de la pasta puede deberse a las reacciones de Maillard que ocurren durante el procesamiento de la pasta.

Tabla 3. Parámetros de color en las pastas.

Tratamientos (%)	L^*	a^*	b^*
HT100/PH0	85.83±0.14c	0.94±0.13a	14.90±0.34a
HT85/PH15	61.01±0.67b	-1.80±0.07bc	17.77±0.19b
HT70/PH30	59.10±0.44a	-1.880.02c	17.16±0.51bc

Media de 3 repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes por columna indican diferencia estadística significativa ($p<0.05$). T: tratamientos. HT: harina de trigo. PH: polvo de hierba mora.

 ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

La composición química, la capacidad antioxidante y la evaluación sensorial permitirán determinar la mejor formulación para obtener un producto con características nutricionales y sensoriales aceptables por el consumidor, además de brindar un beneficio a la salud.

Conclusiones

Los resultados mostraron que es posible elaborar pasta con una sustitución de harina de trigo por polvo de hierba mora de hasta con 30%, ya que la pasta presenta una alta absorción de agua (28.15%), solidos sueltos (HT70/PH30), de 1.02% un valor muy por de bajo a lo establecido por la norma mexicana (NOM.F-23-S-1980) y tambien presentaron alta firmeza (HT70/PH30, 10.93N), sin embargo, el color tuvo un efecto notable en la pasta (HT70/PH30, 59.10) al igual que una relación lineal entre el cambio de color y el contenido de harina de polvo de hierba mora en la pasta, por lo que se tendría que evaluar más adelante si éste presenta un efecto significativo en la aceptabilidad general del producto. Así también, esta pasta es una alternativa atractiva para los consumidores que prefieren un alimento con un alto valor nutricional (proteínas y fibra) y con posibles propiedades benéficas para la salud de los consumidores.

Referencias

[1] F. Bianchi, R. Tolve, G. Rainero, M. Bordiga, C. S. Brennan, and B. Simonato, “Technological, nutritional and sensory properties of pasta fortified with agro-industrial by-products: a review”. *International Journal of Food Science & Technology*, vol 56 no. 9, pp. 4356-4366. 2021.

[2] A. Romano, P. Ferranti, V. Gallo, and P. Masi, “New ingredients and alternatives to durum wheat semolina for a high quality dried pasta”. *Current Opinion in Food Science*, vol. 41, pp. 249-259. 2021.

[3] M. Sissons, “Development of novel pasta products with evidence-based impacts on health—A Review”. *Foods*, vol. 11, no. 1, pp. 123. 2022.

[4] S. Carpentieri, D. Larrea-Wachtendorff, F. Donsi, and G. Ferrari, “Functionalization of pasta through the incorporation of bioactive compounds from agri-food by-products: Fundamentals, opportunities, and drawbacks”. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 122, pp. 49-65. 2022.

[5] E. Sykut-Domańska, P. Zarzycki, A. Sobota, D. Teterycz, A. Wirkijowska, A. Blicharz-Kania, D. Andrejko, and J. Mazurkiewicz, “The potential use of by-products from coconut industry for production of pasta”. *Journal of Food Processing and Preservation*, vol 44, no. 7, pp. e14490, 2020.

[6] Y. E. Bardales, N. E. G. Ramírez, and R. E. T. Minaya, “Sustitución de la harina de trigo por harina de quinua y puré de espinaca en la elaboración de una pasta enriquecida y fortificada. Aporte Santiaguino, vol 11, no. 1, pp. 69-80, 2018.

[7] S. M EL-SAYED, “Use of spinach powder as functional ingredient in the manufacture of UF-Soft cheese”, *Heliyon*, vol. 6, no 1, pp. e03278, 2020.

[8] W. D. Tedom, W. D. Ngaha, R. A. Ejoh, and E. N. Fombang, “Optimal conditions of steam blanching of spinach (*Spinacia oleracea*), a leafy vegetable consumed in Cameroon”, *International Journal of Nutritional Science & Food Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 1-8, 2020.

[9] S.M. Ramírez-Olvera, M. Sandoval-Villa, “Uses, Botanical Characteristics, and Phenological Development of Slender Nightshade (*Solanum nigrescens* Mart. and Gal.)”. *Plants*. vol. 12, no. 8, pp.1645, 2023.

[10] E. Fernández-Cusimamani, V. Espinel-Jara, S. Gordillo-Alarcón, R. Castillo-Andrade, J. Žiarovská, J.M. Zepeda-Del Valle, E.A. Lara-Reimers, “Ethnobotanical study of medicinal plants used in three districts of Imbabura province, Ecuador”, *Agrociencia*, vol. 53, no. 5, pp. 797–810, 2019.

[11] A. Cáceres, V. Martínez-Arévalo, M. S. Mérida-Reyes, A. Sacbajá, A. López, S. M. Cruz, “Contenido de oligoelementos y factores antinutricionales de hojas comestibles nativas de Mesoamérica”, *Ciencia. Tecnología y Salud*, vol. 6, no. 2, pp. 132–148, 2019.

[12] A. Mohyuddin, T. A. Kurniawan, Z. U. D. Khan, S. Nadeem, M. Javed, A. A. Dera, S. Iqbal, N. S. Awwad, H. A. Ibrahium, M. A. S. Abourehab, S. Rebea, E. B. Elkaeed, M. N. Asghar, and S. Saeed, “Comparative

 ISSN: 2007 8102

insights into the antimicrobial, antioxidant, and nutritional potential of the Solanum Nigrum complex". *Processes*, vol.10*, no.* 8, pp.1455, 2022.

[13] A. Jabamalairaj, R. A. Priatama, J. Heo, S. J. Park, "Medicinal metabolites with common biosynthetic pathways in *Solanum nigrum*", *Plant Biotechnology Reports*. vol. 13, pp. 315–327, 2019.

[14] G.I. Manzanero-Medina, M.A. Vásquez-Dávila, H. Lustre-Sánchez, A. Pérez-Herrera, "Ethnobotany of food plants (quelites) sold in two traditional markets of Oaxaca, Mexico", South African Journal of Botany, vol. 130, pp. 215–223, 2020.

[15] J. C. Aparicio-Aparicio, R. A. Voeks, L. Silveira Funch, "Are mixtec forgetting their Plants? Intracultural variation of ethnobotanical kowledge in Oaxaca, Mexico". Economic Botany, vol. 75, pp. 215–233, 2021.

[16] J. A. Gallegos-Infante, N. E. Rocha-Guzman, R. F. Gonzalez-Laredo, L. A. Ochoa-Martínez, N. Corzo, L. A. Bello-Perez, L. Medina-Torres and L. E. Peralta-Alvarez, "Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.)". *Food Chemistry*, vol. 119, no. 4, pp. 1544-1549, 2010.

[17] A. Wójtowicz, and L. Mościcki, "Influence of legume type and addition level on quality characteristics, texture and microstructure of enriched precooked pasta". *LWT-Food Science and Technology*, vol. 59, no. 2, pp. 1175-1185, 2014.

[18] L. Padalino, M. Mastromatteo, L. Lecce, S. Spinelli, A. Conte, and A. M. Del Nobile, "Optimization and characterization of gluten-free spaghetti enriched with chickpea flour". *International journal of food sciences and nutrition*, vol. 66, no. 2, pp. 148-158, 2015.

[19] D. Dziki "Current Trends in Enrichment of Wheat Pasta: Quality, Nutritional Value and Antioxidant Properties". *Processes,* 9(8):1280, 2021

[20] N. Malhotra, S. Sharma, P. Sahni, B. Singh, and S. P Sharma, "Nutritional composition, techno-functionality, in-vitro starch digestibility, structural characteristics and storage stability of sweet potato flour and mash supplemented specialty pasta". *LWT-Food Science and Technology*, vol. 168, 113886, 2022.

[21] E. J. F. Avendaño, L. M. O. Garcia, and E. E. R. Marriaga, "Evaluacion nutricional y sensorial de pastas alimenticias elaboradas con semola de trigo (*Triticum Durum*) y harina de Ahuyama (*Cucurbita Máxima* Duch)". *Alimentos Hoy*, vol. 42, no. 25, pp. 3-17, 2017.

[22] E. E. Valdez-Meza, A. Raymundo, O. G. Figueroa-Salcido, G. I. Ramírez-Torres, P. Fradinho, S. Oliveira, I. de Sousa, M. Suárez-Jiménez, F. I. Cárdenas-Torres, A. R. Islas-Rubio, G. Rodríguez-Olibarría, N. Ontiveros and F. Cabrera-Chávez, "Pasta enrichment with an amaranth hydrolysate affects the overall acceptability while maintaining antihypertensive properties", *Foods*, vol. 8, no.8, pp. 282, 2019.

 ISSN: 2007 8102

Efecto de la liofilización sobre las características fisicoquímicas y térmicas del extracto de grillo doméstico *(Acheta domesticus)*

Ameyali Hernández-Lormendez [1], Guadalupe Luna Solano [1], Haydee Eliza Romero Luna[1], Maribel Jiménez Fernández[2],*

[1]Laboratorio de Procesos, División de Estudios de Posgrados e Investigación, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz, 94320, México. amehlormendez@gmail.com
[2]Centro de Investigación y Desarrollo en Alimentos, Universidad Veracruzana, Dr. Luis Castelazo Ayala S/N, IndustrialÁnimas, 91190, Xalapa-Enríquez, Veracruz, México. maribjimenez@uv.mx

Área de participación: Ingeniería química

Resumen

En esta investigación se llevó a cabo un estudio exhaustivo de las características fisicoquímicas, el contenido proteico y propiedades térmicas del extracto liofilizado de grillo doméstico (*Acheta domesticus)*. Para tal fin, se emplearon dos tipos de muestras de extracto de grillo: la primera con un contenido de sólidos totales del 10 % y la segunda con un 15%. Se aplicó un diseño de experimentos 2^k, en el cual se consideraron los siguientes factores: contenido de solidos de la muestra, porcentaje de maltodextrina añadido y la presión aplicada durante el proceso de secado. El análisis estadístico ANOVA con prueba de Tukey (α=0.05) indicó efecto significativo de los factores estudiados (porcentaje de maltodrextrina y presión) sobre algunas de las respuestas evaluadas (humedad, proteína, grasas, carbohidratos, cenizas totales). Se obtuvo un contenido proteico máximo de 47.08 g/100 g y un mínimo de 35.52 g/100 g en las muestras liofilizadas. Las propiedades fisicoquímicas y térmicas asociadas al proceso de liofilizado del extracto de grillo doméstico desempeñan un papel fundamental en la identificación de las condiciones óptimas para la obtención de un producto de alta calidad y una mayor estabilidad en su almacenamiento.

Palabras claves: *extracto, grillo doméstico, liofilización, proteína.*

Abstract

In this research, a comprehensive study of the physicochemical characteristics, protein content and thermal properties of freeze-dried domestic cricket (Acheta domesticus) extract was carried out. Two types of cricket extract samples were used: the first one had a total solids content of 10 % and the second one had 15 %. A 2^k experimental design was applied, considering the following factors: sample solids content, percentage of maltodrextrin added and the pressure applied during the drying process. The statistical analysis ANOVA with Tukey´s test (α=0.05) indicated a significant effect of the studied factors (maltodrextin percentage and pressure) in some cases. A maximum protein content of 47.08 g/100 g and minimum of 35.52 g/100g were obtained in the freeze-dried samples. The physicochemical and thermal properties associated with the drying process of domestic cricket extract, play a fundamental role in identifying the optimal conditions for obtaining a high-quality product with enhanced stability, facilitating long-term storage.

Key words: *extract, domestic cricket, freeze-dried, protein.*

Introducción

Los hábitos, las regiones geográficas, las culturas y las creencias religiosas han tenido una influencia en la alimentación de las personas. Es conocido que los insectos se han consumido desde tiempos antiguos, no solo por animales, también por nuestros antepasados. La práctica de consumir insectos es conocida como entomofagia [1]. Uno de los países que se destaca en esta práctica es México, sobre todo en los estados del sur, centro y sureste, contando con 549 especies de insectos comestibles [2]. A pesar de que se ha presentado una considerable atención y dedicación al estudio de los insectos comestibles como una alternativa viable para abordar la problemática de seguridad alimentaria actual, la población en general, aun rechaza la idea de consumir los insectos comestibles como parte de su dieta, sin considerar que se ha demostrado que los insectos comestibles exhiben una mayor concentración de micronutrientes esenciales, tales como calcio, zinc y hierro; y una eficiencia nutricional sobresaliente, en comparación con la carne porcina y bovina [3].

Una causa adicional de la reticencia de la población general hacia el consumo de insectos comestibles radica en su percepción de riesgos toxicológicos. Sin embargo, se ha demostrado que no se existen casos documentados de transmisión de enfermedades, parásitos y alergias de importancia clínica en humanos. De

 ISSN: 2007 8102

acuerdo con los criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud y la Unión Internacional de Sociedades de Inmunología, no ha identificado ningún alérgeno dentro de la orden Ortóptera, a la cual pertenecen al *Acheta domesticus*. En Europa, tampoco se ha identificado la existencia de alergias alimentarias especificas relacionas con el consumo de este grillo, sin embargo, esto podría atribuirse a la baja prevalencia histórica de su consumo en esta región. Es importante destacar que las áreas geográficas donde el consumo de grillos es más prominente, no parecen presentar un aumento significativo en la incidencia de reacciones alérgicas relacionadas con el consumo de este insecto [4]. Sin embargo, a pesar de los datos documentados, se hace énfasis en la imperante necesidad de aplicar algún tipo de tratamiento térmico, con el propósito de salvaguardar la integridad y seguridad alimentaria, además de controlar eficazmente la carga microbiana inherente a los insectos comestibles y garantizar una vida útil de anaquel.

Metodología

Selección y acondicionamiento de la muestra

En este estudio se emplearon muestras de extracto de grillo *(Acheta domesticus)* las cuales fueron proporcionadas por BeChos, una empresa situada en Veracruz, México. Las muestras presentaron un contenido de solidos totales de 10 y 15 % respectivamente. Una condicionante para su aceptación fue que estuvieran en estado óptimo, exentas de cualquier inicio de actividad microbiana. Las muestras fueron identificadas como M1 y M2 (con contenido de solidos menor y mayor, respectivamente). Para un proceso de secado óptimo y garantizar la conservación de las características del extracto de grillo se llevó a cabo el acondicionamiento de las muestras, agregando maltodextrina ED-10 al 5 y 10 %. Posteriormente, se procedió a agitar vigorosamente la muestra hasta alcanzar la homogeneidad en la mezcla.

Proceso de secado

Para la obtención del extracto liofilizado del grillo doméstico *(Acheta domesticus)* se llevaron a cabo dos etapas: en la primera etapa se colocaron las muestras acondicionadas en los matraces marca LABCONCO, propios del equipo liofilizador y se llevaron a un proceso de ultra congelamiento en una cámara de enfriamiento (LABCON, USA) a una temperatura de -52 °C durante 12 horas. En la segunda etapa, una vez congelada la muestra del extracto de grillo, se utilizó el liofilizador (LABCONCO, USA) para el proceso de secado durante 22 horas. En esta etapa se consideró como factor de estudio la presión a la cual se lleva a cabo la liofilización.

Diseño de experimentos

Para llevar a cabo el proceso de liofilización del extracto de grillo se aplicó un diseño de experimentos 2^3 completamente al azar, donde los factores fueron tres variables cuantitativas con dos niveles: Contenido de solidos (CS) al 10 y 15 % en el extracto de grillo, contenido de maltodextrina adicionado (5 y 10 %) y la presión del proceso de secado (0.1 y 0.5 mbar). Dando un total de 8 experimentos (Tabla 1) los cuales se realizaron por duplicado.

Determinación de las características fisicoquímicas y composición proximal

Se analizaron las propiedades fisicoquímicas y proximales de las muestras del extracto de grillo doméstico *(Acheta domesticus)* antes y después del proceso de secado por liofilización. Las determinaciónes fisicoquímicas consistieron en evaluar el parámetro de color utilizando dos colorímetros. Para las muestras frescas del extracto de grillo doméstico *(Acheta domesticus)* se empleó el espectrofotómetro marca HunterLab, modelo ColorQuest XE; mientras que, para las muestras liofilizadas del extracto de grillo doméstico *(Acheta domesticus)* se utilizó el espectrofotómetro marca HunterLab, modelo MiniScan. Además de analizar el contenido de humedad utilizando una termobalanza de halógeno (OHAUS, modelo MB35) y la actividad de agua (a_w) empleando el medidor de actividad de agua (VTSYIQI, modelo VTS-160ª).

Para el análisis proximal, se determinó el porcentaje de proteínas con el método de Kjeldahl [5], para el cual se empleó un digestor de proteínas (NOVATECCH, México). Para la obtención del porcentaje de grasas se utilizó el método de Soxhelt [6] y el porcentaje de cenizas se obtuvo por medio del método de cenizas totales [7].

Obtención de las propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de las muestras del extracto de grillo doméstico *(Acheta domesticus)* obtenidas del proceso de secado por liofilización se calcularon al término del tratamiento térmico. La conductividad térmica se determinó con la ecuación correspondiente a alimentos sólidos y líquidos (Ec. 1), mientras que la capacidad

 ISSN: 2007 8102

calorífica fue calculada mediante la aplicación de la ecuación diseñada para productos de composición conocida (Ec. 2) [8].

$$k = 0.25\,X_c + 0.155\,X_p + 0.16\,X_f + 0.135\,X_c + 0.58\,X_w \quad (1)$$

$$C_p = 1.424\,X_c + 1.549\,X_p + 1.675\,X_f + 0.837\,X_c + 4.187\,X_w \quad (2)$$

Donde, k : Conductividad térmica (W/m°C); C : Calor especifico (Kj/Kg°C); X_c: Fracción peso de hidratos de carbono; X_p : Fracción peso de proteínas; X_f: Fracción peso de grasas; X_c : Fracción peso de cenizas; X_w: Fracción peso de agua.

Resultados y discusión

Análisis fisicoquímico de las muestras liofilizadas del extracto de grillo doméstico *(Acheta domesticus)*

Los resultados de la evaluación de color obtenidos en las muestras del extracto de grillo fueron: $L = 1.73^{0.2}$, $a^* = 0.11^{0.1}$, $b^* = -1.05^{0.1}$ para la muestra con sólidos totales de 10 %, (M1), y $L^* = 1.55^{0.1}$, $a^* = 0.63^{0.2}$, $b^* = -2.55^{0.1}$ para la muestra con sólidos totales de 15 % (M2). De estos datos se concluyó que M1 presentó una mayor luminosidad (L), esto está relacionado al mayor contenido de agua de esta muestra. Los valores de cromaticidad (a y b) indican que ambas muestras presentan una tonalidad roja azulada. Cabe resaltar que no hay investigaciones relacionadas al extracto de grillo, sin embargo, otros autores han aplicado el proceso de liofilizado en grillos enteros. Khatun, H, et al., obtuvieron valores de $L = 66.29^{0.2}$, $a = 3.10^{0.1}$, $b = 14.96^{0.2}$; demostrando que el *Acheta domesticus* exhibe una luminosidad elevada y una tonalidad roja amarilla, esto derivado a la lixiviación del pigmento de carotenoides responsables de la amarillez durante el escaldado [9].

En la Tabla 1, se presentan los parámetros de color obtenidos de las muestras liofilizadas. Se puede observar una mayor luminosidad (L*) en las muestras que fueron deshidratadas con la mayor cantidad de maltodextrinas (10%) esto puede ser debido a que las maltodextrinas tienen un alto nivel de blancura. También, se observa que los valores de los parámetros a* y b* son positivos indicando por lo tanto tonalidad de las muestras liofilizadas rojo-amarillo y perdiéndose la tonalidad azulada de las muestras M1 y M2 del extracto. La muestra con mayor tonalidad amarilla correspondió a la obtenida con mayor presión de deshidratación (0.5 mbar) en la muestra con mayor contenido de sólidos y maltodextrinas.

Tabla 1. Parámetros de color de las muestras liofilizadas del extracto de grillo doméstico *(Acheta domesticus)*

Exp.	CS (%)	Maltodrextrina (%)	Pva (mbar)	L^*	a^*	b^*
1	10	5	0.1	$19.985^{0.063}$	$4.205^{0.162}$	$6.375^{0.261}$
2	15	5	0.1	$21.150^{0.240}$	$4.570^{0.127}$	$7.105^{0.021}$
3	10	10	0.1	$24.355^{0.205}$	$3.970^{0.268}$	$8.305^{0.176}$
4	15	10	0.1	$23.370^{0.353}$	$3.775^{0.063}$	$8.370^{0.212}$
5	10	5	0.5	$22.165^{0.120}$	$5.590^{0.070}$	$8.340^{0.353}$
6	15	5	0.5	$20.075^{0.233}$	$4.255^{0.360}$	$7.235^{0.148}$
7	10	10	0.5	$24.470^{0.282}$	$5.635^{0.035}$	$8.295^{0.205}$
8	15	10	0.5	$24.970^{0.056}$	$4.480^{0.325}$	$9.475^{0.091}$

En la Figura 1, se muestra la diferencia de color (ΔE) entre las muestras liofilizadas. El análisis estadístico con prueba de Tukey (α=0.05) indicó diferencia significativa entre las muestras deshidratadas del extracto. Es importante mencionar que ΔEinvolucra los tres parámetros de color L*, a* y b*, siendo los valores mayores de 100 debido a que la diferencia de color se calculó con respecto a los parámetros de color obtenidos de extracto de grillo inicial en estado líquido.

 ISSN: 2007 8102

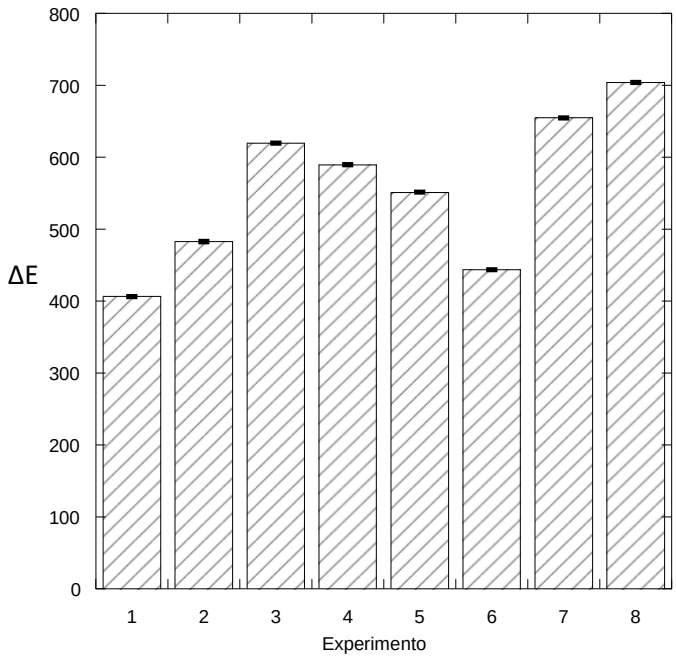


Figura 1. ΔE de las muestras liofilizadas del extracto de grillo doméstico *(Acheta domesticus)*

En la Figura 2 se presentan físicamente las muestras liofilizadas del extracto de grillo doméstico *(Acheta domesticus)*, se puede observar el color para cada uno de los productos obtenidos de acuerdo con los experimentos realizados. Aunque el análisis estadístico mostró diferencia significativa en la ΔE, visualmente las muestras presentan un color café muy similar, resultado de los valores correspondientes a los parámetros a* y b* tonalidad rojo y amarillo respectivamente.

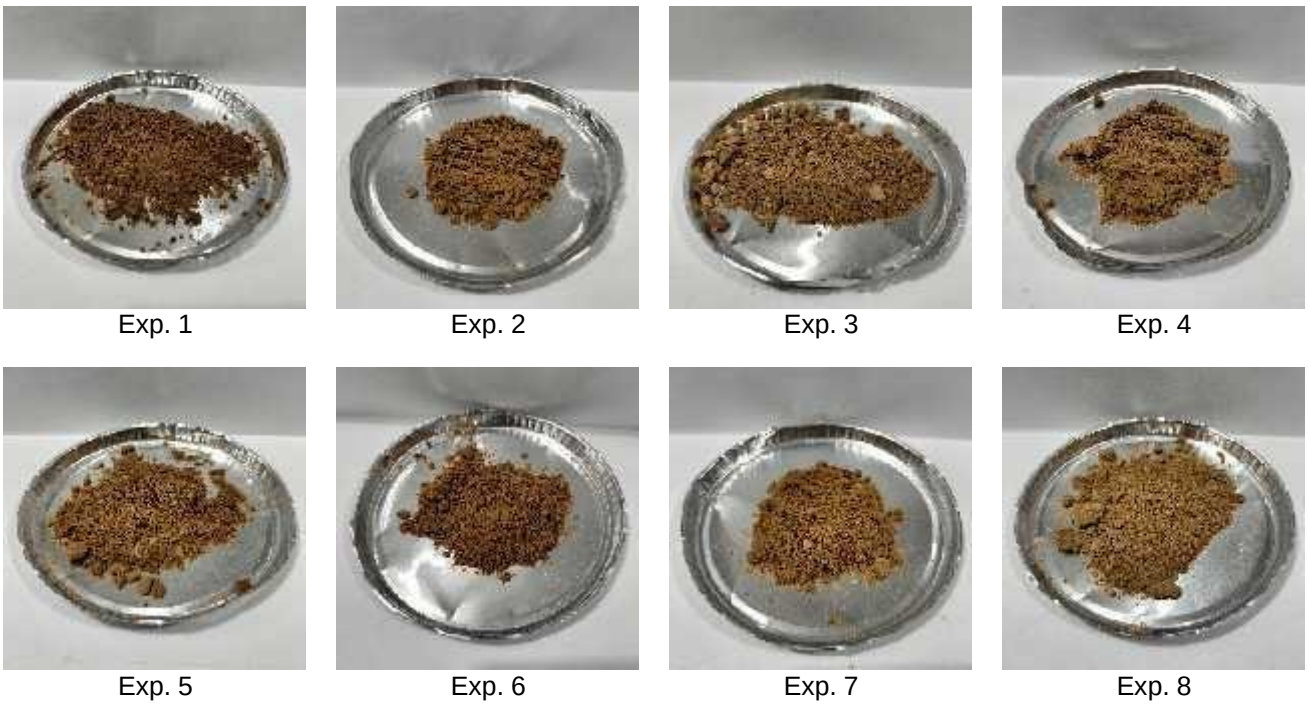


Figura 2. Muestras liofilizadas del extracto de grillo *(Acheta domesticus)*

Otra característica física importante en un alimento es la actividad de agua (a_w), en las muestras de extracto de grillo el valor obtenido fue $0.875^{0.007}$ para M1 y M2. Este valor proporciona información correspondiente a un

 ISSN: 2007 8102

producto propenso a deterioro principalmente por actividad microbiana. Aplicando el proceso de secado se logra generalmente disminuir la a_w hasta valores (<0.65), donde el agua ya no está disponible para permitir el crecimiento microbiano. En la Figura 3 se presentan los resultados de a_w para las diferentes muestras obtenidas con la aplicación del proceso de liofilización del extracto de grillo. El análisis estadístico ANOVA con prueba de Tukey con un α=0.05 indicó diferencia significativa entre algunos experimentos, los valores menores se obtuvieron en los experimentos 3 y 4 correspondientes a la menor presión utilizada en el liofilizador. Independientemente de lo anterior en todas las muestras obtenidas se logró disminuir la a_w por debajo de 0.3 por lo cual se considera son muestras con alta estabilidad durante su almacenamiento.

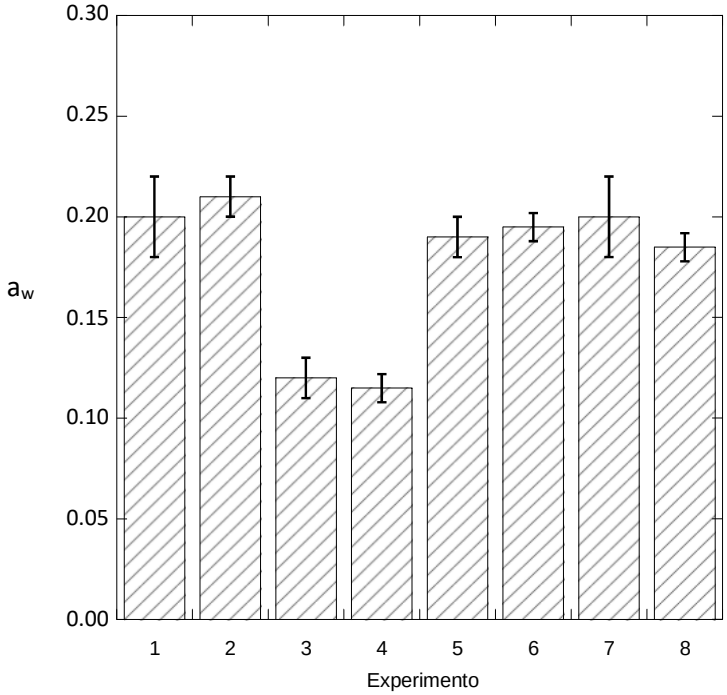


Figura 3. a_w de muestras liofilizadas de extracto de grillo doméstico *(Acheta domesticus)*

Composición proximal del extracto de grillo doméstico *(Acheta domesticus)*

En la Tabla 2 se observan los resultados del análisis proximal obtenido para cada una de las muestras liofilizadas del extracto de grillo. El contenido de humedad para todas las muestras liofilizadas fue menor al 5 % correspondiente a alimentos deshidratados. Es de gran importancia hacer referencia a los valores iniciales de proteína en el extracto que se utilizó para el proceso de liofilización ($9.22^{0.32}$ % para la muestra M1 y $8.86^{0.33}$ % para la muestra M2), esto debido a que se potencializo un 5 veces más que su contenido proteico inicial, respecto a la muestra fresca. Considerando que los valores de proteínas en la mayoría de las muestras de alrededor de 40% en el extracto deshidratado, el producto se hace atractivo para futuras aplicaciones, como la harina [10] y la obtención de aceite [11], los cuales son productos de alto consumo y comercio, básicos para integrarlos en la dieta humana.

En general el análisis estadístico con prueba de Tukey (α=0.05) indicó efecto significativo de los factores de estudio del proceso de liofilización (porcentaje de maltodrextrinas y vacio) sobre las variables de respuesta proteínas, grasas, carbohidratos y cenizas en el extracto deshidratado.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Análisis proximal de las muestras liofilizadas

Exp.	% Humedad	%Proteína	%Grasas	% Carbohidrato	%Cenizas
1	$3.24^{0.212}$	$42.630^{0.284}$	$9.197^{0.055}$	$38.302^{0.357}$	$6.629^{0.083}$
2	$2.04^{0.084}$	$43.188^{0.295}$	$11.882^{0.232}$	$36.869^{0.420}$	$6.291^{0.190}$
3	$1.64^{0.353}$	$39.540^{0.377}$	$6.812^{0.056}$	$45.982^{0.053}$	$6.025^{0.134}$
4	$2.23^{0.077}$	$39.293^{0.231}$	$9.187^{0.144}$	$42.948^{0.228}$	$6.335^{0.070}$
5	$3.52^{0.169}$	$46.730^{0.395}$	$8.736^{0.217}$	$31.644^{0.181}$	$9.368^{0.261}$
6	$3.38^{0.197}$	$47.086^{0.053}$	$11.286^{0.121}$	$31.081^{0.368}$	$7.166^{0.238}$
7	$4.21^{0.084}$	$35.526^{0.246}$	$6.673^{0.028}$	$47.564^{0.004}$	$6.025^{0.297}$
8	$4.46^{0.176}$	$35.901^{0.390}$	$8.307^{0.120}$	$45.393^{0.323}$	$5.933^{0.231}$

Conductividad térmica y calor especifico en el extracto liofilizado de grillo doméstico *(Acheta domesticus)*

Es importante conocer las propiedades térmicas como la conductividad térmica y el calor específico en el extracto de grillo deshidratado información de gran revelvancia para el desarrollo de los cálculos de transferencia de calor involucrados en el diseño de almacenes, en la estimación de procesos de enfriamiento o calentamiento como la liofilización de alimentos. Estas propiedades pueden estar relacionadas con la degradación de las propiedades fisicoquímicas del extracto liofilizado del grillo doméstico *(Acheta domesticus)*, resultando importante evaluar los valores de conductividad térmica (*k*) y calor específico ( ) en su forma fresca y en el producto liofilizado obtenido. Dichos valores para las muestras de extracto fueron los siguiente: para M1 *k* fue $56.11^{0.09}$ W/m°C y para M2 fue $51.62^{0.20}$ W/m°C. En cuanto al calor especifico ( ), los resultados arrojaron $412.73^{0.11}$ Kj/Kg°C para M1 y 381.29 $^{0.75}$ Kj/Kg°C para M2.

En la Figura 4 se muestra la comparación entre muestras deshidratadas respecto a su conductividad térmica y el calor especifico del extracto liofilizado de grillo doméstico. Comparando los valores de estas propiedades térmicas del extracto y de muestras frescas se observa que los valores son mucho menores. Este resultado sugiere que existe una relación directa entre cantidad de agua presente en el extracto y las propiedades térmicas mencionadas anteriormente.

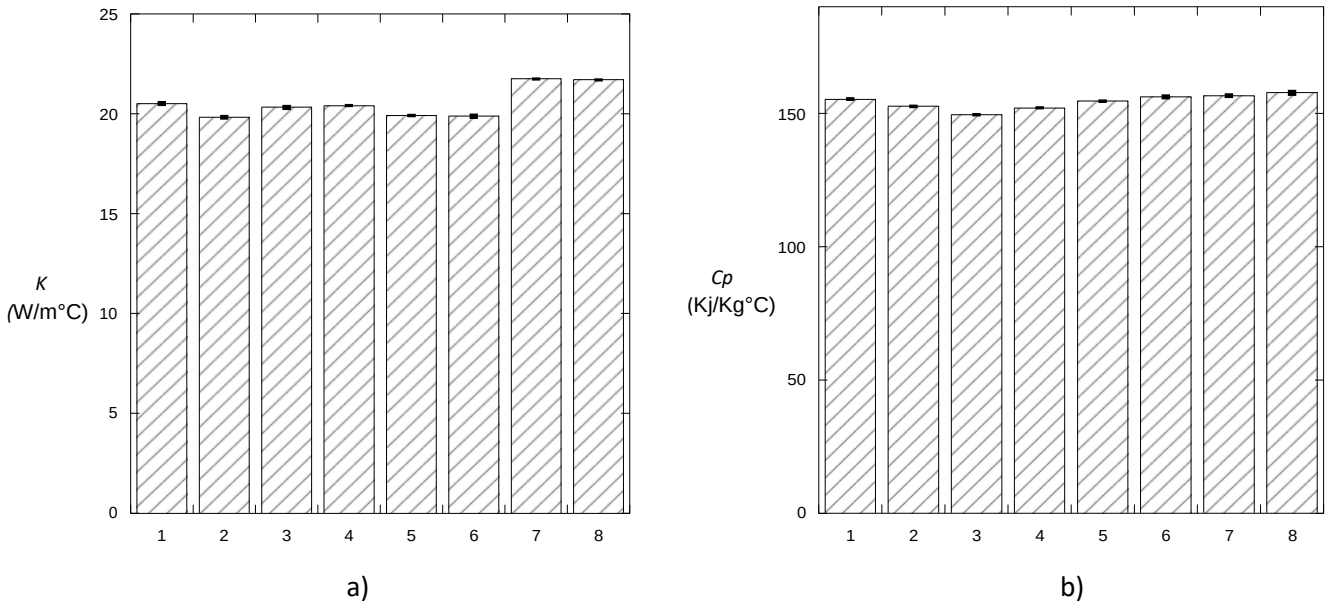


Figura 4. a) conductividad térmica y b) calor especifico del extracto liofilizado del grillo domestico

Trabajo futuro

Se propone llevar a cabo un estudio completo de almacenamiento de las muestras liofilizadas para obtener las mejores condiciones de almacenaje para las muestras, con el fin de conservar sus propiedades físicas y componentes, principalmente proteínas, de manera estable por mayor tiempo.

Conclusiones

A partir del análisis de los resultados discutidos anteriormente, se puede inferir, que el proceso de liofilización ha sido identificado como una propuesta altamente propicia para el tratamiento térmico del extracto de grillo doméstico (*Acheta domesticus*). Debido su alto porcentaje de proteína (40%) analizado en la presente investigación, el producto obtenido en su forma de harina, muestra ser una fuente alimentaria alternativa, el cual compite con las fuentes de alimento convencionales como el huevo, el cual contiene 12.56% de proteína. Si se hace la comparativa con fuentes de alimentos cárnicas como el pollo (17.44%) y la res (19.42%) [1] el extracto de grillo liofilizado sigue descantando, por encima de los demás.

Esta investigación presenta una recopilación de datos que aportan información útil para fomentar el procesamiento, consumo y comercialización de los grillos domésticos. Además, estos datos permiten visualizar un panorama acerca de la viabilidad económica y del potencial que este producto podría tener en el mercado. De esta manera, se abren nuevas oportunidades para la industria alimentaria y la generación de nuevos productos innovadores que satisfagan las demandas nutricionales de la población.

Referencias

1. Zielińska, E., Karaś, M., Jakubczyk, A., Zieliński, D., & Baraniak, B. (2019). Edible Insects as Source of Proteins. Reference Series in Phytochemistry, 389–441. doi:10.1007/978-3-319-78030-6_67
2. Igual, M., García-Segovia, P., & Martínez-Monzó, J. (2020). Effect of Acheta domesticus (house cricket) addition on protein content,colour, texture, and extrusion parameters of extruded products. Journal of Food Engineering, 1-7. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.1100327.
3. Fernandez-Cassi, X. Supeanu, A. Vaga, M. Jansson, A. Bodquist, S. & Vagsholm, I. (2019). The house cricket *(Acheta domesticus)* as a novel food: a Risk profile. *Journal of insects as Foos and Feed,* 137-157.
4. Zargozano J., F. (2018). Entomofagia: ¿una alternativa a nuestra dieta tradicional?
5. AppliChem, P. (s.f.). Determinación de Nitrógeno por el Método Kjeldahl. ITW Reagents.
6. Iturbe, F., & Sandoval, J. (2011). Análisis de Alimentos Fundamentos y Técnicas. México: UNAM.
7. Márques Siguas, B. M. (2014). Cenizas y grasas. Perú: Universidad Nacional de San Agustin.
8. S. V. Jangam, C. L. Law and A. S. Mujumdar, (2010) “Basic Concepts and Definitions of Drying of Foods, Vegetables ands Fruits”, vol. 1, Singapure.
9. Khatun, H., Claes, J., Smets, R., De Winne, A., Akhtaruzzaman, M., & Van Der Borght, M. (2021). Characterization of freeze-dried, oven-dried and blanched house crickets (Acheta domesticus) and Jamaican field crickets (Gryllus assimilis) by means of their physicochemical properties and volatile compounds. European Food Research and Technology, 247(5), 1291–1305. doi:10.1007/s00217-021-03709-x
10. Lucas-González, R., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2019). Effect of drying processes in the chemical, physico-chemical, techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from house cricket (Acheta domesticus). European Food Research and Technology. doi:10.1007/s00217-019-03301-4
11. Ugur, A. E., Bolat, B., Oztop, M. H., & Alpas, H. (2020). Effects of High Hydrostatic Pressure (HHP) Processing and Temperature on Physicochemical Characterization of Insect Oils Extracted from Acheta domesticus (House Cricket) and Tenebrio molitor (Yellow Mealworm). Waste and Biomass Valorization. doi:10.1007/s12649-020-01302-z

 ISSN: 2007 8102

Empaques para alimentos a base de Quitosano, Alginato y Pectina reforzados con cáscara de ajo

Irwin Rodrigo Dominguez Martinez[1], José Luis Rivera Armenta[1], Verónica Saucedo Rivlcoba[2] María Yolanda Chávez Cinco[1]*

[1] Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Madero jlriveraarmenta@itcm.edu.mx, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, veronica.saucedo@itstb.edu.

***Área de participación**: Ingeniería química*

Resumen
La investigación estudió el comportamiento que tienen las películas comestibles elaboradas a partir de polímeros biodegradables como matriz, añadiendo partículas de cascara de ajo como refuerzo para su uso en la industria alimentaria como empaque de alimentos, por lo tanto, éstas deben de cumplir con los requerimientos que se necesitan, por lo cual, se analizaron varios aspectos durante y después de la producción de las películas. Respecto a los análisis, éstos se realizaron en equipos especializados para su medición, por mencionar algunos son: la viscosidad, la cual permitió conocer el comportamiento de la mezcla formadora de películas, el análisis de espectroscopia permitió observar los grupos funcionales de los biopolímeros que conforman la película y observar si existía alguna interacción entre los polisacáridos. Mediante los análisis que se han hecho hasta el momento permitieron descubrir que un aumento de las partículas de cascara ajo aumenta la viscosidad y su rigidez.

***Palabras clave**: Películas, Refuerzo, Biopolímeros, Ajo*

Abstract
The research studied the behavior of edible films made from biodegradable polymers as matrix, adding garlic peel particles as reinforcement for use in the food industry as food packaging, therefore, they must meet the requirements that are needed, which is why several aspects were analyzed during and after the production of the films. Regarding the analyses, these were carried out in specialized equipment for their measurement, to mention a few: viscosity, which allowed to know the behavior of the film-forming mixture, spectroscopy analysis allowed to observe the functional groups of the biopolymers that make up the film and observe if there was any interaction between the polysaccharides. Through the analyzes that have been carried out up to now, it was possible to discover that an increase in the garlic peel particles increases the viscosity and its rigidity.

***Key words**: Films, Reinforcer, Bio-polymers, Garlic*

Introducción
En este trabajo, se elaborarán biopelículas a base de quitosano, alginato y pectina con partículas de ajo, posteriormente se realizarán técnicas de caracterización, además, del estudio de sus propiedades mecánicas y térmicas

El propósito se pretende encontrar materiales obtenidos a partir de la naturaleza que reduzcan el impacto al medio ambiente que satisfaga las necesidades de las películas de empaquetado de alimentos convencionales.

Entre los biomateriales utilizados se encuentra el quitosano, este polisacárido es extraído de los caparazones y conchas de algunos crustáceos, el cual es de los más utilizados en la actualidad que ha conseguido mucha relevancia en la actualidad por la amplia gama de aplicaciones que se le han encontrado en diferentes ramas como: la agricultura donde se utilizan empaques de quitosano para la conservación de semillas o como agente eliminador de hongos y bacterias, en el campo de la medicina se utiliza en tratamiento para heridas y abrasiones y en el área de la cosmetología en la fabricación de píldoras reductoras de peso, aditivo bactericida en jabones y champús, además de un agente hidratante por efecto del suministro de agua por medio de geles de quitosano. Por lo tanto, las propiedades que brinda este biomaterial es la protección frente a hongos y bacterias y baja toxicidad, su capacidad de generar un geles y película películas como recubrimiento.[1]

 ISSN: 2007 8102

En lo que respecta al alginato, este se obtiene en su mayoría de las algas marinas, el cual, le proporciona estabilidad y textura al alga. Hay diversas investigaciones que indican que tanto la ingesta de alginato como su uso en productos alimenticios es segura. Este biomaterial tiene una gran variedad de usos en la industria alimentaria como en la elaboración de helados debido a que es un agente estabilizante que impide la formación de cristales de hielo, provocando que la fusión del helado sea lenta, además de transmitirle el sabor y textura característico. Otro uso importante se observa en productos cárnicos, ya que el alginato posee propiedades aglutinantes que fomentan la unión de las piezas de carne al formar geles de alginato. Respecto a las películas de alginato, estas son efectivas en la conservación de alimentos poco procesados como el empaquetamiento de carnes de pescado, gracias a que ofrece protección contra el oxígeno, evitando así, la oxidación de los aceites presentes en el pescado.[2]

Las pectinas se extraen de manera comercial, de cascaras de fruta, como manzanas y cítricos. Estos forman parte de un grupo de polisacáridos con propiedades de gelificación, estabilización a las emulsiones, por lo tanto, tienen un gran rango de aplicación en la industria alimentaria, principalmente en la elaboración de mermeladas, ya que son buenos agentes gelificantes obteniendo así un gel con buenas propiedades en un proceso rápido. En el área farmacéutica, la pectina es utilizada como excipiente en la fabricación de pastillas y como agente de liberación de fármacos debido a su propiedad de formar hidrogeles, además, de tener gran biocompatibilidad con los seres vivos. [3,4,5]

Respecto al ajo, este es de las especies más importantes en el mundo. La cascara de ajo es un residuo orgánico global en la vida cotidiana y de fácil recolección de las industrias alimentarias. A pesar de que en su estructura la mayoría es celulosa (46%), una cantidad importante de cascara de ajo se desecha por el procesado de ajo. Por lo tanto, la cascara de ajo tiene potencial para ser explotado como un buen recurso biológico por sus compuestos azufrados, polifenoles y propiedades antimicrobianas, su valorización podría ser una forma rentable y ambientalmente responsable de eliminar los residuos. En un esfuerzo por valorizar los residuos, la piel de ajo se ha utilizado anteriormente para diferentes aplicaciones, como fuente de azufre para baterías de litio-azufre, preparación de carbón poroso jerárquico para supercondensadores y para biosorción de tungstato. Debido a lo novedoso que es este campo, hay pocos investigadores que han reportado sus avances en esta línea de investigación.

Metodología

Preparación de solución formadora de películas

Materiales

Los materiales que se emplearán para la elaboración de las películas son:
Quitosano extraído de caparazón de camarón con un porcentaje de des acetilación del 75%, Pectina extraída de manzana, Alginato de Sodio extraído de algas cafés, para las partículas de ajo se emplearán cáscaras de ajo de desechos provenientes de establecimientos de comida alrededor de la región. Todos los biopolímeros utilizados para la elaboración de las películas se manejarán a diversas concentraciones y son productos de la marca SIGMA-ALDRICH, todas las especificaciones que aparecen en el envase de los biopolímeros es lo mencionado por la marca. Para la elaboración de las soluciones se utilizará como solventes ácido acético glacial de la marca J.T. Baker en concentraciones diluidas al 2% en peso para soluciones de quitosano, se utilizará agua destilada de la marca Fermont para soluciones de alginato de sodio y pectina de manzana y como agente plastificante se utilizará glicerol de la marca Sinefarm en concentraciones de 0.5% en peso respecto a la mezcla de soluciones de biopolímeros.

Procedimiento

El procedimiento que se seguirá para la elaboración de las películas es el reportado por Del Ángel y col. [6], el cual, es una adecuación de metodologías ya estudiadas y publicadas. Este procedimiento consta de elaborar soluciones individuales de cada biopolímero a diferentes porcentajes en peso de concentración de acuerdo a la Tabla 1 que contiene dichos valores.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 1. Diseño de experimentos propuesto para la preparación de soluciones

Constante (% Peso)	Quitosano 2%	
Variable (% Peso)	Cáscara de ajo	
	0.01%, 0.05%, 0.1%	
	Pectina	Alginato
	0.1%	1%
	0.35%	1.5%
	0.5%	2%

Para la producción de la solución de quitosano al 2% se pesarán, mediante balanza analítica de la marca OHAUS con modelo PA214, la cantidad necesaria de biopolímero y se mezclara con una solución de ácido acético glacial-agua al 2%, agitándose a 300 RPM y a una temperatura de 60 °C por un período de tiempo de 60 minutos o hasta que se observe la completa disolución del quitosano y se dejara reposar por un día para la eliminación de burbujas generadas por la agitación.
Para las soluciones de alginato de sodio y pectina, el procedimiento será el mismo cambiando solamente el tipo de solvente, que en este caso corresponde a agua destilada manteniendo constante las mismas condiciones de agitación y temperatura, para estas soluciones no es necesario dejar reposarlas, ya que no generan burbujas tras la agitación.

Formación de películas por casting

Posterior a la elaboración de las diversas soluciones individuales de los biopolímeros, se procedió a preparar las mezclas de los tres biopolímeros en la misma proporción, la mezcla resultante se pasó por un procesador de alimentos con un tiempo de procesamiento de 10 minutos, esto es con el propósito de eliminar en gran medida la aparición de fibras como consecuencia del mezclado dándole una textura más uniforme a las películas, ya que esto afecta el espesor de la película, por lo que varían sus propiedades mecánicas. Después, la mezcla se transfirió a un matraz Kitasato conectado a una bomba de vacío de la marca Emerson modelo S55JXNHK-7106 y agitándose a 300 RPM en una parrilla marca IKA RH Digital con modelo RH D S001 durante 30 minutos para eliminar el exceso de burbujas de aire generadas en el procesamiento. Finalmente, mediante el método de casting se elaboraron las películas, se vertiendo 30 ml de la mezcla de biopolímeros y se mezclaran con 0.5% de glicerol, el cual se utilizó como agente plastificante, colocando la solución en una caja de Petri de vidrio. Para el proceso de evaporación del solvente se dejó la caja de Petri que contiene la mezcla de biopolímeros a temperatura ambiente (aproximadamente 23°C) por alrededor de 4 días o hasta observarse la completa evaporación del solvente. Finalmente, formada la película se retiró del molde y se procedió con las siguientes pruebas para su caracterización**.**

Técnicas de caracterización

Viscosidad

Para realizar la medición de la viscosidad, se utilizó un viscosímetro rotacional de la marca Brookfield modelo RVDV-II+P, el cual mide la viscosidad de la muestra a través del porcentaje de deformación de un resorte el cual está acoplado a una flecha a la que se le añade una geometría especifica dependiendo del tipo de viscosidad que presente la muestra a una velocidad fijada. Las condiciones para la medición de las soluciones de biopolímeros tanto de manera individual como mezcla de los 3 fueron de 0.3 a 100 rpm de velocidad a temperatura ambiente y a 60°C. Los resultados obtenidos serán comparados con los mostrados en el DMA para verificar la relación entre ambos análisis**.**

Análisis Dinámico Mecánico (DMA)

Para el análisis dinámico-mecánico se utilizó un equipo de la marca TA-Instruments modelo Q800, este análisis que está en función del tiempo y la temperatura sirvió para obtener los parámetros viscoelásticos de las películas. Las dimensiones de las películas en este equipo fueron 20 x 7.36 x 0.13 mm, sometiéndolas a

 ISSN: 2007 8102

condiciones de temperatura de -50 °C hasta 200 °C con una velocidad de calentamiento de 5 °C/min, empleando una mordaza tipo film.

Espectroscopia Infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR)

Esta técnica se realizó en un equipo de la marca Perkin Elmer modelo Spectrum One. Esta permite conocer los diversos grupos funcionales que constituyen las películas, además de saber si en el proceso de mezcla de biopolímeros o modelado de películas existe alguna interacción entre las especies involucradas de tipo químico o de entrecruzamiento. Las condiciones a las que se sometieron las películas serán a un barrido de 4000 a 600 cm^{-1}, con una cantidad de 12 escaneos con una resolución de $4cm^{-1}$ empleando un accesorio ATR de placa de selenuro de zinc, en un rango de 4000 a 600 cm^{-1}.

Resultados y discusión

Viscosidad

Antes de formar las películas se evaluó la viscosidad de las soluciones de la mezcla de biopolímeros a dos diferentes temperaturas con el propósito de conocer el comportamiento que sigue este tipo de material, ya que esta propiedad es importante debido a que controla el nivel al que puede cubrir una superficie, la capacidad que tiene la mezcla para esparcirse por el recipiente que la contiene, la facilidad con que el refuerzo se absorbe y se adhiere por la matriz, además de la uniformidad, microestructura y variación las propiedades mecánicas que tendrá la película [7].

Al realizarse el análisis a las soluciones formadoras que no contienen partículas de cáscara de ajo a las diferentes temperaturas, estas mostraron una tendencia donde si se aumenta la concentración de alguno de sus componentes la viscosidad disminuye como se observa en la Tabla 2, por lo tanto, de acuerdo con lo mencionado por Chakravartula y col. [7], una película con una alta concentración de partículas facilitará la mezcla y dispersión del refuerzo en la matriz, presentará una buena uniformidad y adherencia. Además, la temperatura es otro factor importante, ya que, al aumentar, la mezcla se volvió más viscosa debido a la presencia del complejo electrolítico que provoca la pectina a esa temperatura.

Tabla 2. Viscosidad dinámica [cP] de solución de Quitosano-Alginato-Pectina a diferentes concentraciones

QAP	(2, 1, 0.35) %w		(2, 1.5, 0.35) %w		(2, 2, 0.35) %w	
1/s	T=25°C	T=60°C	T=25°C	T=60°C	T=25°C	T=60°C
0.102	15,000	16,667	6,667	9,167	4,167	4,167
2.04	2,375	1,417	1,083	625	1,125	708.3
34	710	322.5	275	180	275	230

En lo que respecta al análisis de la viscosidad de las mezclas formadoras que contienen diferentes concentraciones de partículas de cáscara de ajo a diferentes temperaturas estas presentaron una diferencia en la tendencia respecto a la Tabla 2, como se observa en la Tabla 3, a medida que se aumentó la concentración de partículas de cáscara de ajo la viscosidad aumentó debido a que había más cantidad de material que dificultó el flujo de la mezcla y de igual manera que en la Tabla 2, al aumentar la temperatura la viscosidad aumentó.

Tabla 3. Viscosidad dinámica [cP] de solución de Quitosano-Alginato-Pectina (QAP) a diferentes concentraciones de partículas cáscara de ajo

QAP (2, 1, 0.35) %w						
Part. ajo	0.01%w		0.05%w		0.1%w	
1/s	T=25°C	T=60°C	T=25°C	T=60°C	T=25°C	T=60°C
0.102	20,000	20,000	20,833	51,667	45,000	31,667

 ISSN: 2007 8102

2.04	2,208	2,500	2,250	3,750	5,750	4,167
34	637.5	420	667.5	272.5	1,000	1,070

Cabe mencionar que de acuerdo con lo mencionado por Chakravartula y col. [7], para las películas comestibles, algunos autores mencionan que es recomendable que la mezcla formadora tenga un valor de viscosidad por debajo de los 700 cP para lograr un buen modelado de las películas. En este caso se alcanzó dicho valor a gradientes de velocidad altos. Además, mediante los datos obtenidos se determinó que el comportamiento de la solución formadora de películas es de carácter pseudoplastico ya que a gradientes de velocidad bajos la viscosidad alcanzó un valor alto conforme aumenta el gradiente de velocidad la viscosidad disminuyó.

Análisis Dinámico-Mecánico (DMA)

El análisis Dinámico-Mecánico permite conocer las propiedades mecánicas del material, por medio de la aplicación de una fuerza, el cual, determina el comportamiento viscoelástico del material mediante el módulo de almacenamiento determina la rigidez del material. De acuerdo a lo que se observa en la Figura 1, el cambio en la concentración de las especies que conforman la película no genera un cambio significativo en el módulo de almacenamiento de la película.

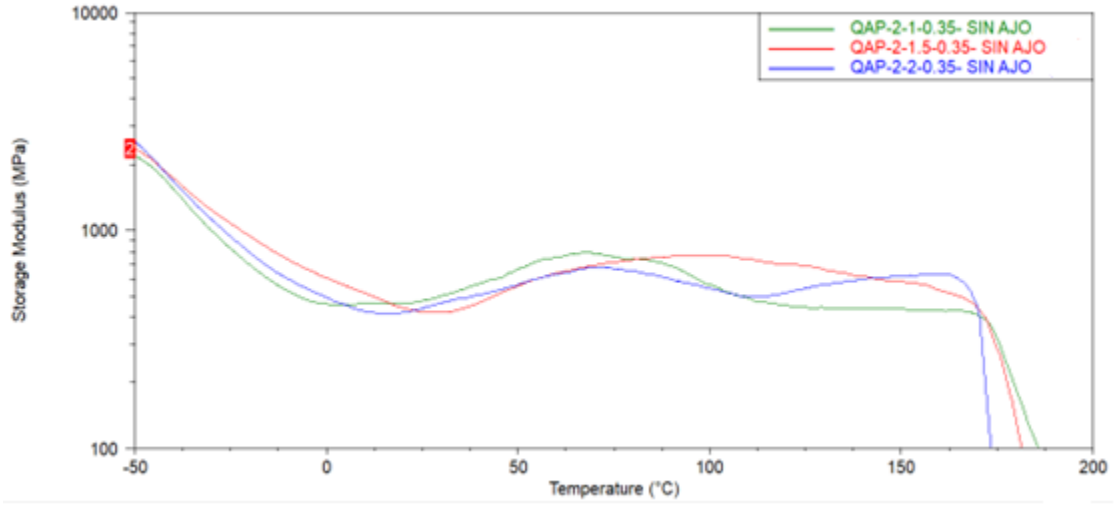


Figura 1. Termograma DMA de películas de Quitosano-Alginato-Pectina a diferentes concentraciones

Por otra parte, como se observa en la Figura 2, se observa un cambio considerable al reforzar las películas elaboradas a partir de biopolímeros, ya que se presenta la tendencia de que al aumentar la concentración de partículas cáscara de ajo el módulo de almacenamiento aumenta, esto concuerda con lo reportado por Escobar y col. [8] lo cual, se traduce en que la película se torna más rígida por lo cual es más resistente a la deformación en comparación a películas de la misma concentración, pero menor concentración de partículas de cáscara de ajo. Estos aumentos en el módulo de almacenamiento de la película se han observado también con la adición de un agente entrecruzante como el $CaCl_2$ debido a la fuerte interacción de esta especie con las cadenas del biopolímero que aumentan su rigidez, esto fue reportado por Saldívar y col [9].

 ISSN: 2007 8102

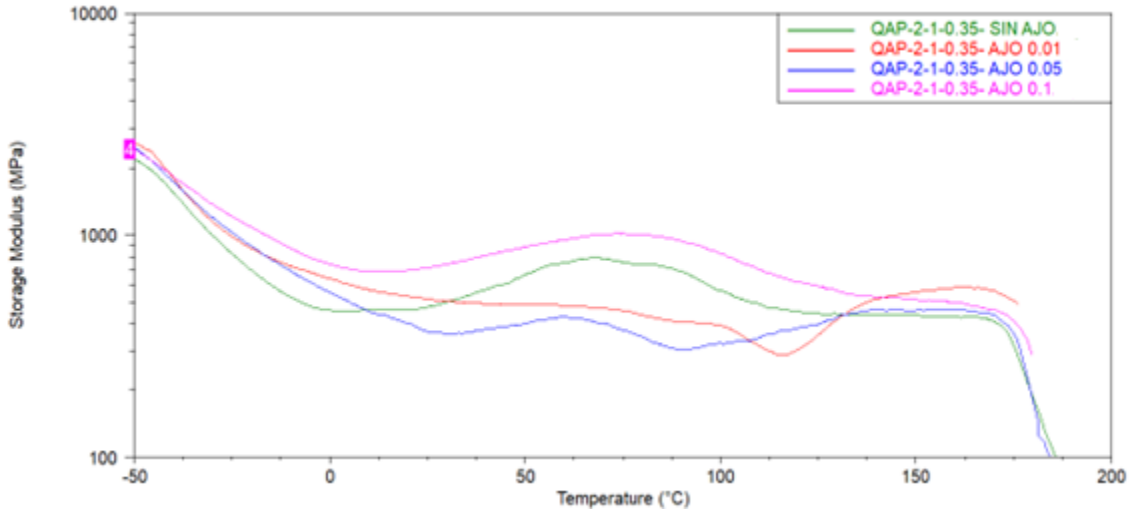


Figura 2. Termograma DMA de películas de Quitosano-Alginato-Pectina reforzadas con partículas de cáscara de ajo a diferentes concentraciones

Espectroscopia Infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR)

Se analizaron las películas de Quitosano-Alginato-Pectina (QAP) sin partículas de ajo en el equipo con el propósito de conocer los grupos funcionales presentes en el material, además de observar si en la estructura interna del material se presentó alguna interacción entre los diferentes componentes que la conforman, tales como una reacción química o entrecruzamiento.

De acuerdo a los análisis de los espectros FTIR de las películas a base de Quitosano-Alginato-Pectina, estos mostraron los grupos funcionales característicos de dichos biopolímeros, como se observa en la Figura 3 en el rango de 3274-3256 cm^{-1} se observaron los estiramientos de los grupos hidroxilo (O-H) y amino (N-H), la señal que se encuentra en el rango de los 2930 cm^{-1} corresponde a los estiramientos de los grupos C-H, las señales observadas tanto en el rango de 1600 cm^{-1} como en el rango de 1400 cm^{-1} con causadas a la presencia de grupos carboxilo (-COOH), como se observa, a medida que aumenta la concentración de alginato en la composición de la película, estas señales se vuelven más pronunciadas aumentando así la intensidad de la señal, las señales observadas en 1087 cm^{-1} y 1025 cm^{-1} son características de los enlaces manuronico y galacturónico los cuales conforman a las pectinas, ya que estos grupos están presentes en el 70% de la constitución de ellas.

Según con lo reportado por Pratiksha y col. [10], en el rango de 1733 cm^{-1} se observan los picos característicos pertenecientes a los grupos carbonilo que indican una reacción de entrecruzamiento entre la pectina con el ácido orgánico, en este caso no se observó en la Figura 3 dicha señal por lo tanto el ácido acético no causa una reacción de entrecruzamiento en la pectina.

Por otra parte, Jovanovíc y col. [11], reportaron que la adición de glicerol como agente plastificante causa un aumento drástico en las bandas alrededor de 3289 cm-1 y 3322 cm-1 (correspondiente a N-H y O-H) ampliando y aumentando la intensidad de esta, en este caso se ha observado el mismo comportamiento.

 ISSN: 2007 8102

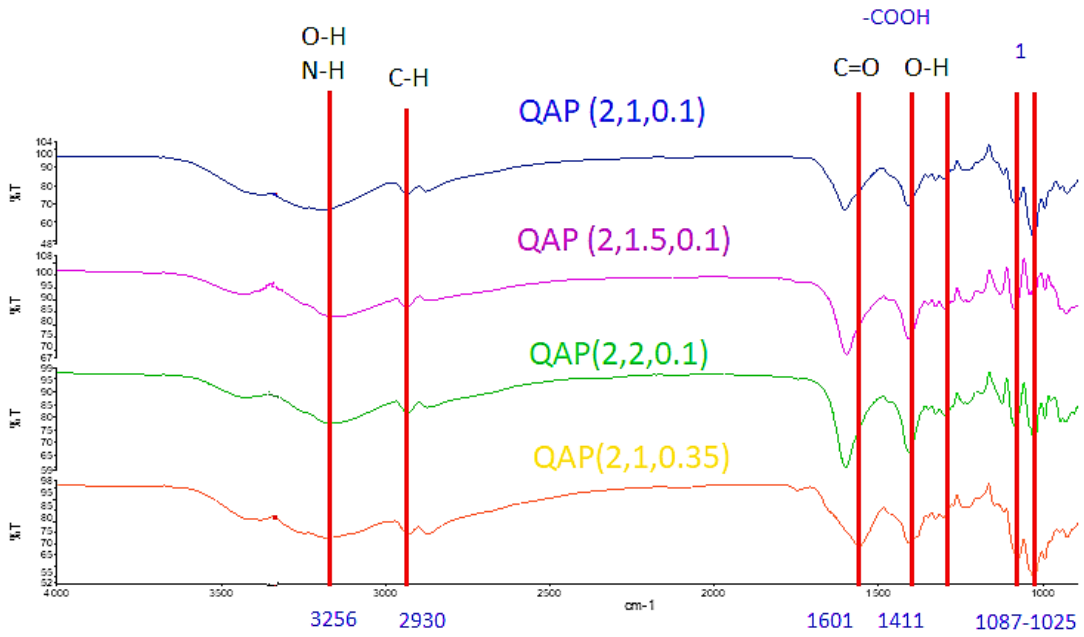


Figura 3. Espectro FTIR de películas de Quitosano-Alginato-Pectina a diferentes concentraciones
***1 Representa la señal de los grupos manuronico y galacturonico**

Trabajo a futuro

Aún quedan análisis por realizar como:

Análisis Termogravimétrico: El análisis se llevará a cabo en un equipo de la marca TA-Instrumentos modelo Q-600. El fundamento de esta técnica consiste en la descomposición del material a diferentes flujos de temperatura a determinados periodos de tiempo, este procedimiento se hace en ambientes inertes u oxidativos controlados. Las condiciones para el análisis serán pesar el equivalente a 10 mg de película y someterlas a temperaturas de 30-700 °C aumentando en 10 °C cada minuto en un ambiente inerte de nitrógeno que se estará suministrando 100 ml cada minuto, este permitirá conocer las fases de descomposición de las películas, a que rango de temperatura ocurren y si estas aumentan o disminuyen al variar tanto el contenido de biopolímeros como la concentración de partículas de cáscara de ajo.

Ángulo de contacto Esta técnica es utilizada para conocer la capacidad hidrofóbica de la película al observar el ángulo de deformación de una gota de agua al entrar en contacto con la película. El análisis se realizará en un equipo con modelo CAM-PLUS Series of Contact Angle Meters U.S. Patent #5.268.733 de la marca Cheminstruments donde se fijará la película y mediante una jeringa se dejara caer una gota de agua sobre ella, el equipo emitirá una luz perpendicular a la superficie de la película proyectando la forma de la sombra de la gota de agua, la proyección se aumentará y enfocará mediante una serie de lentes, finalmente se determinará el ángulo que presenta la gota de agua al entrar en contacto con la película.

Realizar pruebas de permeabilidad para conocer las propiedades de barrera de la película frente al vapor de agua, el oxígeno y dióxido de carbono.

Conclusiones

A partir de los análisis realizados hasta el momento al aumentar la concentración de las especies que conforman la matriz polimérica la viscosidad aumenta y esta disminuye al aumentar la concentración de partículas de cascara de ajo. En lo que respecta a las propiedades mecánicas de las películas estas no presentan algún cambio significativo en sus propiedades como el módulo de almacenamiento al variar la concentración de los polisacáridos, sin embargo, al variar la concentración de partículas de ajo la rigidez de la película aumenta. Los análisis de espectroscopia mostraron que no hay presencia de alguna interacción entre los biopolímeros.

ISSN: 2007 8102

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México, por el financiamiento clave 14312.22-P y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) No. De becario CONACYT: 812648

Referencias

[1] C. Lárez-Velásquez, “Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro.” Avances en Química, vol. 1, núm. 2, pp. 15-21, 2006

[2] G. Avendaño Romero, A. López Malo, E. Palou, “Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos.” Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos, vol. 7, núm. 1, pp. 87-97, 2013

[3] V. Rubiano González, M. Montaña Numpaque & N. da Silva Dias, “Pectinas: extracción, usos e importancia en la agroindustria.” Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Vol. 6 Núm. 5, 2022.

[4] M. Díaz-Ramírez, “Películas comestibles elaboradas con pectina de cáscara de piña”, Agro Productividad Vol. 11 Núm. 11, 2018.

[5] P. Mamani Crispín, R. Ruiz Caro, M. Dolores Veiga, “Pectina: Usos Farmacéuticos y Aplicaciones Terapéuticas”, Anales de la Real Academia de Farmacia, vol. 1, núm. 1, 2015

[6] F. Del Ángel Purata, “Películas para el recubrimiento de alimentos a base de pectina, alginato y quitosano.” Tesis de maestría en ciencias en ingeniería química, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, 2019

[7] S. S. N. Chakravartula, M. Soccio, N. Lotti, F. Balestra, M. Dalla Rosa y V. Siracusa, "Characterization of Composite Edible Films Based on Pectin/Alginate/Whey Protein Concentrate", Materials, vol. 12, n.º 15, pp. 2454, 2019

[8] Escobar Medina, M. “Preparación de películas a base de quitosano-alginato pectina reforzadas en partícula de ajo". Tesis de Ingeniería Química, Instituto Tecnológico de Ciudad madero, 2023.

[9] M. Saldívar Guevara, V. Saucedo Rivalcoba, J. Rivera Armenta, L. Elvira Torales. “Evaluation of a crosslinking agent in the preparation of films based on chitosan and pectin for food packaging applications", Cellulose Chemistry and Technology vol. 56, núm. 10, pp. 1061–70, 2022

[10] S. Pratiksha, P. Baisthakur y S. Yemul. "Synthesis, characterization and application of crosslinked alginate as green packaging material". Heliyon vol. 6, n.º 1, 2020

[11] J. Jovanović, J. Ćirković, A. Radojković, D. Mutavdžić, G. Tanasijević, K. Joksimović, G. Bakić, G. Branković, Z. Branković. "Chitosan and pectin-based films and coatings with active components for application in antimicrobial food packaging”, Progress in Organic Coatings, Vol 158, pp. 106349, 2021

 ISSN: 2007 8102

Efecto de un tostado en la composición bioquímica de la semilla de cachichín (*Oecopetalum mexicanum*)

Alejandro Esli Hernández-Mora [1], Adriana Contreras-Oliva [2], José Andrés Herrera-Corredor [3], Libia Iris Trejo-Téllez [4], Fernando Carlos Gómez-Merino [5].*

[1,2,3] Departamento de Innovación Agroalimentaria Sustentable. Laboratorio de Ciencia de los Alimentos Colegio de Postgraduados
Campus Córdoba, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.
hernandez.alejandro@colpos.mx [1]; adricon@colpos.mx [2]; jandreshc@colpos.mx [3].*
[4,5] Departamento de Ciencia de Suelos. Laboratorio de Nutrición Vegetal, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, México.
tlibia@colpos.mx [4]; fernandg@colpos.mx [5].

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

El cachichín (*Oecopetalum mexicanum*) es un árbol nativo de la Sierra de Misantla, Veracruz, México, cuyo fruto contiene una semilla comestible con valiosos componentes nutricionales y bioactivos. En consecuencia, el cachichín despierta interés debido a su potencial prometedor en términos nutricionales y medicinales. En la presente investigación se realizó una caracterización bioquímica de la semilla de cachichín, en forma cruda (T1) y bajo un tostado controlado (T2). De manera general, el T2 incrementó los niveles de azúcares totales en 0.6%, y de los azúcares reductores: glucosa y fructosa en 78 y 115%, respectivamente, en comparación con T1. En contraste, se observó una disminución de 2, 4 y 40% en la concentración de extracto etéreo, proteínas y aminoácidos en T2 con respecto a T1. Se ha demostrado a través del análisis bioquímico que las semillas de cachichín tanto crudas como tostadas, tienen un gran potencial para la industria alimentaria y farmacéutica.

***Palabras clave**: Metteniusaceae, cachichín, bioquímica, composición.*

Abstract

The cachichín (*Oecopetalum mexicanum*) is a tree native to the Misantla mountain range in Veracruz, Mexico. Its fruit contains an edible seed with valuable nutritional and bioactive components. Consequently, cachichín arouses interest due to its promising potential in nutritional and medicinal terms. In the present research, a biochemical characterization of the cachichín seed was carried out, in its raw form (T1) and under controlled roasting (T2). Overall, T2 increased the levels of total sugars by 0.6% and reducing sugars (glucose and fructose) by 78% and 115%, respectively, compared to T1. In contrast, a decrease of 2%, 4%, and 40% in the concentration of ether extract, proteins, and amino acids in T2 with respect to T1 was observed. Biochemical analysis has demonstrated that cachichín seeds, both raw and roasted, have great potential for the food and pharmaceutical industry.

***Key words**: Metteniusaceae, cachichín, biochemistry, composition.*

Introducción

En la actualidad, los consumidores buscan alimentos naturales que posean propiedades nutracéuticas; es decir, con potenciales efectos benéficos para la salud humana. Estos efectos positivos se atribuyen a la composición bioquímica de dichos alimentos, que ofrece un valor nutricional mejorado al contar con contenidos equilibrados de proteínas, carbohidratos, lípidos y compuestos antioxidantes [1]. La caracterización de alimentos ha sido un aspecto relevante en el progreso de la tecnología e innovación en la industria agroalimentaria. El conocimiento detallado de las propiedades físicas y químicas de un alimento es fundamental para desarrollar nuevos productos que proporcionen beneficios biológicos en la dieta tanto para seres humanos como para animales [2].

El fruto del cachichín, árbol botánicamente conocido como *Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps., perteneciente a la familia Metteniusaceae, alberga una semilla comestible de sabor amargo, presente en su hábitat natural desde el sureste de México hasta Guatemala [3]. En el estado de Veracruz, en la región de la Sierra de Misantla, se cultiva este árbol en varios municipios. La semilla de este árbol se comercializa en

 ISSN: 2007 8102

diferentes presentaciones, ya sea cruda, hervida o tostada, y se distribuye desde la localidad de Misantla hasta la ciudad de Xalapa [4]. El cachichín, considerado una botana saludable, ha sido asociado con propiedades hipoglucémicas que podrían tener potencial en el control de la diabetes [5]. Se han identificado distintos compuestos en las semillas no procesadas de cachichín, tales como saponinas, esteroles, cumarinas y ácidos grasos insaturados, que incluyen ácido oleico, ácido linoleico y ácido α-linolénico [6], los cuales pueden tener un efecto beneficioso en el control de enfermedades cardiovasculares [7].

No obstante, es esencial profundizar en el entendimiento de la composición química de las semillas de cachichín y examinar el impacto que los diferentes métodos de procesamiento térmico pueden tener en dicha composición. Esto permitirá determinar cómo estos tratamientos pueden influir en el efecto benéfico de la semilla en términos de salud. El objetivo principal de este estudio fue realizar una caracterización bioquímica de las semillas de cachichín en su estado natural y sometida a un tostado controlado bajo condiciones precisas en el laboratorio.

Metodología

Obtención de la muestra

Se evaluaron semillas de cachichín en estado crudo y bajo un tostado a condiciones controlada. Las muestras fueron obtenidas de comerciantes locales del municipio de Misantla, Veracruz, México. El tratamiento térmico de tostado controlado se realizó con semillas crudas de los mismos sitios, en una cacerola de aluminio casera y una parrilla de calentamiento (SP131015Q, Thermo-Scientific, MA, EE. UU.) a 134 °C por 25 min [8].

Para los principales análisis de este estudio, las muestras de semilla fueron secadas por 72 h en una estufa de aire forzado a 72 °C (HCF-125, Riossa; Guadalajara, México). Posteriormente, las muestras fueron molidas en mortero y tamizadas a malla No. 1, con el fin de obtener una muestra homogénea.

Determinación de azúcares totales

La determinación se realizó utilizando el método de antrona (modificación del protocolo de Yemm & Willis, 1954 [9]. En matraces Erlenmeyer de 125 mL, se colocó 1 g de muestra de semilla de cachichín previamente molida dentro, y se agregaron 50 mL de etanol 80 % y cuatro perlas de ebullición. Los matraces fueron colocados en una parrilla de calentamiento (SP131015Q, Thermo-Scientific; Waltham, MA, EE. UU.) a una temperatura 85 °C hasta que se obtuvo un volumen igual o inferior a 20 mL. La muestra se dejó enfriar, se filtró con embudos de plástico de tallo corto colocados en frascos de 20 mL llevados a un aforo de 20 mL con etanol 80 % y dejando reposar durante toda la noche en refrigeración a una temperatura de -20 °C.

Al día siguiente se agregó 1 mL de solución predigestada en matraces Erlenmeyer de 25 mL y se llevó a sequedad en baño María. Posteriormente se añadieron 20 mL de agua destilada y tomando una alícuota de 1 mL de la solución anterior, se colocó en un tubo de ensaye agregando 2 mL de agua destilada y 6 mL de antrona (0.60 g de antrona disueltos en 100 mL de ácido sulfúrico). Se agitó vigorosamente dentro de un contenedor con hielos y después los tubos fueron colocados durante 3 min a 85 °C en baño María. Una vez terminado el tiempo de reacción, se retiraron los tubos y nuevamente fueron colocados en el contenedor con hielos con motivo de frenar la reacción de antrona. Se agregó 1 mL de la solución anterior a una celda para espectrofotómetro. Las lecturas se obtuvieron a una longitud de onda de 600 nm mediante un espectrofotómetro (6715 UV/Vis, Jenway, Staffordshire, Reino Unido). Los resultados fueron expresados en microgramos de azúcares totales por gramo de semilla de cachichín (μg g^{-1}), se realizó una curva de calibración con sacarosa ≥ 95 %, marca Sigma-Aldrich (Saint Louis, MO, EE. UU.).

Determinación de azúcares reductores

La cuantificación de carbohidratos reductores se realizó siguiendo la metodología de Marín-Garza (2018) [10], utilizando un equipo HPLC (Dionex ICS 3000 equipado con un detector electroquímico, columna CarboPac PA1 2 × 250 mm, ThermoFisher) con un flujo isocrático de 0.5 mL min^{-1}, utilizando agua grado HPLC como fase móvil y NaOH 300 mM para la reacción electroquímica postcolumna. Para la extracción se pesaron 30 mg de semilla de cachichín previamente molida y se le añadieron 50 mL de ácido clorhídrico 1 N. La solución se mantuvo a 92 °C, por 2.5 h agitando cada 30 min, después se aforaron a 100 mL, se tomó una alícuota de 5 mL y se llevó a aforo de 100 mL. Se tomó una alícuota de 10 mL y se pasó a través de un filtró con una membrana de 0.45 μm. El volumen de inyección fue de 25 μL. Los resultados se expresaron como miligramos de azúcar reductor por cada gramo de semilla de cachichín (mg g^{-1}). Se realizó una curva de calibración con estándares de arabinosa, galactosa, glucosa, xilosa y fructuosa ≥ 95 % (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EE. UU.).

ISSN: 2007 8102

Determinación de aminoácidos totales

La determinación de aminoácidos totales se realizó por método de ninhidrina (descrita por Moore y Stein en 1954 [11]; modificado por Sun y colaboradores en 2006) [12]. Se pesaron 20 mg de semilla de cachichín previamente molida y se colocaron en un tubo de microcentrífuga de 2 mL. Se tomaron 500 µL de la extracción triple con etanol y se mezclaron con 500 µL de la solución tampón de citrato de sodio (16 mM)-ácido ascórbico (34 mM) al 0.2 % (p/v), pH de 5.2 y 1,000 µL de ninhidrina (añadieron 1 %; p/v) en etanol al 70 % (v/v). Tras incubar a 95 °C (20 min) y dejarlas enfriar a temperatura ambiente, las muestras se leyeron en un espectrofotómetro 6715 UV/Vis (Jenway; Staffordshire, Reino Unido) a 570 nm. Los resultados se expresaron como nanogramos de aminoácidos por cada gramo de semilla de cachichín (ng g^{-1}). Se realizó una curva de calibración con estándar de leucina ≥ 95 % (Sigma-Aldrich; St. Louis, MO, EE. UU.).

Determinación de proteínas totales

La determinación se realizó utilizando el método de negro amido [13]. Se pesaron 500 mg de semilla de cachichín que se colocaron en morteros previamente enfriados. En seguida se añadieron 2 mL de solución amortiguadora de homogenización, 20 µL de fluoruro de fenilmetilsulfonilo (PMSF), 8 µL de 1,4-ditiotreitol (DDT), una pizca de polivinilpirrolidona (PVP 40), una pizca de ditioinito de sodio y se procedió a macerar hasta obtener un extracto líquido. Posteriormente se traspasó a un tubo de microcentrífuga de 2 mL, centrifugando a 4 °C y a 10,000 rpm por 15 min. Se colocó 1 mL de la fase líquida obtenida, 500 µL de fenol, 20 µL de β-mercaptoetanol en un tubo de microcentrífuga de 2 mL incubado en hielo durante 30 min y con agitación vigorosa cada 10 min con vórtex. Una vez transcurridos los 30 min, el tubo fue centrifugado a 14,000 rpm durante 5 min a 4 °C y se procedió a eliminar la fase líquida (parte superior). Se añadieron a la fase restante 1.2 mL de etanol-glicerina, 13 µL de solución de acetato de amonio 75 mM para posteriormente agitar en vórtex vigorosamente y refrigerar a -20 °C durante 12 h.

Al día siguiente las muestras fueron centrifugadas a 14,000 rpm durante 15 min a 4 °C; la fase superior resultante fue eliminada y a la restante se añadió 1 mL de etanol-glicerina. Se procedió a centrifugar nuevamente a 14,000 rpm durante 15 min 4 °C, desechando la fase líquida de manera recurrente y finalmente la muestra en el tubo se secó con papel absorbente. Añadimos a la fase sólida 500 µL de derivado de poli(fluoreno-alt-fenileno) (PFBx) 2 µL de iodacetamida con agitación vigorosa entre adición de reactivos e incubamos a baño maría durante 5 min a 100 °C. Posteriormente se añadieron 5 µL de DDT y por último se incubó a 100 °C por 1 min.

Para llevar a cabo la cuantificación de proteínas se ocupó una membrana de nitrocelulosa cuadriculada de 1.5 x 1.5 cm de cada lado, aplicando 5 µL de muestra en cada cuadro que posteriormente fue depositado en un recipiente con metanol al 50 % (cubriendo la membrana) y con agitación continua en un agitador vaivén (Heavy Duty Shaker Cat. 6000, Eberbach; Van Buren Charter Township, MI, EE. UU.) durante 5 min. Terminado el tiempo se removió el metanol y se añadió negro amido (cubriendo la membrana) durante 5 min en agitador vaivén (Heavy Duty Shaker Cat. 6000, Eberbach), posteriormente se decantó el negro amido y se realizaron tres enjuagues con metanol al 50 % durante 5 min en cada repetición.

Determinación de grasa cruda (extracto etéreo)

La determinación de porcentaje de fibra grasa cruda se realizó por el método de la AOAC (2005) [14]. Se pesaron 2 g de semilla de cachichín, previamente molida en dedales de celulosa, que fueron introducidos a un portadedal de vidrio. Posteriormente, los portadedales fueron colocados en los soportes metálicos del aparato de Goldfish, y en la parte inferior fueron colocados vasos-Goldfish de 205 mL previamente pesados e identificados. Se añadieron 30 mL de éter de petróleo como solvente apolar y se dejaron a reflujo durante 6 h. Transcurrido el tiempo, los dedales fueron retirados, se realizó la recuperación de solvente, se colocaron los vasos bajo campana durante 30 min y se colocaron en estufa de secado a 110 °C durante el resto del día. Al día siguiente se registró el peso final de los vasos.

Los cálculos de porcentaje de grasa fueron los siguientes:

$$\%\ Extracto\ etéreo\ = \frac{(W0 - W1)}{peso\ de\ muestra} * 100$$

Donde:

 ISSN: 2007 8102

W0: Peso de vaso vacío en g

W1: Peso de vaso con muestra final en g

Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental completamente al azar. Los datos fueron procesados mediante el software estadístico RStudio versión 1.2.5033, para lo cual se realizó un análisis de varianza (ANOVA), con el fin de determinar diferencias significativas con un nivel de confianza del 95 % ($P \leq 0.05$) mediante la prueba Tukey. Las propiedades bioquímica y proximal evaluadas se presentaron como el promedio de seis mediciones.

Resultados y discusión

El T2 incrementó significativamente en las semillas las concentraciones de los azúcares reductores glucosa y fructosa en 78 y 115%, respectivamente, en comparación con T1. De la misma manera, T2 incrementó la concentración de azúcares en 0.6%, con respecto a T1; empero, esta diferencia no fue significativa. En contraste, T2 redujo la concentración de aminoácidos en 40%, con respecto a T1. Asimismo, T2 ocasionó incrementos en las concentraciones de extracto etéreo y de proteínas en 2 y 4%, respectivamente, que T1; sin embargo, éstos no son significativos (Tabla 1).

Tabla 1. Concentración de azúcares totales, azúcares reductores, proteínas y aminoácidos en semilla de cachichín (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & C.H. Thomps.) en estado crudo y bajo un tostado controlado.

Tratamiento	Azúcares totales	Azúcares reductores	
		Glucosa	Fructosa
	µg g^{-1} PBF	mg g^{-1} PBS	
Crudo (T1)	488 ± 28.53 a	1.67 ± 0.08 b	1.20 ± 0.06 b
Tostado controlado (T2)	491 ± 12.69 a	2.97 ± 0.14 a	2.57 ± 0.14 a

Tratamiento	Proteínas	Extracto etéreo	Aminoácidos
	mg g^{-1} PBS		ng g^{-1} PBS
Crudo (T1)	95.46 ± 2.15 a	402.22 ± 4.59 a	430.71 ± 20.13 a
Tostado controlado (T2)	91.68 ± 1.59 a	391.99 ± 3.99 a	258.86 ± 15.32 b

Media ± EE con letra distinta en cada variable indican diferencia estadística (Tukey, $P \leq 0.05$). Peso de biomasa fresca (PBF). Peso de biomasa seca (PBS).

El tratamiento de tostado (T2) bajo condiciones controladas (25 min a 134 °C), afectó diferencialmente la composición bioquímica de la semilla de cachichín; específicamente, conserva estable la concentración de carbohidratos totales, lo cual garantiza el aporte energético durante su consumo [15]. Así mismo, la concentración proteica no presenta cambios significativos con respecto a semilla en estado crudo. En la actualidad, el uso de tratamientos térmicos en la comercialización de alimentos es una práctica muy común en México, mejorando sabor y consistencia [16]. Sin embargo, a pesar de conservar la concentración proteica, hay probabilidad de cambio organizacional o estructural en las macromoléculas dentro del espacio intra o extracelular, ya que se ha reportado que la adición de calor provoca un rompimiento en algunos enlaces peptídicos de las proteínas, causando la pérdida de estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria, disminuyendo su valor nutricional [17].

El extracto etéreo (Tabla 1) en tostado controlado (T2), mantiene valores promedios cercanos a los reportados anteriormente en semilla de cachichín en estado crudo [18]. En estudios similares, dentro del extracto etéreo podemos encontrar ácidos orgánicos [19] y más específicamente ácidos grasos saturados como ácido palmítico

y ácido esteárico; así como también, ácidos grasos insaturados como ácido oleico, ácido linoleico y ácido linolénico, de acuerdo con lo reportado por Hernández y colaboradores en 2013 [6].
Por otro lado, la concentración de azúcares reductores y aminoácidos en semillas se ve afectada durante un proceso térmico [20]. En la semilla de cachichín, la glucosa y la fructosa incrementaron debido al rompimiento de los polisacáridos contenidos en la semilla [21], liberando una mayor concentración de monosacáridos en tostado controlado. Al mismo tiempo, las concentraciones de aminoácidos son inversamente proporcionales en tostado controlado, indicando que la reacción de Maillard se llevó a cabo [20].

La acumulación de azúcares reductores da como resultado la interacción entre diversas vías metabólicas, entre las que destacan se encuentra la de sacarosa catalizada por invertasa (Inv) y sacarosa sintasa (SuSy) [22]. Las Inv son *β* -fructofuranosidasas que catalizan la hidrólisis irreversible de sacarosa a glucosa y fructosa. [23] Por lo tanto, desde el punto de vista bioquímico, la semilla de cachichín contiene una amplia gama de biomoléculas ubicadas y distribuidas en sus diferentes compartimentos celulares. Así mismo, el alto contenido lipídico es una característica de las semillas oleaginosas, y la semilla de cachichín ha mostrado un alto contenido de estas biomoléculas lipídicas [6, 8, 24-27].

La reacción de Maillard son reacciones químicas entre aminoácidos, péptidos o proteínas libres y compuestos carbonilo, dando resultado productos complejos [28]. Las propiedades funcionales de las proteínas se pueden mejorar mediante la unión covalente con polisacáridos y azúcares más pequeños [29]. Estudios han demostrado que la reacción de Maillard se puede aplicar a las proteínas o a los hidrolizados de proteínas y mejorar su solubilidad, emulsificación y estabilidad térmica [30].

El tostado se aplica para dar sabor, color y textura crujiente, distintiva de un tostado en semillas alimenticias [31]. En estudios previos, se ha demostrado que un tratamiento térmico a temperaturas mayores a 125 °C durante 10 a 20 minutos, facilita la generación de compuestos orgánicos que dan un sabor tostado, color marrón y textura crujiente en semillas [32]. Así mismo, el tostado es esencial para desnaturalizar las proteínas y degradar la estructura de la matriz vegetal para liberar el aceite [33], mientras que un tostado sin condiciones controladas, y con altas temperaturas influirá negativamente en la concentración de ácidos grasos insaturados de la semilla.

Trabajo a futuro

Dentro de este grupo de trabajo, se han llevado a cabo exhaustivas investigaciones acerca de la composición de la semilla de cachichín, mediante estudios de caracterización anatómica, histoquímica, bioquímica, fenólica, nutrimental y hormonal. Estas investigaciones han suscitado un gran interés en los posibles usos y aplicaciones que la semilla podría tener en la industria alimentaria y farmacéutica. En adelante, nos enfocaremos en estudiar el efecto de su composición bioactiva sobre modelos biológicos asociados a síndrome metabólico; esto nos brindará un nuevo y valioso conocimiento científico acerca de los posibles efectos que podría tener el consumo de la semilla o su aceite en la dieta diaria. Con estos avances, esperamos contribuir significativamente al campo de la ciencia y ofrecer perspectivas prometedoras para su uso potencial en la mejora de la salud y bienestar humano.

Conclusiones

En conclusión, el tostado a condiciones controladas (25 minutos a 134 °C) demostró mantener concentraciones estables para azúcares totales, proteínas y extracto etéreo, con respecto a semillas en estado crudo; mientras que incrementó las concentraciones de azúcares reductores (glucosa y fructosa) y disminuyó aminoácidos. Estos resultados sugieren que el tostado no solo mejora el aroma, sabor y textura de las semillas, sino que también puede tener efectos sinérgicos en la composición bioquímica, haciéndolas más adecuadas para su inclusión en la dieta diaria. Estos hallazgos aportan información relevante sobre el potencial nutricional y las implicaciones del procesamiento térmico en las semillas de cachichín, lo cual podría despertar el interés de la industria alimentaria y farmacéutica para futuras aplicaciones.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento por la colaboración brindada del laboratorio de "Nutrición Animal" del Programa de Ganadería a cargo de la Dra. María Magdalena Crosby Galván, así como al Área de "Nutrición Vegetal" del Programa de Edafología bajo la dirección de la Dra. Libia Iris Trejo-Téllez, ambos pertenecientes al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Su apoyo y contribución fueron fundamentales para el desarrollo

de este estudio. También agradecemos el apoyo fundamental durante el proceso experimental a la Dra. María Guadalupe Peralta Sánchez y a la M. en C. Gabriela Abigail Guzmán Báez.

Referencias

[1] M.D.L.L. Cádiz-Gurrea, M.D.C. Villegas-Aguilar, F.J. Leyva-Jiménez, S. Pimentel-Moral, A. Fernández-Ochoa, M.E. Alañón and A. Segura-Carretero. "Revalorization of bioactive compounds from tropical fruit by-products and industrial applications by means of sustainable approaches". *Food Research International,* no. 138(Part B), pp. 109786, 2020 https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109786.

[2] C. Caleja, A. Ribeiro, M. Filomena-Barreiro and I. CFR-Ferreira. "Phenolic compounds as nutraceuticals or functional food ingredients". *Current Pharmaceutical Design,* vol. 23, no. 19, pp. 2787–2806, 2017 https://doi.org/10.2174/1381612822666161227153906.

[3] H.A. Hernández-Urban, D.F. Angulo, M. Lascurain-Rangel, S. Avendaño-Reyes, L.L. Can, G.W. Stull and R. Duno de Stefano. "Systematics and phylogeny of *Oecopetalum* (Metteniusaceae), a genus of trees endemic to North and Central America". *Revista de Biología Tropical*, vol. 67, no. 4, pp. 888–900, 2019 http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v67i4.33367.

[4] M. Lascurain, S. Avendaño, C. López, J.C. López and M. Covarrubias. "Ecological, productive and cultural values of cachichin (*Oecopetalum mexicanum*): an edible wild fruit from Veracruz, Mexico". *BGjournal*, vol. 9, no. 2, pp. 13–16, 2012 https://doi.org/10.1016/S0167-8809(96)01124-3.

[5] M. Lascurain, C. López-Binnqüist and M.R. Emery. "Culture and environment in the Sierra de Misantla, Veracruz, Mexico: the case of *Oecopetalum mexicanum*". *Maderas y Bosques*, vol. 22, no. 3, pp. 11–21, 2016 https://doi.org/10.21829/myb.2016.223489.

[6] B. Hernandez, G. Luna, O. García, M.R. Mendoza, E. Azuara, C.I. Beristain and M. Jimenez. "Extraction and characterization of *Oecopetalum mexicanum* seed oil". *Industrial Crops and Products*, vol. 43, pp. 355–359, 2013 https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.07.022.

[7] M.G. Campos-Mondragón, R.M. Oliart-Ros, A. Martínez-Martínez, G.F. Méndez-Machado and J.O. Angulo-Guerrero. "Metabolic syndrome reversion by polyunsaturated fatty acids ingestion". *Medicina Clínica*, vol. 141, no. 12, pp. 513–518, 2013 https://doi.org/10.1016/j.medcli.2012.10.030.

[8] A.E. Hernández-Mora, M. Castillo-Morales, E.A. García-Montalvo and E. Flores-Andrade. "Prueba de toxicidad aguda-oral del aceite de la semilla *Oecopetalum mexicanum* en ratones BALB/c". *Journal CIM*, vol. 5, no. 2, pp. 1043–1050, 2017.

[9] E.W. Yemm and A.J. Willis. "The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone". *Biochemical Journal*, vol. 57, no. 1, pp. 508–514, 1954 https://doi.org/10.1042/bj0570508.

[10] T. Marín-Garza, F.C. Gómez-Merino, N. Aguilar-Rivera, J. Murguía-González, L.I. Trejo-Téllez, M.C. Pastelín-Solano and O. Castañeda-Castro. "Composición bioactiva de hojas de café durante un ciclo anual". *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 41, no. 4, pp. 365-372, 2018 https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4.365-372.

[11] S. Moore and W.H. Stein. "A modified ninhydrin reagent for the photometric determination of amino acids and related compounds". *Journal of Biological Chemistry*, vol. 211, no. 2, pp. 907–913, 1954.

[12] S.W. Sun, Y.C. Lin, Y.M. Weng and M.J. Chen. "Efficiency improvements on ninhydrin method for amino acid quantification". *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 19, no. 2–3, pp. 112–117, 2006 https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.04.006.

[13] R. Höfner, L. Vázquez-Moreno, A.A. Abou-Mandour, J.H. Bohnert and J. Schmitt. "Two isoforms of phosphoenolpyruvate carboxylase in the facultative CAM plant *Mesembryanthemum crystallinum*". *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 27, pp. 803–810, 1989.

[14] AOAC. "Official Methods of Analysis of the Association of Official". *Published by the Association of Official Agriculture Chemist*. Washington, D.C. 18th edition, Chapter 4, 2005.

[15] J.L. Sievenpiper. "Low-carbohydrate diets and cardiometabolic health: the importance of carbohydrate quality over quantity". *Nutrition Reviews*, vol. 78, pp. 69–77, 2020 https://doi.org/10.1093/nutrit/nuz082.

[16] C.D.C. Quintero-Hilario, F. Esparza-Torres, M.D.R. García-Mateos, M.C. Ybarra-Moncada and L. Hernández-Ramos. "Effect of roasting on the nutritional value and antioxidant components of Maya nut (*Brosimum alicastrum*: Moraceae)". *Revista Chapingo Serie Horticultura*, vol. 25, no. 3, pp. 199–212, 2019 https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2019.03.007.

[17] A. Gil-Hernández A. "*Tratado de nutrición – Tomo II: Composición y calidad nutritiva de los alimentos"*. España: Editorial Médica Panamericana, 2010.

[18] E. Chávez-Quiñones. "*Plantas comestibles no convencionales en Chiapas"*. UNICACH, 2010 https://hdl.handle.net/20.500.12753/935.

[19] S. Shahidi, Y. Maziar and N.Z. Delaram. "Influence of dietary organic acids supplementation on reproductive performance of freshwater Angelfish (*Pterophyllum scalare*)". *Global Veterinaria*, vol. 13, no. 3, pp.373–377, 2014 http://www.idosi.org/gv/gv13(3)14/15.pdf

[20] M. Nooshkam, M. Varidi and M. Bashash M. "The Maillard reaction products as food-born antioxidant and antibrowning agents in model and real food systems". *Food Chemistry*, vol. 275, pp. 644–660, 2019 https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.083.

[21] Z. Liu, Y. Fu, F. Zhang, Q. Zhao, Y. Xue, J. Hu and Q. Shen. "Comparison of the molecular structure of heat and pressure-treated corn starch based on experimental data and molecular dynamics simulation". *Food Hydrocolloids*, vol. 125, pp. 107371, 2022 https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107371.

[22] T. Sakamoto, D. Masuda, K. Nishimura, Y. Ikeshita. "Relationship between invertase gene expression and sucrose concentration in the tuberous roots of sweet potato (Ipomoea batatas L. Lam.) during cold storage". The Journal of Horticultural Science and Biotechnology,Vol 89, no 2, pp. 229-235, 2014 10.1080/14620316.2014.11513073

[23] Wan, L. Wu, Y. Yang, G. Zhou, Y.-L. Ruan. "Evolution of sucrose metabolism: The dichotomy of invertases and beyond". Trends in Plant Science, Vol 28, no 2, pp. 163-177, 2018 10.1016/j.tplants.2017.11.001

[24] S.L. Ovando-Chacón, G.E. Ovando-Chacón, D.A. Borraz-Castañeda and R. Meza-Gordillo. "Optimización de la extracción acuosa enzimática del aceite de *Oecopetalum mexicanum*". *Espacio I + D: Innovación más Desarrollo*, vol. *7*, no. 18, pp. 71–91, 2018 https://doi.org/10.31644/IMASD.7.2018.a04.

[25] S.L. Ovando-Chacón, B. Nolasco-Arroyo, M.A. Abud-Archila and G. Ovando-Chacón. "Extracción enzimática del aceite de *Jatropha curcas* L., *Oecopetalum mexicanum* y *Pistacia vera*". *Agroproductividad*, vol. 11, no. 7, pp. 15–19, 2018.

[26] M.A. Ramirez-Niño, J. Jiménez-Forero, J.P. Bernal-Salazar and M.D. Osorio-Dueñas. "Characterization of oil extracted from the kernel of the fruit of cumare's palm (*Astrocaryum chambira* Barret)". *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, vol. 71, no. 1, pp. 8415–8422, 2018 https://doi.org/10.15446/rfna.v71n1.69589.

[27] A.E. Hernández-Mora, L.I. Trejo-Téllez, A.S. Hernández-Cázares, A. Contreras-Oliva and F.C. Gómez-Merino. "Cachichín seed (*Oecopetalum mexicanum* Greenm. & CH Thomps.): Source of nutrients and bioactive compounds". *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, vol. 1, no. 2, pp. 57-69, 2021 https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2021.02.05.

[28] A.E.F. de Oliveira, J. Coimbra, E. de Oliveira, A. Zuñiga, E. Rojas. "Food protein-polysaccharide conjugates obtained via the Maillard reaction: A review". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 56, no 7, pp. 1108-1125, 2016 10.1080/10408398.2012.755669

[29] M. El-Salam, S. El-Shibiny. "Glycation of whey proteins: Technological and nutritional implications". *International Journal of Biological Macromolecules*, vol 112, pp. 83-92, 2018 10.1016/j.ijbiomac.2018.01.114

[30] M. El-Salam, X. Shen, C.H. Zhao, M.R. Guo. "Effects of high intensity ultrasound on acid-induced gelation properties of whey protein gel Ultrasonics Sonochemistry", vol. 39, pp. 810-815, 2017 10.1016/j.ultsonch.2017.05.039

[31] M. El-Salam, N.G. Taş, V. Gökmen. "Maillard reaction and caramelization during hazelnut roasting: a multiresponse kinetic study". *Food Chem.,* vol, 221, pp. 1911-1922, 2017 10.1016/j.foodchem.2016.11.159

[32] M. R. Perren, F. Escher. "Impact of roasting on nut quality in: Improving the Safety and Quality of Nuts", *Elsevier*, pp. 173-197, 2013 10.1533/9780857097484.2.173

[33] M. J. Ji, Y. Liu, L. Shi, *et al.* "Effect of roasting treatment on the chemical composition of sesame oil". *LWT*, vol. 101, pp. 191-200, 2019 10.1016/j.lwt.2018.11.008

 ISSN: 2007 8102

Composición química, perfil fitoquímico y color de harinas del frijol negro Jamapa (*Phaseolus vulgaris*) germinado

María Elena Manuel-Pérez, Betsabé Hernández-Santos, Jesús Rodríguez-Miranda, Enrique Ramírez-Figueroa, Juan Gabriel Torruco-Uco,*
*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Calzada Dr. Víctor Bravo Ahúja, No. 561, Col. Predio El Paraíso, Tuxtepec, Oaxaca, C.P. 68350, México. *jtorruco79@outlook.com; juan.tu@tuxtepec.tecnm.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

El proceso de germinación de granos o semillas produce cambios fisicoquímicos por diferentes rutas metabólicas a partir de macromoléculas, lo que conlleva a reducir algunos alergenos, producción de nuevos nutrientes y generación de compuestos fitoquímicos benéficos para la salud. El objetivo de esta investigación fue evaluar la composición química, la ausencia o presencia de metabolitos secundarios y los parámetros de color de las harinas de frijol negro Jamapa (*Phaseolus vulgaris*) germinado. Se tuvo un mayor rendimiento en el día 5 con un valor de 73.70% de granos germinados. El contenido de proteínas de las harinas osciló entre 8.30 a 22.24%. Los parámetros de luminosidad (*L**) fueron diferentes con valores entre 68.27 a 75.80, mientras que, el parámetro *b** mostraron tendencias hacia el amarillamiento con valores entre 1.03 a 19.27 ($p<0.05$). El perfil fitoquímico mostró presencia de saponinas en los primeros días de germinación, fitoesteroles en los días 5 y 7 y flavonoides en todos los días de germinación. La germinación ayuda a generar un buen contenido de proteínas y al desarrollo de metabolitos secundarios.

***Palabras clave**: germinación, composición química, metabolitos secundarios, color.*

Abstract

The germination process of grains or seeds produces physicochemical changes through different metabolic routes from macromolecules, which leads to the reduction of some allergens, production of new nutrients and generation of beneficial phytochemical compounds for health. The research aim of this research was to evaluate the chemical composition, the absence or presence of secondary metabolites, and the color parameters of black Jamapa bean (Phaseolus vulgaris) germinated flours. There was a higher yield on day 5 with a value of 73.70% of germinated grains. The protein content of the flours ranged from 8.30 to 22.24%. The luminosity parameters (L) were different with values between 68.27 to 75.80, while the parameter b* showed tendencies towards yellowing with values between 1.03 and 19.27 ($p<0.05$). The phytochemical profile showed the presence of saponins in the first days of germination, phytosterols on days 5 and 7, and flavonoids on all days of germination. Sprouting helps to generate a good protein content and the development of secondary metabolites.*

***Key words**: germination, chemical composition, phytochemical profile, color.*

Introducción

Las leguminosas tienen una larga historia como componentes en la nutrición del ser humano, ya que presentan alto contenido de proteína y su composición de aminoácidos constituyen las características más relevantes en este rubro, pero además contienen cantidades valiosas de otros nutrientes como vitaminas, minerales, carbohidratos complejos y ácidos grasos esenciales [1]. El frijol negro Jamapa es una de las leguminosas más importantes en México, su cultivo se realiza en casi todas las regiones del país y puede adquirirse a un bajo costo, y estas han sido consideradas en la elaboración de productos alimenticios que pudieran mejorar la calidad de salud del consumidor [2]. Por otro lado, el consumo de leguminosas germinadas presenta mayor beneficio, ya que estas pueden coadyuvar o contrarrestar diversas enfermedades, entre las que destacan las enfermedades crónicas degenerativas como la hipertensión arterial, obesidad [3,4]. El proceso de germinación involucra a una serie de cambios fisicoquímicos, como la producción de compuestos simples a partir de proteínas o carbohidratos

 ISSN: 2007 8102

de almacenamiento, producido por las diferentes rutas metabólicas en los granos de frijol reduciendo así diversos factores antinutricionales incrementando la digestibilidad de las proteínas y los carbohidratos. El efecto del proceso de germinado sobre los valores nutricionales y propiedades funcionales depende principalmente de las condiciones físicas en las que se llevan a cabo, entre ellos el tiempo de remojo, temperatura, ausencia o presencia de luz, estos factores juegan un papel importante durante el crecimiento de una nueva plántula [5]. Por lo que, el objetivo de esta investigación fue evaluar la composición química, perfil fitoquímico y parámetros de color de las harinas del frijol negro Jamapa (*Phaseolus vulgaris*) germinado a diferentes tiempos (8 días).

Metodología

Materiales

Los granos de frijol negro Jamapa (*Phaseolus vulgaris*) fueron adquiridos en el mercado local de San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México. Posteriormente fueron trasladados al Laboratorio de Ciencias de los Alimentos del Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtepec donde fueron procesados. Todos los reactivos utilizados en este proyecto fueron de las marcas comerciales Sigma y J. T. Baker, de grado alimenticio o superiores.

Proceso de germinación del frijol negro Jamapa

Para obtener los granos de frijol germinado se utilizó el método descrito por Alkaltham et al. [6] el cual consistió en seleccionar los mejores granos de frijol negro Jamapa previo al remojo usando hipoclorito de sodio al 10% durante 10 min, posteriormente se colocaron en charolas con algodón previamente humedecido para ser incubados en una incubadora marca Felisa (modelo 133D México) a 27 °C durante diferentes tiempos de germinación (0, 1, 3, 5, 6, 7, y 8 días). Las muestras se desinfectaron e hidrataron cada 24 h. Pasado el tiempo de germinado la muestra fueron secadas en una estufa a 50 °C/ 24 h. posteriormente fueron almacenadas para su posterior uso.

Obtención de las harinas germinadas

Para la muestra del día 0 se sometieron a una molienda gruesa empleando molino Grinding modelo 4-E (Quaker City, USA) para separar la cáscara de la semilla. Posteriormente todas las muestras fueron molidas en un molino para café (KRUPS Model GX4100, USA). Las harinas obtenidas de cada tiempo de germinado se pasaron a través de una malla No. 80 (0.177 mm) y se almacenaron a temperatura ambiente en un recipiente cerrado de plástico hasta su utilización [7].

Composición química de las harinas germinadas

Se emplearon los métodos de la AOAC [8]: para determinar el porcentaje de humedad (Método 925.09) se secó la muestra a 105 °C hasta peso constante; Cenizas (Método 923.03) se determinó como el residuo inorgánico resultante de la incineración a 550 °C/4 h; Grasa cruda (Método 920.39) se determinaron como los lípidos libres extraídos con hexano; Proteína cruda (Método 954.01) se usó el método Kjeldahl, usando 6.25 como factor de conversión de nitrógeno a proteína y el extracto libre de nitrógeno (ELN) se calculó por diferencia a los demás componentes.

Parámetros de color a las harinas germinadas

Los parámetros de color se determinaron usando un colorímetro UltraScan® Vis (HunterLab, Hunter Associates Laboratory Inc., 11491 Sunset Hills Road, Reston, Virginia U.S.A). El equipo instrumental fue calibrado con un estándar blanco. Se obtuvieron los valores L^* (Luminosidad), a^* (grado de color, +rojo, -verde) y b^*(grado de color, +amarillo, -azul). La diferencia de color total (ΔE) fue calculada como: $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$, donde ΔL, Δa y Δb representan la diferencia entre el valor L^*, a^* y b^* respectivamente, entre el estándar y la muestra [9].

 ISSN: 2007 8102

Perfil fitoquímico de las harinas germinadas

Para el perfil fitoquímico se emplearon pruebas colorimétricas cualitativas siguiendo la metodología descrita por Murillo-Perea y Méndez-Arteaga [10] estas pruebas consistieron en las reacciones de precipitación y coloración para evaluar la presencia de metabolitos secundarios tales como: alcaloides, carbohidratos, glicósidos, fenoles, saponinas, fitoesteroles, fenoles, flavonoides, y terpenoides.

Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante un Análisis de Varianza (ANDEVA) de una vía y se determinaron las diferencias entre las medias mediante una prueba de diferencia mínima significativa (LSD), con un nivel de confianza del 95%, utilizando el programa estadístico Statistica Version 8.0 (StatSoft, Inc. 1984-2008, USA).

Resultados y discusión

Proceso de germinación y rendimiento

El proceso de germinación de los granos de frijol negro Jamapa y el rendimiento de los granos germinados se muestra en la Figura 1. Se tomó como día 0 a la semilla sin germinar. Se pudieron observar diferentes cambios morfológicos de los granos (incremento del peso y longitud de la radícula). Desde el día 1 se pudo ver el crecimiento de la radícula, estabilizándose a partir del día 5. El proceso se detuvo al día 8, cuando la plántula ya estaba completamente desarrollada. Durante el proceso de germinación, los granos fueron hidratados y se eliminaron aquellos que adquirieron moho por la humedad. El mejor rendimiento obtenido fue al día 5 de germinación con un valor de 73.70%, este valor puede ser comparable a lo obtenido por Rodríguez-Ortiz [11], quién obtuvo germinados del frijol costeño (*Vigna unguiculata*) con un rendimiento del 75% y una estabilidad de la plántula a partir del día 3 de germinación. La germinación es una técnica eficaz, rápida y económica que permite mejorar la calidad nutricional de las harinas obtenidas de las mismas, ya que, han demostrado un aumento en cuanto a la concentración de nutrientes que podrían ayudar a mejorar la salud del consumidor [2].

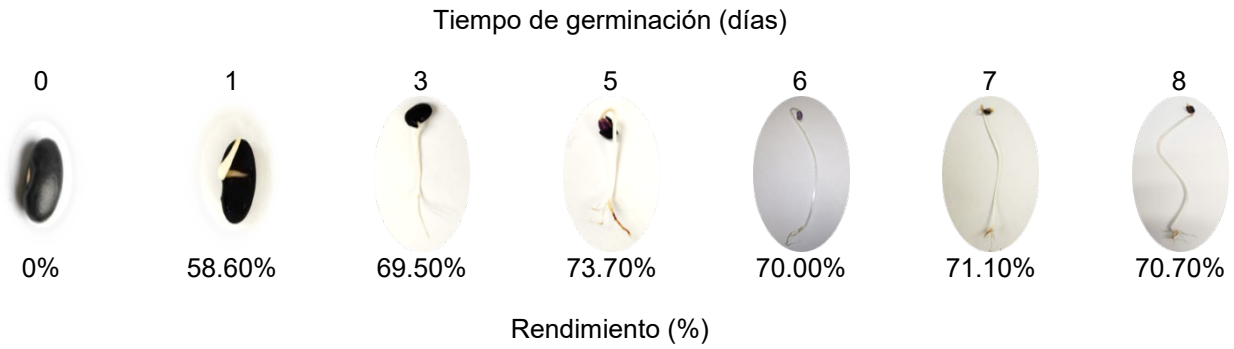


Figura 1. Etapas del proceso de germinación y rendimiento de los granos de frijol negro Jamapa (*P. vulgaris*) que germinaron.

Composición química de las harinas germinadas

La composición química proximal de las harinas de los germinados puede observarse en la Tabla 1. Donde los parámetros evaluados mostraron diferencia estadística significativa ($p<0.05$). El contenido de proteínas del grano sin germinar (día 0) mostró un contenido de 14.22% y este contenido disminuyó al día 1 de germinación con 11.11% y conforme pasó el tiempo este fue en aumento alcanzando un mayor contenido en el día 6 con un

 ISSN: 2007 8102

contenido de 22.24%. Este comportamiento del contenido de proteína del día 0 y su disminución en el día 1, también fue reportado por Vilcanqui et al. [13] en harinas germinadas de basul (*Erythrina edulis*) ya que ellos encontraron que a las 12 h de germinación tuvieron un contenido de 17.19% de proteínas, mientras que, pasada las 24 h este contenido disminuyó a 17.06%. Por otro lado, Rada-Achic [14] reportaron valores de proteínas en el día 0 de 23.5% sin embargo, después de 72 h (3 días) el contenido de proteínas aumentó a 28.4%, este mismo comportamiento fue encontrado en este estudio, ya que, el contenido de proteína fue en aumento durante los primero 6 días de germinación.

El contenido de humedad (Tabla 1) en el día 0 fue de 8.02% y esta fue en aumento hasta finalizar los días de germinación (día 8 = 9.31%). Mismo comportamiento se observó en el contenido de cenizas, ya que, en el día 0 fue de 3.15% y al día 7 fue que presentó mayor contenido (5.92%). Los valores del contenido de grasa en este estudio fueron en aumento al día 3 de germinación (4.08%) y este disminuyó a 2.79% en el día 8 de germinación. Todos estos cambios pueden deberse a las diferentes fuentes (granos o semillas), condiciones o factores que intervinieron en el proceso de la germinación de los granos o semillas y a la activación de las diferentes enzimas que ayudaron al proceso de degradación de macromoléculas y síntesis de nuevas moléculas que formarán la nueva planta [14].

Tabla 1. Composición química proximal de las harinas del frijol negro Jamapa (*P. vulgaris*) germinado.

Tiempo de germinación (días)	Componentes (%)				
	Humedad*	Proteínas	Grasas	Cenizas	ELN
0	8.02 ± 0.05^{c}	14.22 ± 0.67^{d}	1.85 ± 0.12^{a}	3.15 ± 0.10^{a}	$72.76 \pm ^{c}$
1	6.31 ± 0.24^{b}	11.11 ± 0.23^{b}	2.61 ± 0.31^{b}	4.27 ± 0.09^{b}	$75.70 \pm ^{d}$
3	5.56 ± 0.21^{a}	15.62 ± 0.08^{c}	4.08 ± 0.16^{c}	4.91 ± 0.09^{c}	$69.83 \pm ^{b}$
5	8.32 ± 0.43^{c}	15.68 ± 0.86^{c}	1.85 ± 0.15^{a}	5.21 ± 0.30^{d}	$68.94 \pm ^{b}$
6	8.54 ± 0.24^{c}	22.24 ± 1.00^{e}	2.09 ± 0.04^{ab}	5.31 ± 0.03^{d}	$61.82 \pm ^{a}$
7	9.08 ± 0.15^{d}	8.51 ± 0.21^{a}	2.56 ± 0.15^{b}	5.92 ± 0.10^{e}	$73.93 \pm ^{c}$
8	9.31 ± 0.66^{d}	8.30 ± 0.45^{a}	2.79 ± 0.06^{b}	5.27 ± 0.02^{db}	$74.33 \pm ^{cd}$

Los valores son el promedio de 3 repeticiones ± su desviación estándar. *Todos los resultados están expresados en base seca a excepción de la humedad. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa de (p<0.05). ND = No determinado

Color de las harinas germinadas

Los parámetros de color se muestran en la Tabla 2, mostrando diferencias estadísticas significativa (p<0.05). Donde los parámetros de luminosidad (L^*) de las harinas de frijol negro Jamapa germinados mostraron valores entre 68.27 a 75.80, mientras que los valores de a^* del día 0 a 5 de germinado fueron de -0.40 a -0.3 con tonalidades hacia el verde y del día 6 al 8 obtuvieron valores de 3.23 a 2.33 con tonalidades hacia el rojo, en cuanto al parámetro b^* los valores fueron aumentando con tendencia hacia la tonalidad amarilla de 1.03 a 19.27. Estos resultados pueden ser comparados con los obtenidos por Demir & Bilgiçli [15], quienes encontraron en la harina de quinoa (*Chenopodium quinoa* Wiild.) germinada valores de L^* de 86.76 el cual fue mayor a loa obtenidos en este estudio, mientras que el valor de a^* fue 1.61 con tonalidades al rojo, y el parámetro b^* = 12.77 con tonalidades al amarillo, los cuales fueron menores a los hallados en el frijol negro Jamapa en estudio.

Estos cambios de coloración pueden deberse a la presencia de pigmentos del frijol negro Jamapa germinados ya que por ser un frijol de color negro podría haber presencia antocianinas y carotenoides, los cuales dan la pigmentación oscura de algunas leguminosas [16]. Los parámetros C^*, y ΔE de las harinas germinadas mostraron diferencia estadística significativa (p<0.05) en todos los días de germinación. El color en las harinas puede proporcionar ciertos beneficios en la salud del ser humano debido a la presencia de pigmentos y a su efecto antioxidante, por lo que, el uso de estas harinas como ingrediente funcional en nuevos productos alimenticios podría traer efectos benéficos para el consumidor.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Parámetros de color de las harinas del frijol negro Jamapa (*P. vulgaris*) germinado.

Tiempo de germinación (días)	Parámetros de color					
	L*	***a****	***b****	***C****	***h°***	**ΔE**
0	75.80 ± 0.29^{e}	-0.40 ± 0.0^{c}	1.03 ± 0.05^{a}	1.09 ± 0.03^{a}	61.43 ± 2.03^{d}	1.27 ± 0.08^{a}
1	74.03 ± 0.54^{d}	-0.40 ± 0.0^{c}	2.80 ± 0.10^{b}	2.83 ± 0.11^{b}	46.50 ± 1.50^{c}	3.79 ± 0.26^{d}
3	71.40 ± 0.16^{b}	-0.20 ± 0.0^{a}	2.83 ± 0.09^{b}	2.80 ± 0.09^{b}	39.00 ± 2.12^{ab}	1.95 ± 0.19^{b}
5	68.27 ± 1.60^{a}	-0.30 ± 0.0^{b}	6.87 ± 0.05^{c}	6.92 ± 0.04^{c}	41.13 ± 0.10^{b}	2.70 ± 0.10^{c}
6	71.30 ± 0.78^{b}	3.23 ± 0.05^{e}	15.00 ± 0.62^{e}	15.13 ± 0.77^{de}	37.50 ± 0.14^{a}	3.35 ± 0.07^{d}
7	68.37 ± 1.0^{a}	3.10 ± 0.14^{e}	19.27 ± 0.21^{f}	19.63 ± 0.26^{f}	37.00 ± 1.02^{a}	8.34 ± 0.70^{e}
8	73.23 ± 0.42^{c}	2.33 ± 0.05^{d}	13.87 ± 0.95^{d}	14.17 ± 1.01^{d}	39.40 ± 0.49^{ab}	13.75 ± 0.72^{f}

Los valores son el promedio de 3 repeticiones ± su desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa de (p<0.05). *L** = Luminosidad, *a** = +Rojo a -verde, *b** = +Amarillo a -azul, *C** = Cromaticidad, *h°* = ángulo Hue, ΔE = Diferencia total de color.

Perfil fitoquímico de las harinas germinadas

El perfil fitoquímico de las harinas germinadas se muestra en la Tabla 3. En donde la presencia (+) de saponinas, fitoesteroles, flavonoides, y terpenoides, en diferentes días de germinación, la presencia de estos compuestos podría beneficiar positivamente a la población debido a que estos fitoquímicos pueden presentar actividad antiinflamatoria y antioxidante. Sin embargo, la ausencia (-) de alcaloides pudiera deberse a la sensibilidad de las harinas a los dos métodos empleados (métodos de Drangendroff y de Hager), la presencia (+) de saponina en los días 0 y 1 se le puede atribuir a que esta solo se presenta en situaciones de estrés, por lo que, al sumergir los granos a un proceso de imbibición estos suelen presentar estrés hídrico, y oxigenación al activarse las enzimas de reserva que se encuentran almacenadas en los cuerpos proteicos de los cotiledones. Vargas et al., [17] reportaron datos (-) en saponinas, mostrando un valor (+) para la presencia de oligosacáridos no reductores, también mostraron valores (+) para flavonoides, en las harinas de frijol cuarentano (*Vigna unguiculata*). Mientras que Savón et al. [18] encontraron ausencia (-) de alcaloides en harinas de follajes integrales de *Mucuna pruriens*, estos autores mencionan que pudieran deberse a los diferentes estados fenológicos de la planta que conducen a tener diferencias en la composición química, así como, la presencia de factores antinutricionales, que disminuyen con el crecimiento de la planta. Los resultados muestran la importancia que tiene este estudio realizado al frijol negro Jamapa, ya que, una leguminosa con ausencia de alcaloides puede ser consumida por el ser humano, pues no se genera ese sabor amargo típico de los alcaloides [18].

Tabla 3. Efecto de la germinación sobre la presencia de metabolitos secundarios en las harinas del frijol negro Jamapa (*P. vulgaris*) germinado.

Metabolitos	Tiempo de germinación (días)						
	0	**1**	**3**	**5**	**6**	**7**	**8**
Alcaloides (Drangendroff)	-	-	-	-	-	-	-
Alcaloides (Hager)	-	-	-	-	-	-	-
Carbohidratos	-	-	-	-	-	-	-
Glicósidos	-	-	-	-	-	-	-
Saponinas	+	+	-	-	-	-	-
Fitoesteroles (Salkowski)	-	-	-	-	-	-	-
Fitoesteroles (Lieberman)	-	-	-	+	-	+	-
Fenoles	-	-	-	-	-	-	-
Flavonoides	+	+	+	+	+	+	+
Terpenoides	+	+	-	-	-	+	+

Los resultados fueron realizados por ensayos colorimétricos de 3 repeticiones donde indican: ausencia (-) presencia (+) de los metabolitos secundarios evaluados.

Trabajo a futuro

La presente investigación se encuentra en la primera fase de su ejecución, ya que posteriormente se realizará la obtención de los concentrados proteicos a cada una de las harinas obtenidas a diferentes tiempos (0-8 días), así mismo se evaluará su composición química, parámetros de color y perfil fitoquímico. Posteriormente a partir del concentrado proteico se obtendrán las cinéticas y grado de hidrólisis enzimáticos, empleando enzimas comerciales. A los concentrados e hidrolizados proteicos obtenidos a diferentes tiempos de reacción se evaluará la actividad de inhibición de la enzima convertidora de angiotensina-I (actividad antihipertensiva) *in vitro*. Finalmente se evaluará la actividad antioxidante *in vitro* a los concentrados e hidrolizados mediante métodos analíticos (ABTS, DPPH, FRAP). Se espera obtener hidrolizados proteicos con diferentes actividades biológicas a partir del frijol negro Jamapa (*Phaseolus vulgaris*) germinado.

Conclusiones

El proceso de germinación del frijol negro Jamapa (*Phaseolus vulgaris*) a diferentes tiempos (0 a 8 días) mostró que la composición química de las harinas obtenidas contenidos de proteínas aceptables. Los parámetros de color de las harinas mostraron valores de luminosidad (*L**) altos, siendo el germinado del día 1 el que presentó la mayor luminosidad, por lo que, su uso sería recomendable en diversos productos alimenticios que requieran claridad, tomando en cuenta la concentración de harina a utilizar en estos. El perfil fitoquímico reveló presencia de compuestos como fitoesteroles, flavonoides, y terpenoides los cuales, pueden ser benéficos para la salud del ser humano, ya que, se ha demostrado que estos pueden presentar diversas actividades biológicas como antiinflamatoria y antioxidante. Sin embargo, en este estudio falta realizar una mayor investigación sobre la determinación cuantitativa de los compuestos fitoquímicos y evaluar su actividad antioxidante y antihipertensiva.

Referencias

1. A. Torres, A. Cova, and D. Valera, “Effect of the germination process of Cajanus cajan grains on nutritional composition, fatty acids, antioxidants and mineral bioaccessibility”, *Revista Chilena de Nutrición*, vol. 45, no. 4, pp. 323-330, 2018.
2. C. B. Muñoz-Llandes, F. A. Guzmán-Ortiz, L. G. Gonzáles-Olivares, H. M. Palma-Rodríguez, A. D. Román-Gutiérrez, and J. Castro-Rosas, “Germination: a bioprocessing method that improves the nutritional, biological and functional quality of legume flours”, *Pädi Boletín CientÍfico de ccencias Básica e Ingeniería del ICBI*, vol. 9, no. 2, pp. 119-122, 2021.
3. R. Jiménez-Camargo, “Propiedades tecno-funcionales, nutricionales, aceptabilidad de la semilla de tarwi (*Lupinus mutábilis*) germinadas con o sin brotes". Tesis de Licenciatura. *Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac,* Abancayac, Perú, pp. 1-86, 2022.
4. S. Maleki, and S. H. Razavi, “Pulses’ germination and fermentation: Two bioprocessing against hypertension by releasing ACE inhibitory peptides”, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition,* vol. 61, no. 17, pp. 2876-2893, 2020.
5. C. Hernández-Aguilar, A. Domínguez-Pacheco, M. Palma, C. Valderrama-Bravo, M. Soto, A. Cruz-Orea, and J. Ordonez-Miranda, “Lentil sprouts: a nutraceutical alternative for the elaboration of bread”, *Journal of Food Science and Technology,* vol. 57, no. 5, pp. 1817-1829, 2020.
6. M. S. Alkaltham, A. M. Salamatullah, M. M, Özcan. “The effect of germination and heating on bioactive properties, phenolic compounds and mineral contents of green grama seeds”, *LWT-Food Science and Technology*, vol. 134, pp. 1101106, 2020.
7. M. R. Segura-Campos, L. A. Chel-Guerrero, and D. A. Betancur-Ancona. “Angiotensin-I converting enzyme inhibitory and antioxidant activities of peptide fractions extracted by ultrafiltration of cowpea *Vigna unguiculata* hydrolysates”. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 90, no. 14, pp. 2512-2518. 2010.
8. AOAC, “Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis of AOAC International. 21st Edition, AOAC, Washington, DC. 2019.
9. I. A. Wani, D. S. Sogi, A. A. Wani, and B. S. Gill, “Physico-chemical and functional properties of flours from Indian Kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars”, *LWT-F Food Science and Technology*, vol. 53, no. 1, pp. 278-284, 2013.

 ISSN: 2007 8102

10. E. Murillo-Perea, and J. J. Méndez-Arteaga, “Guía metodológica para la detección rápida de algunos núcleos secundarios y caracterización de una droga cruda”, *Universidad de Tolima*, Ibagué, Colombia. 2011.
11. J. D. Rodriguez-Ortiz, “Obtención de hidrolizados proteicos a partir de germinados del frijol costeño (*Vigna Unguiculata*) y su evaluación como antioxidantes y anticolesterolemicos”, Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Tuxtepec, Oaxaca, México. pp. 1-90, 2021.
12. Y. Ventura-Saldívar, “Caracteristicas nutricionales y funcionales de la harina del fruto germinado del basul (*Erythrina edulis*)”. Tesis de Licenciatura. *Universidad Nacional de Micaela Bastidas de Apumirac*, Abancayac, Perú, pp. 1-129, 2022.
13. F. Vilcanqui-Pérez, G. Chaquilla-Quilca, V. H. Sarmiento-Casavilca, C. N. Cespedes-Orozco, Y. Ventura-Saldivar, P. Cortes-Avendaño, “Efecto del germinado sobre las caracteristicas nutricionales propiedades bioactivas y funcionales del basul (*Erythrina edulis*)”. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol. 71, no. 4, pp. 241-251, 2021.
14. G. E. Rada-Achic, “Sustitución parcial de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) con harina de frijol ucayalino (*Phaseolus vulgaris*) germinado para la elaboración de fideos”. Tesis de Licenciatura. *Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia*. Ucayali, Perú. pp. 1-93, 2021.
15. B. Demir, and N. Bilgiçli, “Changes in chemical and anti-nutritional properties of pasta enriched with raw and germinated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) flours”. *Journal of Food Science and Technology*, vol. 57, pp. 3884-3892, 2020.
16. D. B. Rodríguez-Amaya, “Natural food pigments and colorants”, *Current Opinion in Food Science*, vol. 7, pp. 20-26, 2016.
17. A, Y. R. Vargas, L. O. E. Villamil, A. W. Murillo, and D. J. F. Solanilla, “Caracterización fisicoquímica y nutricional de la harina de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L.) cultivado en Colombia”. *Vitae*, vol. 19, no. 1, pp. S320-S321. 2012.
18. L. Savón, I. Scull, M. Orta, and M. Martinez, “Harinas de follajes integrales de tres leguminosas tropicales para la alimentación avícola, composición química, propiedades físicas y tamizaje fitoquímico”, *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 41, no. 4, pp. 359-361, 2007.

 ISSN: 2007 8102

Síntesis y caracterización de derivados S-alquilados del 2-mercaptobenzoxazol con bromuros de alquilo

Raziel Andrés Galeote-Robles[1], José María Rivera-Villanueva[1], Raúl Colorado-Peralta[1], María Elizabeth Márquez-Lopez[1], Rodolfo Peña-Rodriguez[1].*
[1]Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Orizaba, Veracruz, México.
**e-mail: ropena@uv.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

En esta investigación se realizó la síntesis y caracterización de seis moléculas orgánicas derivadas del 2-mercaptobenzoxazol, esto se logró a través de la identificación de las condiciones óptimas de tiempo y temperatura de reacción. Se utilizaron técnicas espectroscópicas como FT-IR, RMN y DRX de monocristal para la elucidación de la estructura molecular de cada compuesto. Como resultado, se logró conocer la estructura de DRX de monocristal de cinco de los compuestos y el sexto a través de RMN, lo cual proporciona información valiosa para el desarrollo de nuevas moléculas con estructuras y reactividad similar, adicional a esto la DRX de la materia prima aporto información de utilidad para la propuesta del mecanismo de reacción para la síntesis. Este estudio contribuye al avance en la síntesis de moléculas orgánicas para el futuro desarrollo de principios activos para medicamentos, lo que resulta de gran importancia en la investigación química y farmacéutica.

***Palabras clave**: Síntesis, orgánicas, técnicas espectroscópicas, desarrollo.*

Abstract

In this research involved the synthesis and characterization of six organic molecules derived from 2-mercaptobenzoxazole, achieved through the identification of optimal reaction time and temperature conditions. Spectroscopic techniques such as FT-IR, NMR, and single-crystal X-ray diffraction (SCXRD) were used for the elucidation of the molecular structure of each compound. As a result, the crystal structures of five compounds were determined through SCXRD, while the sixth compound was characterized through NMR. This provides valuable information for the development of new molecules with similar structures and reactivity. Additionally, the SCXRD analysis of the starting material provided useful insights for proposing the reaction mechanism for the synthesis. This study contributes to the advancement in the synthesis of organic molecules for the future development of active pharmaceutical ingredients, which is of great importance in chemical and pharmaceutical research.

***Key words**: Synthesis, organic, spectroscopic techniques, development.*

Introducción

En años recientes el uso desmedido de los medicamentos antimicrobianos por parte de la población ha originado un problema de salud pública el cual es el desarrollo de resistencia por parte de los microrganismos frente a los compuestos activos de estos medicamentos, esto ha generado un problema de salud pública principalmente es países subdesarrollados como México [1]. El proceso de diseño, evaluación y aplicación de un compuesto que combata a un microrganismo especifico es a menudo una tarea tardada y poco asequible, por lo que resulta más viable la modificación estructural de moléculas con actividad biológica ya estudia, esto con el fin de mejorar sus características químicas y biológicas como el tiempo de vida media, solubilidad, citotoxicidad, etc. [2].

Es así como la búsqueda de nuevos principios activos es un área de investigación perpetua que se ve impulsada por la creciente necesidad de combatir a los organismos que han generado resistencia múltiple a fármacos tradicionales situación que se ha visto en aumento día con día [3]. La síntesis de nuevos derivados del 2-mercaptobenzoxazol resulta entonces un área de investigación interesante y en continuo desarrollo debido a las

ISSN: 2007 8102

diferentes aplicaciones que tienen estos compuestos en la industria farmacéutica y química. El 2-mercaptobenzoxazol es un heterociclo azufrado que presenta una amplia variedad de propiedades biológicas y químicas, y han sido utilizados al igual que sus análogos en la síntesis de compuestos más complejos con actividad biológica de relevancia [4].

Esta molécula pertenece a la familia de los benzoazoles los cuales son heterociclos aromáticos de alta estabilidad estructural, sus heteroátomos polarizan en gran medida a la molécula lo que permite su fácil funcionalización, además son considerados isósteros estructurales de las bases nitrogenadas adenina y guanina lo que les permite la fácil interacción es los procesos de replicación del ADN [5-6]. Los compuestos derivados del 2-mercaptobenzoxazol han demostrado poseer una actividad antimicrobiana significativa contra una variedad de microorganismos. Se ha demostrado que estos compuestos son especialmente efectivos contra bacterias gran positivas, así como contra algunas cepas de hongos.

Se cree que la actividad antimicrobiana de estos compuestos se debe a su capacidad para bloquear la producción de proteínas esenciales para la supervivencia de los microorganismos. Además, algunos estudios han sugerido que los compuestos derivados del 2-mercaptobenzoxazol también pueden interferir con la estructura de la pared celular de los microorganismos, lo que les impide crecer y multiplicarse [7]. Otra atribución de su actividad antibiótica es la inhibición de la GlcN-6-P sintasa la cual es una enzima compleja involucrada en la formación de UDP-N-acetilglucosamina, el principal intermediario en la biosíntesis de todas las macromoléculas que contienen aminoazúcar tanto en eucariotas como en procariotas [8].

Este trabajo, se enfocó es sintetizar vía sustitución nucleofílica una serie de derivados S-alquilados en la posición 2 del heterociclo del benzoxazol, los cuales fueron caracterizados por distintas técnicas espectroscópicas y espectrométricas para describir su estructura molecular de forma detallada y tener a disposición moléculas no disponibles de forma comercial para el estudio de su actividad biológica *in vitro* y en otras aplicaciones en síntesis orgánica.

Metodología

Materiales y equipo

Los reactivos que se emplearon para la síntesis de los compuestos fueron: 2-mercaptobenzoxazol, hidróxido de potasio, ácido 4-(bromometil)benzóico, 4-(bromometil)benzoato de metilo, 4-(bromometil)benzonitrilo, α,α'-dibromo-*p*-xileno, 1-2 dibromoetano, ácido 3-bromopropionico, estos fueron adquiridos de la marca SIGMA ALDRICH, los reactivos sólidos a menudo fueron recristalizados y los reactivos líquidos fueron utilizados sin purificación adicional. También se utilizaron los siguientes disolventes: acetona, etanol, agua destilada, acetato de etilo (AcOEt), hexano (Hex) y tetrahidrofurano (THF).

Los espectros infrarrojos por transformada de Fourier se realizaron en un espectrofotómetro PERKIN ELMER SPECTRUM 100 FT-IR. Los análisis de resonancia magnética nuclear de ^{1}H se realizaron en un espectrómetro de RMN de 9.4 T(400 MHz) marca VARIAN modelo VNMRS, equipado con sonda de detección BROAD BAND SWITCHABLE y sonda de detección indirecta de dos canales de radiofrecuencia. Los análisis de DRX de monocristal se realizaron en un difractómetro de rayos X de monocristal OXFORD GEMINI (λMoKa = 0.71073 o λCuKa = 1.5418 Å) con detector de área de 135 mm ATLAS, equipado con un sistema criogénico CRYOJET.

Desarrollo

Se disolvieron 1.5 mmol (1 eq) de 2-mercaptobenzoxazol y 1.5 mmol (1 eq) de hidróxido de potasio en 10 ml de acetona y se agito a 400 rpm a temperatura ambiente durante 15 min, posteriormente se agregó 1.5 mmol (1 eq) de bromuro de alquilo a emplear y se calentó de 0-60 °C por un tiempo de 8-12 h según el caso ver figura 1. Para productos disustituidos (RG4 y RG5) la reacción se llevó a cabo con 2 eq de 2-mercaptobenzoxazol, 2 eq de hidróxido de potasio y 1 eq de bromuro de alquilo.

 ISSN: 2007 8102

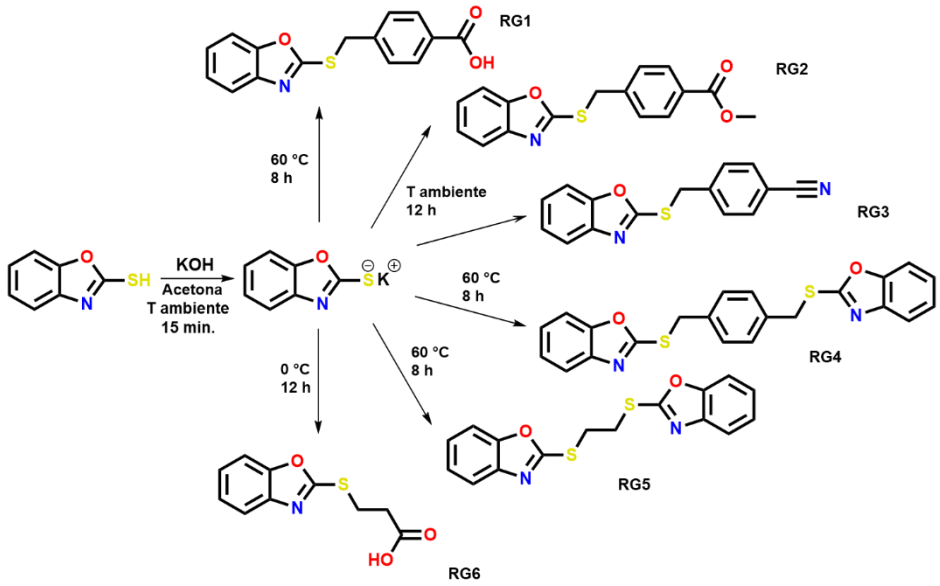


Figura 1. Esquema de obtención de productos derivados del 2-mercaptobenzoxazol

Los compuestos RG1, RG4 y RG5 se presentan como un precipitado en el medio de reacción el cual es filtrado y lavado con agua destilada, posteriormente es secado a 100 °C durante 1 h, la obtención de monocristales se realizó por evaporación lenta a temperatura ambiente de una solución sobresatura del compuesto disuelto en THF. Los compuestos RG2, RG3 y RG6 son solubles en el medio de reacción y fueron purificados mediante cromatografía en columna con una fase móvil Hex:AcOEt (95:5), la obtención de monocristales se realizó por evaporación lenta a temperatura ambiente de la fracciones de la columna portadoras del producto.

Resultados y discusión

Ácido 4-((benzo[d]oxazol-2-iltio)metil)benzóico (compuesto RG1)

Fue aislado como un sólido blanco soluble en THF y DCM. El rendimiento de la reacción fue del 77% con base al sólido recuperado el cual presento un punto de fusión de 189 °C.

En el espectro FT-IR de la figura 2 se presenta una banda amplia de 3254 a 2266 cm^{-1} perteneciente al H acido del ácido benzoico, la intensidad de esta señal imposibilita la observación de la señal de C-H sp3, también se puede observar la señal de C=O en 1688 cm^{-1} perteneciente al carbonilo del ácido benzoico al igual que una señal en 1500 cm^{-1} del enlace C=N y otra señal en 1122 cm^{-1} pertenecientes al heterociclo y en 1215 cm^{-1} la señal perteneciente al enlace C-S.

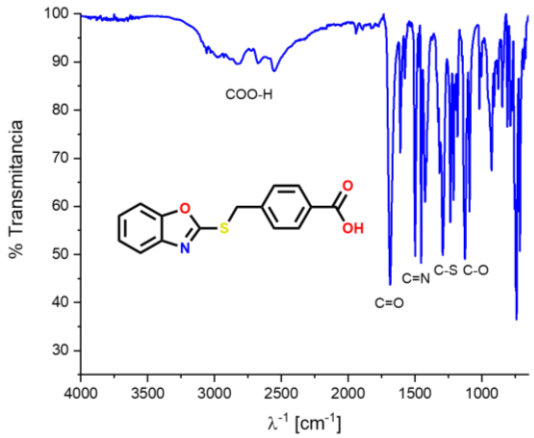


Figura 2. Espectro FT-IR del compuesto RG1, visualizado en Origin 2018

 ISSN: 2007 8102

La estructura de rayos X de la figura 3 nos muestra el correcto ataque del S del 2-mercaptobenzoxazol al carbono del antes bromuro formando el nuevo enlace S-C. Se puede observar la presencia de una molécula de agua de cristalización esto debido posiblemente a la hidratación del THF sometido a evaporación lenta en condiciones ambientales, la presencia de agua en la red cristalina conforma una estructura no reportada con anterioridad para esta molécula. La información cristalográfica se presenta en la tabla 1.

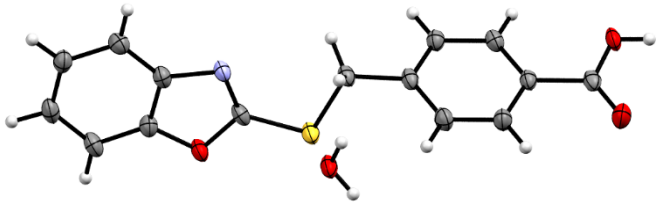


Figura 3. Estructura de DRX del compuesto RG1, los elipsoides son representados a una probabilidad del 50%, visualizado en Mercury versión 2022.3.0.

Tabla 1. Información cristalográfica del compuesto RG1

Formula empírica	$C_{15}H_{13}NO_4S$
Masa de la formula	303.32 g/mol
Temperatura	130 K
Sistema cristalino	Triclínico
Z	2
R_1	0.05
wR_2	0.1435
Goodness of fit (GOF)	1.052

4-((benzo[d]oxazol-2-iltio)metil)benzoato de metilo (compuesto RG2)

Fue aislado como un sólido blanco soluble en acetona y alcoholes, la reacción tuvo un rendimiento del 48% en base a los sólidos cristalizados.

Una de las señales más significativas observadas es la señal en 2936 cm^{-1} correspondiente al enlace C-H sp3 del H unido al C donde ocurre la reacción, por otra parte, se observa el C=O en 1714 cm^{-1} correspondiente al éster aromático, finalmente las señales más notorias que delatan la presencia del heterociclo son las señales en 1500 cm^{-1} enlace N=C y en 1103 cm^{-1} para el C-O además de la señal C-S en 1216 cm^{-1}

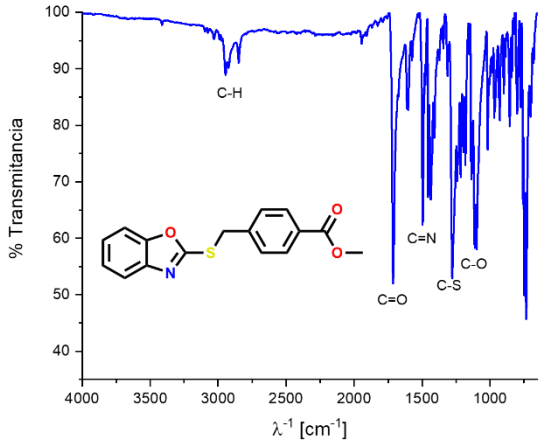


Figura 4. Espectro FT-IR del compuesto RG2, visualizado en Origin 2018

La estructura de rayos X de la figura 5 muestra el correcto ensamblaje de S del 2-mercaptobenzoxazol al carbono sp3 antes unido al bromo formando ahora el nuevo enlace S-C. La información crfistalograica se encuentra en la tabla 2.

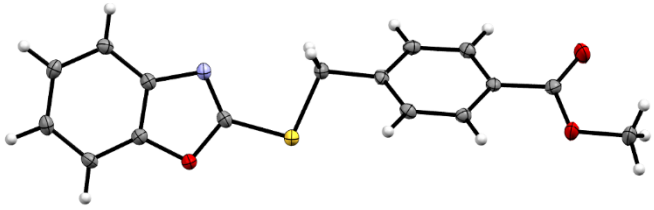


Figura 5. Estructura de DRX del producto RG2, los elipsoides son representados a una probabilidad del 50%, visualizado en Mercury versión 2022.3.0.

Tabla 2. Información cristalográfica del compuesto RG2

Formula empírica	$C_{16}H_{13}NO_3S$
Masa de la formula	299.33 g/mol
Temperatura	130 K
Sistema cristalino	Monoclínico
Z	4
R_1	0.04
wR_2	0.1082
Goodness of fit (GOF)	1.046

 ISSN: 2007 8102

Resultados del 4-((benzo[d]oxazol-2-iltio)metil)benzonitrilo (compuesto RG3)

Se aisló como un sólido blanco soluble en acetona, acetonitrilo, acetato de etilo, el rendimiento de la reacción fue de 92% con base a los sólidos cristalinos recuperados tras la evaporación total de disolvente.

En la figura 6 se observan las bandas correspondientes los enlaces más relevantes como la que aparece en 2929 cm^{-1} que corresponde a H de C sp3 del metilo donde se suscita la reacción, también se puede observar claramente una señal en 2227 cm^{-1} perteneciente al enlace C≡N del grupo ciano, por otro lado, se ven la señales que pertenecen al heterociclo en 1506 cm^{-1} se observa la señal del enlace C=N y en 1148 cm^{-1} la señal del enlace C-O, finalmente en 1214 cm^{-1} se observa la señal C-S.

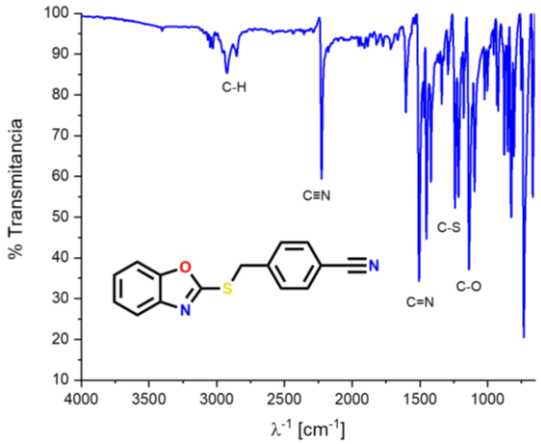


Figura 6. Espectro FT-IR del compuesto RG3, visualizado en Origin 2018

La estructura de rayos X de la figura 7 muestra al azufre formando un nuevo enlace con el carbono del antes bromuro de alquilo. La información cristalográfica se presenta en la tabla 3.

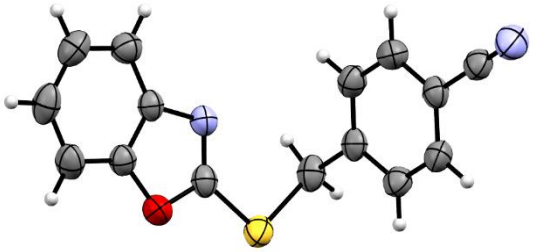


Figura 7. Estructura de DRX del compuesto RG3, los elipsoides son representados a una probabilidad del 50%, visualizado en Mercury versión 2022.3.0.

Tabla 3. Información cristalográfica del compuesto RG3

Formula empírica	$C_{15}H_{10}N2OS$
Masa de la formula	266.31 g/mol
Temperatura	298 K
Sistema cristalino	Triclínico
Z	2
R_1	0.04
wR_2	0.1029
Goodness of fit (GOF)	1.034

Resultados del 1,4-bis((benzo[d]oxazol-2-iltio)metil)benceno (compuesto RG4)

Se aisló como un sólido blanco soluble en THF, cloroformo y tolueno cuyo punto de fusión es de 146 °C el rendimiento de obtención fue del 93%.

Se comienza observando una señal en 2968 cm^{-1} correspondiente al hidrogeno de carbono sp3 correspondiente al metileno antes unido al bromo, posteriormente a esto se ven señales de aromáticos solapadas que probablemente correspondan a los bencenos del 2-mercaptobenzoxazol y al *p*-xileno, finalmente se observan señales en 1500 cm^{-1} y en 1122 cm^{-1} correspondientes a los enlaces C=N y C-O respectivamente los cuales conforman el heterociclo y una señal en 1220 cm^{-1} del enlace C-S.

 ISSN: 2007 8102

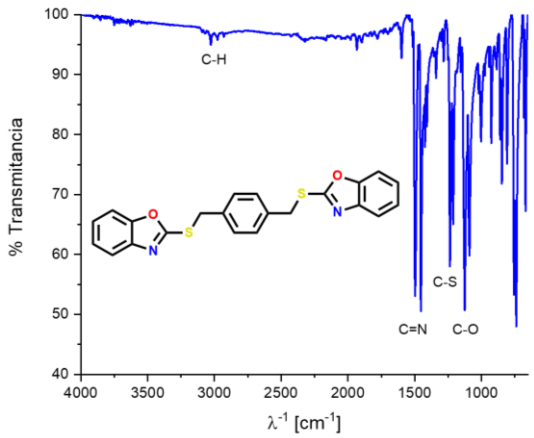


Figura 8. Espectro FT-IR del compuesto RG4, visualizado en Origin 2018

El estudio de resonancia magnética nuclear se realizó a una potencia de 400 MHz en cloroformo deuterado $CDCl_3$ para el núcleo magnéticos ^1H. A campo bajo se observa un singlete en 4.53 ppm con una integral próxima para 4 protones correspondiente a los hidrógenos de carbono sp3, si bien no aparecen en la región habitual de alifáticos, si son los de menos desplazamiento dado su entorno químico ver figura 9.

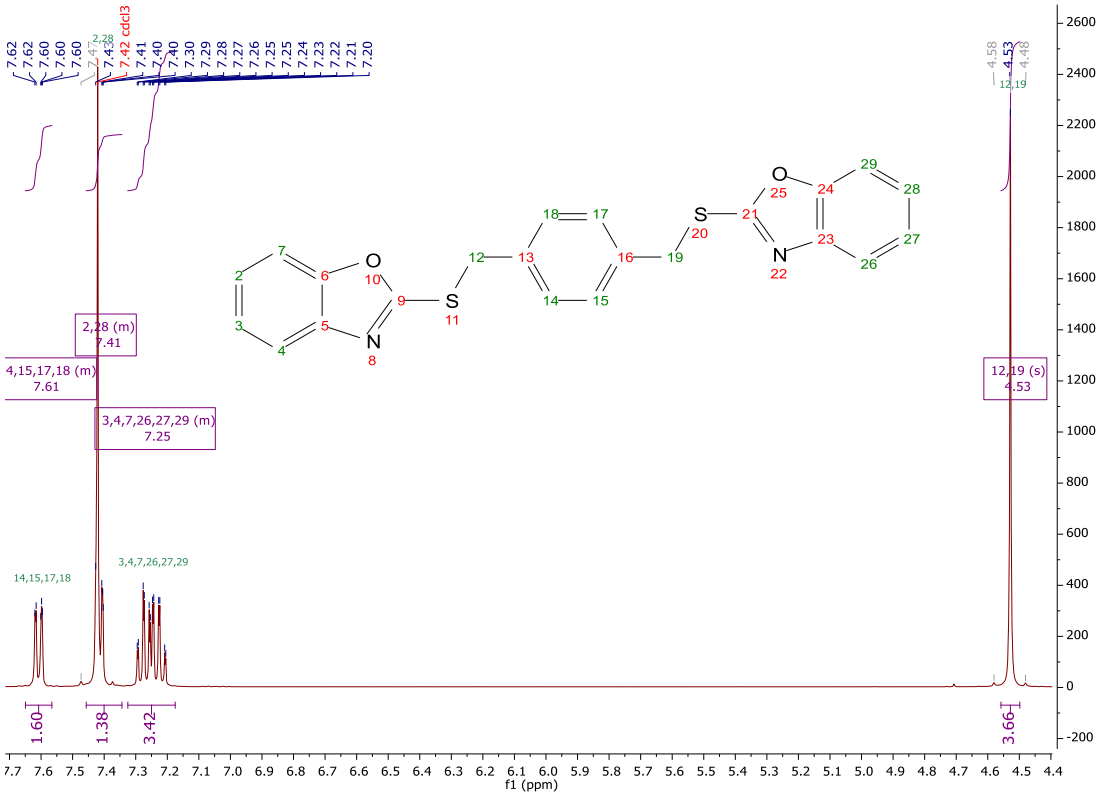


Figura 9. Espectro de RMN ^1H del compuesto RG4, visualizado en MestreNova versión 14.3.1

La siguiente señal aparece en 7.25 ppm se trata de un agrupamiento compuesto de 6 señales dobles que corresponden protones del anillo de benceno del 2-mercaptobenzoxazol, la señal pertenece a los protones 2, 4, 7, 26, 28 y 29 la cercanía de los protones y su entorno químico similar permite el acoplamiento de señales dobles de hidrogeno de carbono sp2, un poco más desplazado aparece otra señal doble en 7.41 ppm correspondiente a los protones 3 y 27 los cuales están unidos a un carbono parcialmente negativo por resonancia a lo cual se le atribuye su mayor desplazamiento, inmediatamente se observa una señal intensa perteneciente a trazas no deuteradas del disolvente, finalmente con el mayor desplazamiento se encuentra una señal doble de dobles que corresponde a los protones del anillo de p-xileno los cuales poseen un entorno químico idéntico ver figura 10.

 ISSN: 2007 8102

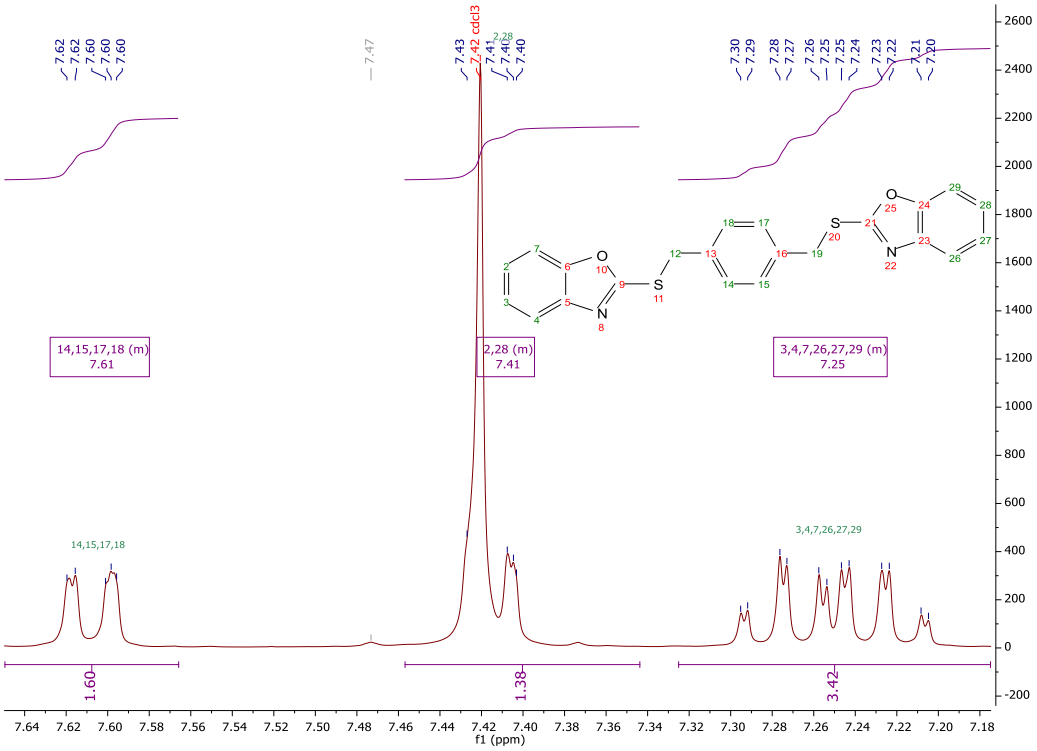


Figura 10. Acercamiento del espectro de RMN ^{1}H del compuesto RG4, visualizado en MestreNova versión 14.3.1

Resultados del 1,2-bis((benzo[d]oxazol-2-iltio)metil)etano (compuesto RG5)

Se purifico como un sólido blanco cristalino soluble en THF y DCM, este sólido presento un punto de fusión de 144 °C y la reacción tuvo un rendimiento del 74%

en la figura 11 se observan las señales correspondientes al estiramiento y flexión de los enlaces de la molécula, los cuales delatan la presencia de algunos grupos específicos de la estructura molecular. En 2987 cm-1 se observa la señal perteneciente a hidrogeno de carbono sp3 y al igual que en los casos anteriores se observan señales en aromáticos pertenecientes al benceno del 2-mercaptobenzoxazol y las señales de C=N y C-O en 1500 cm^{-1} y 1142 cm^{-1} respectivamente y una señal en 1214 cm^{-1} correspondiente al enlace C-S.

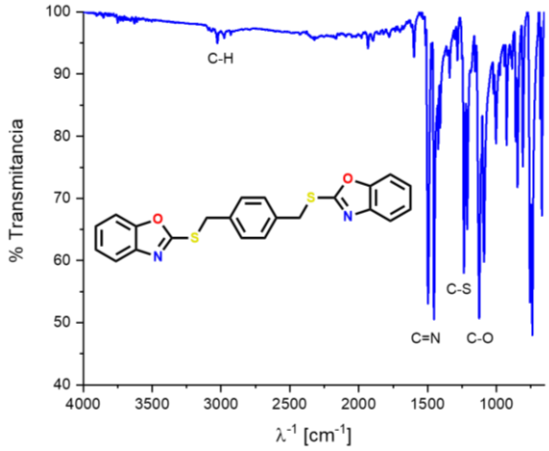


Figura 11. Espectro FT-IR del compuesto RG5, visualizado en Origin

 ISSN: 2007 8102

La estructura de rayos X de la figura 12 demuestra el correcto ataque del azufre del grupo mercapto a los carbonos antes unidos a bromos formando el producto disustituido, cabe destacar que por la estructura molecular simétrica la formula empírica y la masa molecular de esta son mostrados a la mitad de su valor real lo que corresponde a la unidad asimétrica ver tabla 4, se trata de una estructura cristalina distinta a la reportada en la literatura con lo que se puede decir que la molécula presenta polimorfismo.

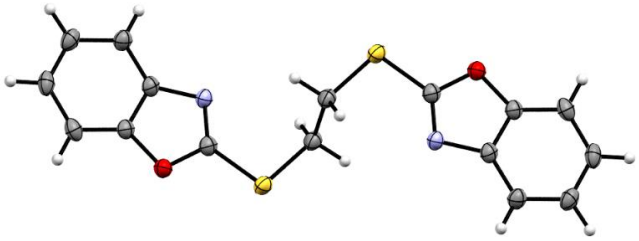


Fig. 12 Estructura de DRX del compuesto RG5, los elipsoides son representados a una probabilidad del 50%, visualizado en Mercury versión 2022.3.0.

Tabla 4. Información cristalográfica del compuesto RG5

Formula empírica	C_8H_6NOS
Masa de la formula	164.20 g/mol
Temperatura	130 K
Sistema cristalino	Triclínico
Z	2
R_1	0.05
wR_2	0.1510
Goodness of fit (GOF)	1.079

Resultados del Acido 3-(benzo[d]oxazol-2-iltio)propanoico (compuesto RG6)

Se obtuvo un sólido amarillento soluble en acetona, MeCN y alcoholes, con un punto de fusión de 93° C y un rendimiento de reacción del 50%

En la figura 13 se observa una señal de 3332 cm^{-1} a 2357 cm^{-1} que corresponde al protón del ácido carboxílico, al igual que una señal intensa en 1720 cm^{-1} correspondiente al carbonilo de este mismo, al igual que en los casos anteriores se observa una señal en 1500 cm^{-1} correspondiente al enlace C=N y otra en 1129 cm^{-1} para el enlace C-O ambas pertenecientes al heterociclo, finalmente en 1210 cm^{-1} se observa la señal del enlace C-S.

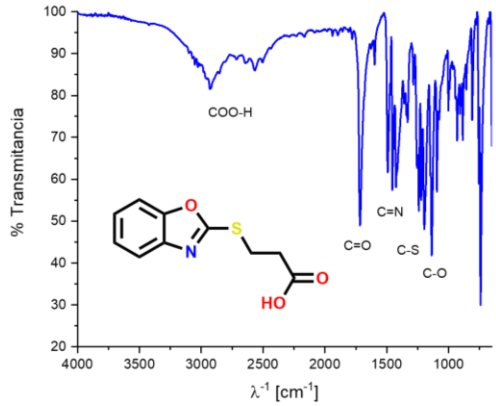


Figura 13. Espectro FT-IR del compuesto RG6, visualizado en Origin

La estructura de rayos X de la figura 14 muestra el ataque del azufre sobre el carbono 3 del ácido propiónico, además de ser una estructura cristalina no reportada con anterioridad, ver tabla 5.

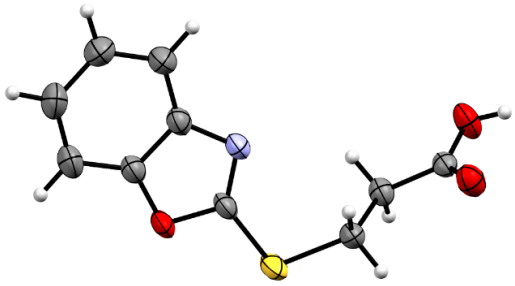


Figura 14. Estructura de DRX del compuesto RG6, los elipsoides son representados a una probabilidad del 50%, visualizado en Mercury

Tabla 5. Información cristalográfica del compuesto RG5

Formula empírica	$C_{10}H_9NO_3S$
Masa de la formula	223.24 g/mol
Temperatura	298 K
Sistema cristalino	Monoclínico
Z	2
R_1	0.03
wR_2	0.0861
Goodness of fit (GOF)	1.083

ISSN: 2007 8102

Este fue aislado como subproducto en la síntesis del compuesto RG6, tras su purificación se obtuvieron monocristales aptos para difracción, mostrando la estructura resuelta en la figura 15.

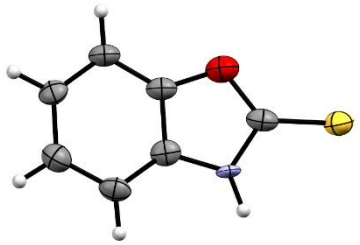


Figura 15. Estructura de DRX del 2-mercaptobenzoxazol, los elipsoides son representados a una probabilidad del 50%, visualizado en Mercury versión 2022.3.0.

Se observa que el nitrógeno del heterociclo se encuentra protonado y el azufre formando un enlace de carácter doble con el carbono, siendo esta su forma tautomerica observada en la figura 10 y la más estable.

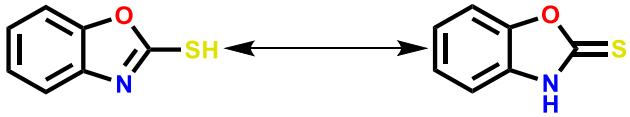


Figura 16. Equilibrio tautomerico del 2-mercaptobenzoxazol.

r

Se propone el mecanismo de reacción de la figura 17 para la síntesis realizada tomando en cuenta la estructura de DRX del 2-mercaptobenzoxazol.

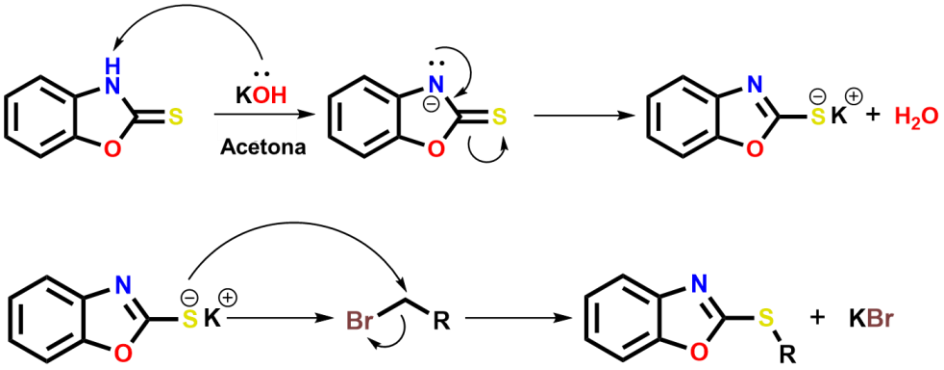


Figura 17. Mecanismo de reacción para la alquilación del grupo tiol del 2-mercaptobenzoxazol.

La desprotonación se suscita sobre el nitrógeno del heterociclo lo que deja al nitrógeno con un par libre de electrones y cargado negativamente, posterior a ello el par libre baja al enlace con el carbono 2 lo que ocasiona que el par de electrones del enlace doble C=S suba al azufre dejándolo con un par libre de electrones y cargado negativamente lo que le confiere un carácter de nucleófilo cargado tomando como contraión al potasio. En la segunda etapa de la reacción el azufre ataca al electrófilo siendo este el carbono del bromuro, creando un nuevo enlace C-S y desplazando al bromo en un solo paso ya que se trata de una reacción de tipo S_N2.

El presente trabajo tiene como principal aporte la resolución de las estructuras de DRX de monocristal de los compuestos RG1, RG4 y RG6 los cuales no han sido descritos con anterioridad en la literatura

 ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

Se pretende realizar ensayos *in silico* de actividad biológica para conocer el potencial antimicrobiano de las moléculas y en base a estos ensayos preliminares realizar ensayos *in vitro* de actividad biológica y conocer una perspectiva de su potencial farmacológico.

Conclusiones

Se encontraron las condiciones de reacción óptimas para la obtención de seis moléculas orgánicas (RG1 a RG6) derivadas del 2-mercaptobenzoxazol con bromuros de alquilo, las cuales se sitúan en rangos de temperatura de 0-60 °C y en rangos de tiempo de 8-12 h.

Las moléculas obtenidas fueron caracterizadas por técnicas espectroscópicas como FT-IR y RMN de ^{1}H para la molécula RG-4. Aunado a esto la obtención de monocristales nos permitió conocer la estructura molecular absoluta de cinco de los productos (RG1, RG2, RG3, RG5 y RG6) a través de DRX de monocristal.

Adicional a esto la caracterización del subproducto de la reacción RG6 a través de DRX de monocristal nos revelo la presencia de 2-mercaptobenzoxazol lo cual indica la disminución de la pureza del bromuro de alquilo empleado que deriva en materia prima sin reaccionar y por ende una disminución en los rendimientos de reacción.

Por último, la estructura de DRX del 2-mercaptobenzoxazol nos indica que la desprotonación se suscita sobre el nitrógeno del heterociclo y no sobre el azufre como se estimaba.

Agradecimientos

Al cuerpo académico UV-CA-160 por brindar los materiales e infraestructura para la realización de este proyecto. A la Dra. Silvia Elena Castillo Blum y la Dra. Karla Patricia Salas Martin miembros del departamento de química inorgánica y nuclear de la Facultad de Química de la UNAM por la caracterización espectroscópica de las moléculas. Así como, a los proyectos DGAPA-PAPIIT IN227523 y PAIP 5000-9035.

Referencias

[1] S. V. M. Ángel, “La resistencia microbiana en el contexto actual y la importancia del conocimiento y aplicación en la política antimicrobian”, Revista Habanera de Ciencias Médicas, vol. 16, no. 3, pp. 402-419, 2017, ISSN 1729-519X.

[2] D. Lin, X.Gu, & Y. Ruan, “A novel electrochemical sensor for the determination of sunset yellow using 2-mercaptobenzoxazole modified glassy carbon electrode.” Analytical Methods, vol. 9 no.8, pp.1239-1245, 2017, doi:10.1039/c6ay02674a.

[3] C. Cheptea et al., "Optimized synthesis of new N-Mustards based on 2-Mercaptobenzoxazole derivatives with antitumor activity", Biomedicines, vol. 9, no. 5, p. 476, abr. 2021, doi: 10.3390/biomedicines9050476.

[4] A. S. Sokolova et al., “Synthesis and biological activity of heterocyclic borneol derivatives”, Chemistry of Heterocyclic Compounds, vol. 53, n.o 3, pp. 371-377, 2017, doi: 10.1007/s10593-017-2063-3.

[5] S.-T., L., P.-N., G., & F.-A., M. “Synthesis and applications of 2-mercaptobenzoxazole and its derivatives.” Journal of the Mexican Chemical Society, vol.62 no.4, pp. 332-347, 2018, doi: 10.29356/jmcs.v62i4.440

[6] G.E. María Sarai, “Síntesis y caracterización estructural de 2-(2-aminofenil) benzoxazoles con potencial actividad biológica”, Tesis de licenciatura, Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo, 2019.

[7] C. P. Kaushik y M. Chahal, “Synthesis and antibacterial activity of benzothiazole and benzoxazole-appended substituted 1,2,3-triazoles”, Journal of Chemical Sciences, vol. 132, n.o 1, oct. 2020, doi: 10.1007/s12039-020-01844-8.

[8] R. V. Satyendra, K. A. Vishnumurthy, H. M. Vagdevi, K. P. Rajesh, M. Hanumanthappa, y A. Shruthi, “In vitro antimicrobial and molecular docking of dichloro substituted benzoxazole derivatives”, Medicinal Chemistry Research, vol. 21, n.o 12, pp. 4193-4199, ene. 2012, doi: 10.1007/s00044-011-9963-z.

 ISSN: 2007 8102

Evaluación de la huella de carbono en procesos de producción de biomasa microalgal

Beatriz Adriana Ascencio Priego[1], Saira Pérez de la Cruz[1], Moisés Abraham Petriz Prieto[1], Esveidi Montserrat Valdovinos García[1]*
[1]División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Estatal Libre Villahermosa-Comalcalco Km. 27+000 s/n Ranchería Ribera Alta, C.P. 86205, Jalpa de Méndez, Tabasco, México.
Correo de contacto: esveidi.valdovinos@ujat.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Química (Procesos).*

Resumen

Las emisiones de CO_2 a la atmosfera son una preocupación debido al impacto que provoca en el cambio climático. Las microalgas tienen la capacidad de capturar CO_2 y transformarlo a compuestos intracelulares de interés comercial. Sin embargo, los procesos para el aprovechamiento generan nuevas emisiones de CO_2 debido al consumo de energía. Para el aprovechamiento de la biomasa microalgal primero es necesario el cultivo de las microalgas, etapa donde se captura CO_2, posteriormente se cosecha la biomasa y finalmente se extraen los compuestos de interés. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto ambiental de una serie de escenarios de proceso para la producción de biomasa de microalgas, utilizando como indicador la huella de carbono. Para la evaluación de este parámetro se consideró solo las emisiones de CO_2 generadas por el consumo de energía. Se determinó que las emisiones de los escenarios van desde 0.937 a 17.994 Ton de CO_2/año.

***Palabras clave**: Microalgas, biomasa, emisiones de CO_2, captura de CO_2.*

Abstract

CO_2 emissions into the atmosphere are a concern due to the impact it causes on climate change. Microalgae have the ability to capture CO_2 and transform it into intracellular compounds of commercial interest. However, the processes for the use generate new CO_2 emissions due to energy consumption. For the use of microalgae biomass, it is first necessary to cultivate the microalgae, a stage where CO_2 is captured, then the biomass is harvested and finally the compounds of interest are extracted. The objective of this work was to evaluate the environmental impact of a series of process scenarios for the production of microalgae biomass, using the carbon footprint as an indicator. For the evaluation of this parameter, only the CO_2 emissions generated by energy consumption were considered. It was determined that the emissions of the scenarios range from 0.937 to 17,994 tons of CO_2/year.

***Key words**: Microalgae, biomass, CO_2 emissions, CO_2 capture.*

Introducción

Las microalgas son organismos fotoautótrofos (dependientes de la luz) que crecen a partir de materia orgánica y obtienen su energía de la luz solar, algunas especies también pueden usar materia orgánica para impulsar su crecimiento [1]. En comparación con la biomasa obtenida de otras fuentes, la biomasa de microalgas se destaca por tener un alto rendimiento en términos de productividad de aceite por área y el contenido de otros compuestos intracelulares de gran valor económico [1]. Uno de los beneficios de la biomasa de microalgas es que no compite por el uso de la tierra cultivable como sí lo hacen los cultivos comestibles, porque no requiere tierra fértil para el cultivo, lo que garantiza tanto el uso de la tierra como la seguridad alimentaria [2]. A diferencia de los cultivos terrestres, las microalgas tienen tasas de crecimiento más rápidas, es decir, la capacidad de producir continuamente más biomasa y la capacidad de duplicar su biomasa en tan solo 3.5 horas [3]. Por otro lado, se deben tener en cuenta factores cruciales antes de elegir una especie para su uso, por ejemplo, una especie debe ser evaluada en base a parámetros como ser resistente a los cambios ambientales, soportar altas

 ISSN: 2007 8102

concentraciones de CO_2, NO_X y SO_X durante la etapa de cultivo, una alta tasa de crecimiento, un alto contenido y buena calidad de aceites.

En este sentido la especie de microalga *Chlorella vulgaris* es una de las especies más prometedoras para capturar el CO_2 de los gases de combustión. Se ha informado que *Chlorella vulgaris* es la especie que podría crecer en una atmósfera que contenga hasta un 40% (v/v) de CO_2, con una tasa de fijación de CO_2 entre 0.73 y 2.22 g/L/día [3]. Además, se ha encontrado que otros compuestos presentes en el CO_2 alimentado en una corriente, por ejemplo, NO_X y SO_X, no afectan la producción de biomasa de microalgas de la especie *Chlorella Vulgaris*.

Debido a su excelente capacidad para capturar CO_2, la biomasa de microalgas ha atraído mucha atención en los últimos años, ya que podrían ayudar a reducir las emisiones de GEI, que son principalmente el resultado de la creciente demanda de energía [3]. Además, la biomasa de microalgas es útil porque contiene compuestos orgánicos valiosos y se puede utilizar para producir biocombustibles ya que tiene un alto contenido de lípidos y carbohidratos que pueden ser transformados [3]. Los escenarios de producción de biomasa microalgal pueden variar dependiendo del objetivo de la biomasa, sin embargo, todos debería considerar primero una etapa de cultivo, luego la cosecha de la biomasa y finalmente el secado si la biomasa no será tratada inmediatamente. Las microalgas se pueden cultivar en sistemas abiertos (canales o estanques al aire libre) o cerrados (fotobiorreactores de diversos tipos), y es en esta etapa del proceso el CO_2 es utilizado como fuente de carbono para la producción de la biomasa. Posteriormente, la biomasa se debe cosechar, para ello es recomendable que este proceso se divida en dos etapas, cosecha primaria donde se concentra la biomasa hasta aproximadamente 50 g/L, y la cosecha secundaria donde la biomasa debe alcanzar concentraciones de aproximadamente 200 g/L, esto con el fin de tener un menor consumo de energía. Finalmente, si la biomasa será almacenada esta debe pasar al proceso de secado para evitar su degradación. Una vez cosechada la biomasa esta puede ser utilizada para extraer todos los compuestos de interés que se deseen [4].

Todos los procesos industriales generan grandes cantidades de CO_2 debido al consumo de energía, estas emisiones dependerán en gran medida del combustible utilizado para la generación de dicha energía consumida. Un indicador para cuantificar las emisiones de CO_2 es la huella de carbono, la cual cuantifica no solo la cantidad de CO_2 emitido si no la cantidad total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a un producto o proceso [5]. Es sencilla de cuantificar y permite evaluar el posible impacto ambiental que el uso de estas tecnologías puede tener debido al consumo de energía. El análisis de la huella de carbono proporciona como resultado un dato que puede ser utilizado como indicador ambiental global del proceso y este puede ser el punto de referencia básico para el inicio de toma de decisiones sobre el consumo y reducción de energía en los procesos.

La operación de los procesos necesarios para el aprovechamiento de la biomasa microalgal genera emisiones de CO_2 debido al consumo de energía eléctrica. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto ambiental de una serie de escenarios de proceso para la producción de biomasa de microalgas, utilizando como indicador la huella de carbono. Para la evaluación de este parámetro se consideró solo las emisiones de CO_2 generadas por el consumo de energía eléctrica en los procesos. Los escenarios formados por diversas tecnologías para una misma etapa de proceso fueron simulados en SuperPro Designer v10 y con ello evaluar el consumo de energía debido a la operación de los mismos.

Metodología

Descripción de los escenarios de producción de biomasa microalgal

Los procesos de producción de biomasa de microalgas incluyen las siguientes etapas: cultivo, cosecha primaria, cosecha secundaria y el secado final de la biomasa, Figura 1. En la etapa de cultivo se consideró evaluar dos tecnologías, la primera opción (caso A1) es un sistema abierto, un biorreactor en forma de canales, conocidos en inglés como raceway pond (al que llamaremos ORP), y la segunda opción (caso A2) es un sistema cerrado, un fotobiorreactor tubular (al que llamaremos CFBT), distribuido de forma horizontal en la superficie terrestre. Se consideró 1 ha como superficie de cultivo para ambos tipos de cultivo. Como alimentación a la etapa de cultivo se debe contar con una etapa previa, el precultivo, el cual tiene como fin reproducir las células de microalgas que posteriormente van a alimentar los fotobiorreactores. Para ambos casos se consideró un precultivo en fotobiorreactor tubular vertical. En la segunda etapa de proceso se evalúa la cosecha primaria, en la cual se considera autofloculación (caso B) de la biomasa estimulada por aumento de pH en el cultivo (se agregó NaOH). El objetivo de esta etapa es concentrar la biomasa hasta 50 g/L, para ello el cultivo se mezcla con el floculante y

 ISSN: 2007 8102

posteriormente pasa a un clarificador. Se consideró esta técnica debido a la simpleza operacional del proceso y porque de acuerdo a los resultados reportados por Valdovinos et al., 2020 indican que el consumo de energía no varía considerablemente si cambiamos de floculante. En la tercera etapa del proceso se realiza la cosecha secundaria (casos C), la cual tiene el fin de concentrar la biomasa de microalgas hasta 200 g/L, para esta etapa se consideraron cuatro tecnologías, centrifuga (caso C1), filtrado con vacío (caso C2), filtro prensa de banda (caso C3) y filtro prensa (caso C4). Finalmente, la biomasa pasa a la etapa de secado con el fin de tener un producto que pueda ser almacenado y posteriormente utilizado. En esta etapa solo se consideró el secado en un secador de tambor (caso D), ya que se ha reportado que su aplicación industrial es amplia y el consumo de energía es menor que otras tecnologías para el mismo fin.

Una vez establecidas las tecnologías para cada etapa del proceso y al combinarlas, se generaron ocho escenarios, los cuales se describen en la Tabla 1. Las condiciones de operación y consumos de energía considerados para la evaluación de la huella de carbono, tanto de las tecnologías individuales como de los escenarios de proceso, están reportadas por [6] y [7], y se muestran en la Tabla 2.

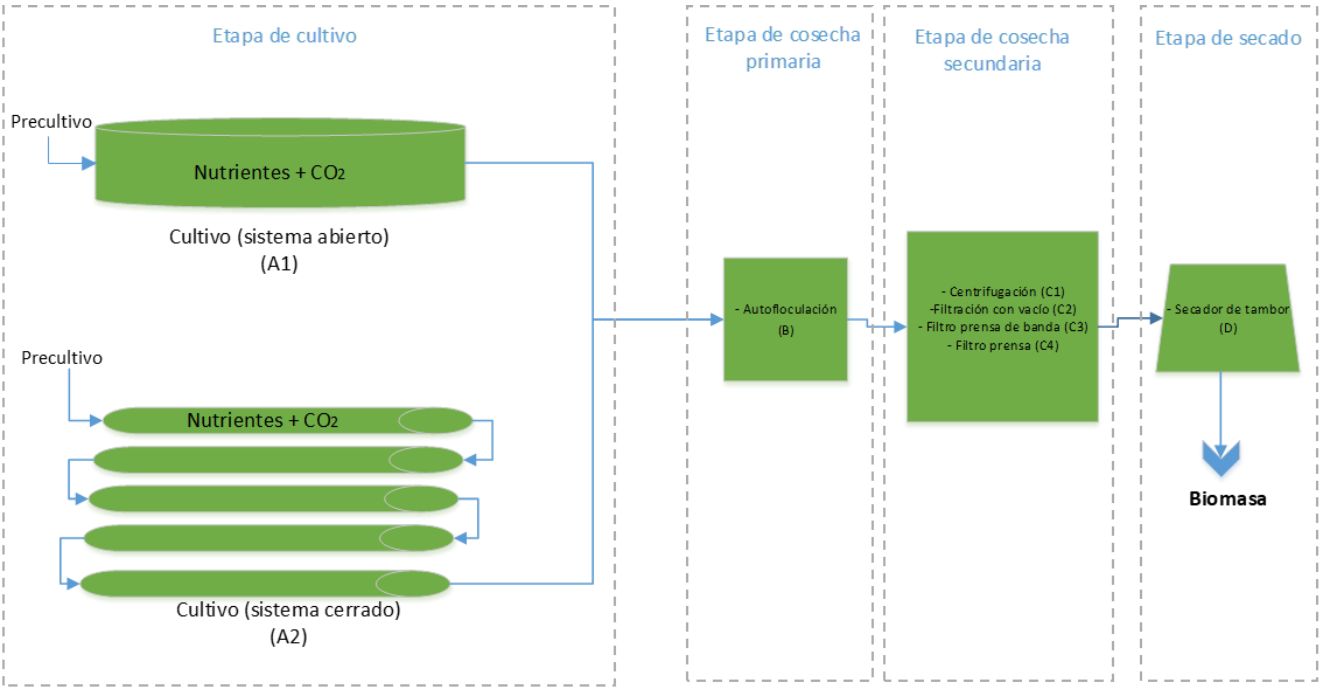


Figura 1. Etapas de proceso para la producción de biomasa microalgal.

Tabla 1. Descripción de tecnologías por escenario para la producción de biomasa microalgal.

Escenario	Cultivo	Cosecha primaria	Cosecha secundaria	Secado
1	ORP (A1)	Autofloculación (B)	Centrifugación (C1)	Secador de tambor (D)
2	ORP (A1)	Autofloculación (B)	Filtro con vacío (C2)	Secador de tambor (D)
3	ORP (A1)	Autofloculación (B)	Filtro prensa de banda (C3)	Secador de tambor (D)
4	ORP (A1)	Autofloculación (B)	Filtro prensa (C4)	Secador de tambor (D)
5	CFBT (A2)	Autofloculación (B)	Centrifugación (C1)	Secador de tambor (D)
6	CFBT (A2)	Autofloculación (B)	Filtro con vacío (C2)	Secador de tambor (D)
7	CFBT (A2)	Autofloculación (B)	Filtro prensa de banda (C3)	Secador de tambor (D)
8	CFBT (A2)	Autofloculación (B)	Filtro prensa (C4)	Secador de tambor (D)

 ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Consumo de energía por tecnología para cada etapa del proceso de producción de biomasa microalgal. Tomado de [Valdovinos 2020, Valdovinos 2021].

Escenario	Precultivo (kWh/año)	Cultivo (kWh/año)	Cosecha primaria (kWh/año)	Cosecha secundaria (kWh/año)	Secado (kWh/año)
1	16 958	21 617	5 837	9 308	1 497
2	16 958	21 617	5 837	6 213	1 497
3	16 958	21 617	5 837	941	1 497
4	16 958	21 617	5 837	963	1 497
5	5 453	869 600	5 720	16 777	2 177
6	5 453	869 600	5 720	9 027	2 177
7	5 453	869 600	5 720	941	2 177
8	5 453	869 600	5 720	1 399	2 177

Cálculo de la huella de carbono

La huella de carbono es un indicador ambiental que permite calcular la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos en los ocho escenarios que se generaron parta evaluar la producción de microalgas. Para evaluar la huella de carbono esta se calculó en función solamente del consumo de energía. Las emisiones se calcularon con la siguiente ecuación (ec.1):

$$E = A * FE * (1 - \frac{ER}{100}) \quad \text{ec.1}$$

donde E es la emisión total anual (Ton CO_2/año), A es la tasa de actividad (es decir, el consumo de energía anual, kWh/año) que para estos casos fue el consumo de energía eléctrica anual [8], FE es el factor de emisión para ello se buscó que este factor fuera en referencia a las emisiones de la Central Termoeléctrica Plutarco Elías, ubicada en el municipio Petacalco, Guerrero, México ya que es una de las centrales con emisiones más altas de GEI en el país por la generación de energía eléctrica con carbón (FE=0.0004 Ton CO_2/kWh) [9] y por último ER que es el porcentaje de eficiencia de reducción (ER=95 %).

Resultados y discusión

Evaluación de escenarios con cultivo de biomasa microalgal en sistema abierto

Los resultados de las emisiones de CO_2 generadas solo por el consumo de energía para que el proceso se ponga en operación se resumen en la Tabla 3. Como podemos observar las emisiones están alrededor de 1 Ton de CO_2 emitido por año, siendo el escenario 1 el que más emisiones genera y el escenario 3 el que genera menos emisiones. Este comportamiento se debe al consumo de energía en la etapa de cosecha secundaria, el escenario 1 considera centrifugación de la biomasa para concentrarla hasta la concentración objetivo (200 g/L), y se ha reportado ampliamente que, aunque esta tecnología es muy eficiente es altamente consumidora de energía. Ahora que, si el objetivo del proceso es que sea más rápido, al comparar el escenario 1 con el resto, este solamente genera 17.86% más CO_2 comparado con el escenario con menos emisiones (escenario 3).

Tabla 3. Emisiones de CO_2 por tecnología en cada etapa del proceso de producción de biomasa microalgal en sistema abierto, y del proceso completo, en Ton de CO_2/año.

Escenario	Precultivo	Cultivo	Cosecha primaria	Cosecha secundaria	Secado	Completo
1	0.33916	0.43234	0.11674	0.18616	0.02994	1.10434
2	0.33916	0.43234	0.11674	0.12426	0.02994	1.04244
3	0.33916	0.43234	0.11674	0.01882	0.02994	0.937
4	0.33916	0.43234	0.11674	0.01926	0.02994	0.93744

En la Figura 2 podemos observar que la etapa de mayor impacto en la generación de CO_2 es la etapa de cultivo (esta etapa incluye el precultivo del inóculo y el cultivo de la biomasa en sistema abierto), esto es debido al

 ISSN: 2007 8102

elevado consumo de energía para la operación de esta etapa en el proceso. En los escenarios 1 y 2 observamos que también la etapa de cosecha secundaria tiene un elevado impacto en las emisiones de CO_2, sin embargo, si se usan las tecnologías como filtro prensa de banda (caso C3) o filtro prensa (caso C4), tal es el caso de los escenarios 3 y 4, el consumo de energía es menor y por ende las emisiones de CO_2 también lo son. Observamos también que, aunque pareciera que la etapa de secado podría ser intensa en la generación de emisiones de CO_2, se observa que no es así, comparada con el resto de las etapas del proceso. En este punto hay que recordar que para el cálculo de la generación de CO_2 solo se consideró el consumo de energía para la operación continua del proceso, sin embargo, la etapa de secado también es consumidora de energía por la necesidad de calentar el aire que se combina con la biomasa para ser secada y para éste calentamiento se debe generar vapor, lo que ocasionaría que las emisiones de CO_2 en esta etapa serían mayores. El consumo de energía para el calentamiento del aire no fue considerado en este estudio.

En la Figura 3 observamos que un poco más del 30% de las emisiones de CO_2 en todos los escenarios se debe al precultivo, es decir a la preparación del inoculo para el cultivo. En cultivo también genera aproximadamente entre 30 y 35% de las emisiones de CO_2 de todo el proceso, cuando en los escenarios de proceso se utilizan sistemas de cultivo abierto (caso A1).

Uno de los intereses en cultivar la biomasa de microalgas, es su capacidad de capturar CO_2, ya que al igual que las plantas, éstas lo requieren como fuente de carbono y mediante la fotosíntesis lo transforman a biomasa [10]. En este caso se ha reportado que el sistema de cultivo abierto, bajo las condiciones de operación a las que se menciona en este estudio, se lograría una captura de 102.13 Ton de CO_2/año [6], lo cual indica que se captura más CO_2 que el que se estaría generado por obtener biomasa microalgal útil para ser procesada y aprovechada en la obtención de productos intracelulares de microalgas de interés comercial.

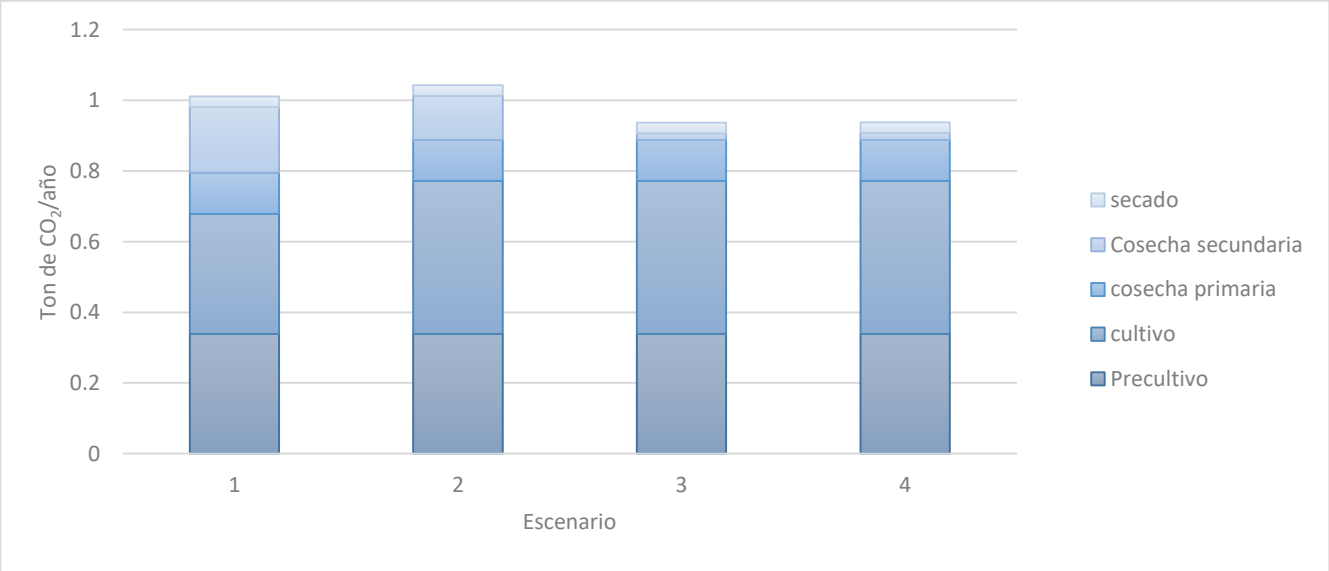


Figura 2. Generación de CO_2 por etapas del proceso de producción de biomasa microalgal en sistema abierto (ORP).

 ISSN: 2007 8102

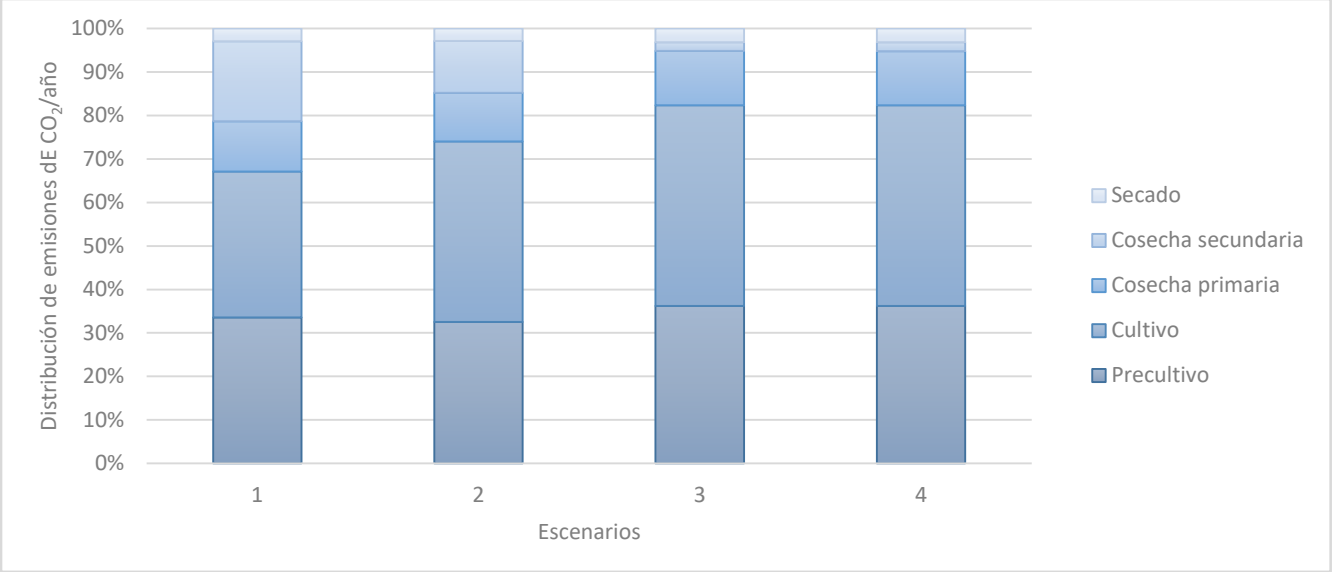


Figura 3. Distribución porcentual de la generación de CO_2 en cada etapa del proceso de producción de biomasa microalgal en sistema abierto (ORP).

Evaluación de escenarios con cultivo de biomasa microalgal en sistema cerrado

La Tabla 4 proporciona un resumen de las emisiones de CO_2 que se produjeron únicamente como resultado de la energía necesaria para ejecutar cada etapa del proceso cuando se utiliza sistema cerrado (caso A2) para el cultivo de la biomasa microalgal. Como podemos ver, las emisiones de todos los escenarios (5, 6, 7 y 8) oscilan entre las 17 y 18 toneladas de CO_2 al año, siendo el escenario 5 el que más emisiones genera y el escenario 7 el que genera menos emisiones. El escenario 5 considera centrifugación (caso C1) para la cosecha secundaria y debido a que es una tecnología con elevado consumo energético genera una elevada cantidad de CO_2. En comparación con los otros escenarios, el escenario 5 solo produce un 5% más de CO_2 que el escenario 7, es importante considerar esto si el objetivo es que el proceso sea más rápido.

En cuanto al escenario 7, que es el de menor consumo de energía, este utiliza filtro prensa de banda (caso C3), y pues este es la tecnología de menor consumo de energía para la cosecha secundaria, y por ende la que genera menos emisiones en esta etapa del proceso.

Tabla 4. Emisiones de CO_2 por tecnología en cada etapa del proceso de producción de biomasa microalgal en sistema cerrado, y del proceso completo, en Ton de CO_2/año.

Escenario	Precultivo	Cultivo	Cosecha primaria	Cosecha secundaria	Secado	Completo
5	0.10906	17.392	0.1144	0.33554	0.04354	17.99454
6	0.10906	17.392	0.1144	0.18054	0.04354	17.83954
7	0.10906	17.392	0.1144	0.01882	0.04354	17.67782
8	0.10906	17.392	0.1144	0.02798	0.04354	17.68698

La Figura 4 muestra que la etapa de cultivo, que incluye el precultivo del inóculo y el cultivo de biomasa microalgal en sistema cerrado, es la de mayor impacto en la generación de CO_2 y esto es debido al elevado consumo energético de estas etapas de proceso. La cosecha primaria es la etapa que ocupa el tercer lugar en las emisiones de CO_2 y es seguida por la cosecha secundaria. Además, vemos que, contrariamente a lo que pueda parecer, la etapa de secado del proceso no produce una cantidad significativa de emisiones de CO_2 en comparación con las otras etapas del proceso. En este punto, se debe tener en cuenta que para el cálculo de la generación de CO_2 solo se tuvo en cuenta el consumo de energía para la operación continua del proceso; sin embargo, la etapa de secado también consume energía debido al requerimiento de calentar el aire que se combinará con la biomasa a secar y para este calentamiento se debe generar vapor, lo que generaría mayores emisiones de CO_2 en esta

 ISSN: 2007 8102

etapa. En la Figura 5 observamos que un poco más del 90% de las emisiones de CO_2 se debe al precultivo, es decir a la preparación del cultivo, por lo que es importante evaluar la posibilidad de utilizar otro sistema para la preparación de precultivo (inóculo) que consuma menos energía y genere menos emisiones de CO_2. Otra alternativa puede ser el empleo parcial o total de energía limpia o energías renovables que no generen emisiones de CO_2 y con ello reducir el impacto ambiental del proceso.

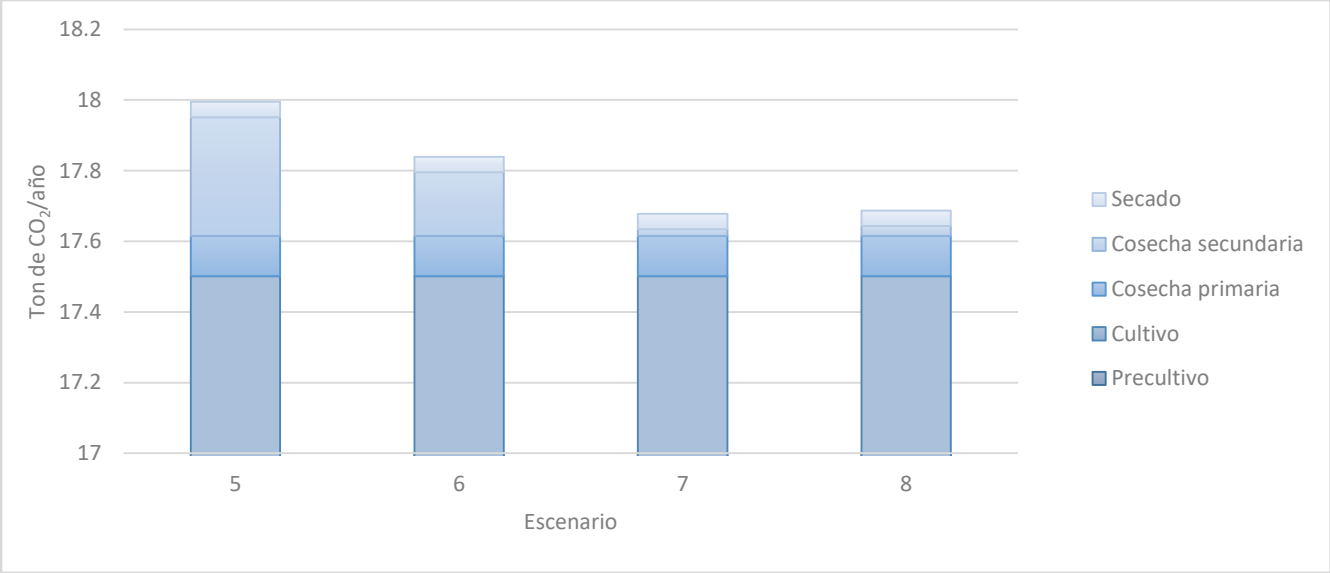


Figura 4. Generación de CO_2 por etapas del proceso de producción de biomasa microalgal en sistema cerrado (CFBT).

En el caso del sistema de cultivo cerrado se ha reportado que, y bajo las condiciones de operación que se consideran en este estudio, se lograría una captura de 148.4 Ton de CO_2/año [7] lo que demuestra que éste proceso sería capaz de capturar mucho más CO_2 que el que se produciría mediante la producción de biomasa de microalgas, que luego sería procesada y utilizada para producir productos intracelulares de interés para la industria.

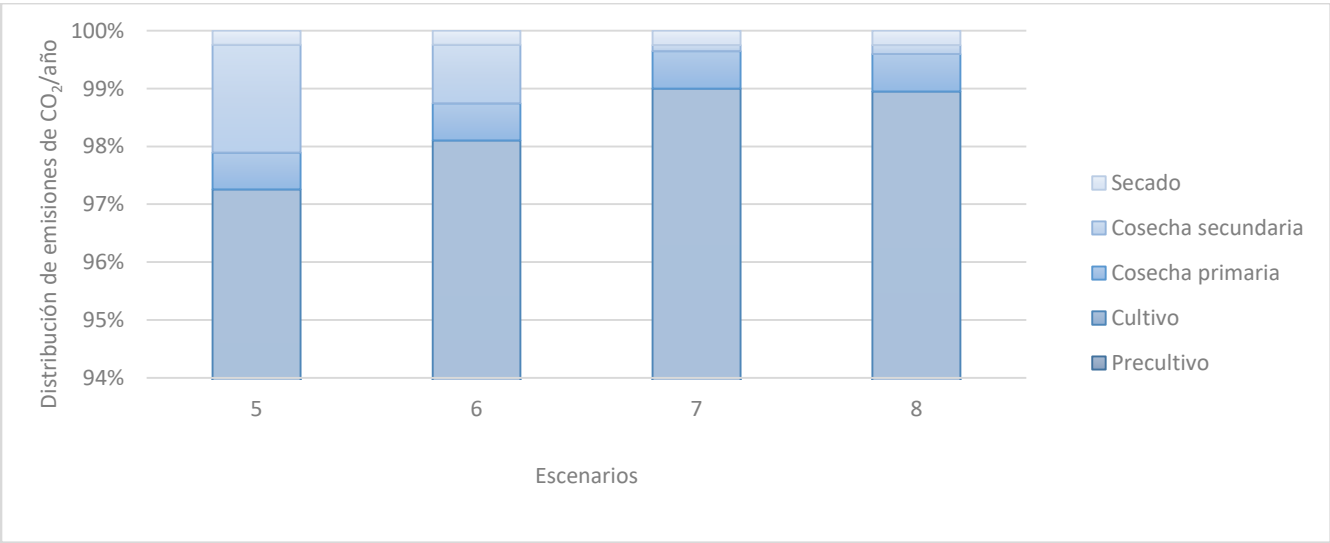


Figura 5. Generación de CO_2 por etapas del proceso de producción de biomasa microalgal en sistema cerrado (CFBT).

 ISSN: 2007 8102

A pesar de los beneficios ambientales de las microalgas, las tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa consumen mucha energía y pueden generar altas emisiones de GEI. En la literatura existen pocos trabajos donde se reporta de manera puntual el impacto ambiental referente a las emisiones de CO_2 que generan las tecnologías involucradas en el proceso de producción de biomasa microalgal. Uno de ellos es el reportado por Maranduba et al., [11], ellos estudiaron diferentes alternativas o escenarios de proceso para comparar el ciclo de vida de las emisiones de GEI del biodiésel de microalgas. En la evaluación de su escenario base determinaron que este tendría una huella de carbono de 5.12 Ton de CO_{2eq}/Ton de biodiésel producido, muy por encima del valor más alto determinado en este estudio (0.3737 Ton de CO_2/Ton de biomasa seca producida en el escenario 5 y 0.0229 Ton de CO_2/Ton de biomasa seca producida en el escenario 1, éste último similar al de Maranduba pero sin considerar la etapa de extracción ni la transesterificación). El escenario base de Maranduba incluye el cultivo de la biomasa en sistema abierto (similar al caso A1), la cosecha se realiza mediante floculación, centrifugación, un secado mecánico y otro térmico, posterior a la cosecha se extrae el aceite y se realiza la transesterificación para la producción de biodiésel. Maranduba también reporta que el proceso de cultivo mostró una contribución promedio a las emisiones totales de GEI de alrededor del 45.81%, valor similar a los obtenidos en los escenarios 1, 2, 3 y 4 evaluados en este estudio y que incluyen sistema de cultivo abierto como los de Maranduba. Como observamos, el mayor impacto en las emisiones del proceso son consecuencia de la etapa de cultivo en ambos grupos de escenarios, por lo cual se deben buscar alternativas para mitigar dichas emisiones.

Trabajo a futuro

Este trabajo se deriva de una amplia investigación acerca de procesos para la producción de biomasa microalgal, en la cual se han evaluado con parámetros técnicos y económicos varios escenarios de producción, con la finalidad de poder comparar entre ellos su posible utilidad, así como su impacto energético y económico. El trabajo que continua es evaluar otros impactos ambientales y hacer más detallada la evaluación de la huella de carbono considerando todas las emisiones de gases de efecto invernadero que se pudieran generar en este tipo de procesos.

Conclusiones

En este estudio se calculó la huella de carbono de diversos escenarios para la producción de biomasa microalgal que consideran el cultivo en sistema abierto y sistema cerrado. Se demostró que los escenarios que consideran el cultivo de biomasa en sistema abierto (1, 2, 3 y 4) son escenarios que contienen una menor huella de carbono, esto es debido a una demanda de energía menor para la producción de microalgas, en comparación con los escenarios que consideran el cultivo de la biomasa en sistema cerrado. En los escenarios que consideran el sistema abierto para el cultivo de la biomasa, el escenario con la huella de carbono más alta es el número 1, y esto es debido a la centrifugación que se consideró para la cosecha secundaria de la biomasa, ya que, aunque esta tecnología es muy eficiente es altamente consumidora de energía comparada con las otras tecnologías disponibles para esta etapa. Por otro lado, para los escenarios que consideran el cultivo de la biomasa en sistema cerrado (escenarios 5, 6, 7, y 8) utilizan una alta demanda de energía para todo el proceso de producción de microalgas. En este grupo de escenarios resalta el escenario 5, que al igual que el escenario 1 que considera el cultivo de biomasa en sistema abierto, utiliza la centrifugación y aunque esta tecnología es muy eficaz consume mucha más energía y esto provoca una mayor emisión de CO_2.

Este estudio da una idea clara de las contribuciones que hace cada tecnología en los escenarios del proceso, además permite comparar los escenarios para la producción de biomasa de microalgas y con ello analizar el impacto ambiental mediante la cuantificación de la huella de carbono que se genera a través del consumo de energía de los procesos. También se determinó que es factible el empleo de las microalgas para capturar CO_2 proveniente de gases de combustión de centrales eléctricas y, que, aunque éstas sean procesadas para ser aprovechadas, las emisiones que se generan son mucho menores que las que se capturan.

Referencias

[1] A. Raheem, P. Prinsen, A. K. Vuppaladadiyam, M. Zhao, and R. Luque, “A review on sustainable microalgae based biofuel and bioenergy production: Recent developments,” *J. Clean. Prod.*, vol. 181, pp. 42–59, 2018.

[2] K. S. Khoo *et al.*, “Recent advances in downstream processing of microalgae lipid recovery for biofuel production,” *Bioresour. Technol.*, vol. 304, p. 122996, 2020.

 ISSN: 2007 8102

[3] N. Moradi-kheibari, H. Ahmadzadeh, and M. Hosseini, “Use of solvent mixtures for total lipid extraction of Chlorella vulgaris and gas chromatography FAME analysis,” *Bioprocess Biosyst. Eng.*, vol. 40, no. 9, pp. 1363–1373, 2017.

[4] G. H. Huang, F. Chen, D. Wei, X. W. Zhang, and G. Chen, “Biodiesel production by microalgal biotechnology,” *Appl. Energy*, vol. 87, no. 1, pp. 38–46, 2010.

[5] P. D. Rodriguez, A. P. Arena, B. M. Civit, and R. Piastrellini, “Revisión de las consideraciones metodológicas utilizadas en estudios ambientales con enfoque de ciclo de vida sobre la producción de microalgas con fines energéticos,” *LALCA Rev. Latino-Americana em Avaliação do Ciclo Vida*, vol. 2, no. 1, pp. 35–59, 2018.

[6] E. M. Valdovinos-García, Juan Barajas-Fernández, María de los Ángeles Olán-Acosta, Moisés Abraham Petriz-Prieto, Adriana Guzmán-López, and Micael Gerardo Bravo-Sánchez, “Techno-Economic Study of CO 2 Capture of a Thermoelectric Plant Using Microalgae (Chlorella,” *Energies*, vol. 13, no. 2, pp. 1–19, 2020.

[7] E. M. Valdovinos-García, M. A. Petriz-Prieto, M. D. Olán-Acosta, J. Barajas-Fernández, A. Guzmán-López, and M. G. Bravo-Sánchez, “Production of Microalgal Biomass in Photobioreactors as Feedstock for Bioenergy and Other Uses: A Techno-Economic Study of Harvesting Stage,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 10, 2021.

[8] S. A. Abdul-Wahab, G. A. Al-Rawas, S. Ali, and H. Al-Dhamri, “Impact of the addition of oil-based mud on carbon dioxide emissions in a cement plant,” *J. Clean. Prod.*, vol. 112, pp. 4214–4225, 2016.

[9] I. N. de E. y C. C. INECC, “Factores de emision para los diferentes tipos de combustibles fosiles que se consumen en México.,” *nstituto Nac. Ecol. y Cambio Climático*, vol. 52, no. 5000, pp. 1–62, 2014.

[10] F. Ghasemi Naghdi, L. M. González González, W. Chan, and P. M. Schenk, “Progress on lipid extraction from wet algal biomass for biodiesel production,” *Microb. Biotechnol.*, vol. 9, no. 6, pp. 718–726, 2016.

[11] H. L. Maranduba, S. Robra, I. A. Nascimento, R. S. da Cruz, L. B. Rodrigues, and J. A. de Almeida Neto, “Reducing the life cycle GHG emissions of microalgal biodiesel through integration with ethanol production system,” *Bioresour. Technol.*, vol. 194, pp. 21–27, 2015.

 ISSN: 2007 8102

Evaluación del pretratamiento ultrasónico en la generación de azúcares fermentables con residuos de café

Solmaría Mandi Pérez-Guzmán[1], Joaquín Estrada-García[1], Juan Manuel Méndez-Contreras[1], Nayeli Gutiérrez-Casiano[2], Eduardo Hernández-Aguilar[2].*
[1]Instituto Tecnológico de Orizaba, Oriente 9 número 852 Colonia Emiliano Zapata. Orizaba, Veracruz. 94320. México.
[2]Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Prol. De Ote. 6 número 1009, Colonia Rafael Alvarado. Orizaba, Veracruz. 94340. México.
eduhernandez@uv.mx

***Área de participación**: Ingeniería química*

Resumen

El presente estudio evaluó los cambios en la eficiencia de producción de azúcares fermentables con la implementación de un pretratamiento ultrasónico a partir de residuos de la industria cafetalera, que tienen altas concentraciones de celulosa y hemicelulosa. Se aplicaron pulsos de ultrasonicación de 10 minutos en mezclas de agua con bagazo de café en proporción de 10 y 15% para una posterior hidrólisis enzimática con celulasas marca Enmex donde se monitoreó cada 30 minutos la concentración de azúcares fermentables y se comparó con un experimento testigo sin ultrasonicación. Los resultados mostraron que el experimento testigo logró tener una concentración final de 12.5 g/L en comparación con el experimento con ultra sonicación aplicada a la mezcla al 15% de residuos con agua que logro 15.2 g/L lo cual mostro que el proceso mejora 21.6% con la aplicación de la hidrolisis ultrasónica mejorando la afinidad del sustrato con la enzima.

***Palabras clave**: Azúcares fermentables, ultrasonido, hidrólisis, bagazo de café.*

Abstract

The aim of this study was to assess the impact of hydrolysis pretreatment on the production efficiency of fermentable sugars using residues from the coffee industry. These residues contain high concentrations of cellulose and hemicellulose. The study involved using ultrasonication in mixtures of water and coffee bagasse at proportions of 10% and 15%. The ultrasonication was applied in 10-minute pulses, followed by enzymatic hydrolysis using Enmex brand cellulases. The concentration of fermentable sugars was monitored every 30 minutes, and the results were compared with a control experiment that did not involve ultrasonication. The study found that the experiment that included ultrasonication on 15% of waste in water achieved a final concentration of 15.2 g/L, compared to the control experiment with a final concentration of 12.5 g/L. This indicates that the process can improve by 21.6% with ultrasonic hydrolysis. The process improves the affinity of the substrate with the enzyme, leading to a higher concentration of fermentable sugars.

***Key words**: Fermentable sugars, ultrasound, hydrolysis, coffee bagasse*

Introducción

El café se ha convertido en una de las bebidas más populares del mundo, incrementando constantemente su importancia comercial [1]. Hoy en día, el café es el segundo producto más comercializado en el mundo, después del petróleo. Consecuentemente, la industria del café es responsable de la generación de grandes cantidades de residuos, específicamente el bagazo de café [2]. El bagazo es un residuo sólido generado en la producción industrial del café instantáneo, después del proceso de extracción de sólidos solubles de los granos tostados y molidos, empleando agua como único agente de extracción [3]. Dicho residuo se produce en enormes cantidades, se estima que por cada kilogramo de café soluble producido se generan 2 kg de bagazo [4].

El bagazo de café es uno de los principales subproductos de la preparación del café instantáneo y es descartado como residuo debido a su falta de valor económico [5]. Es desechado en vertederos, causando contaminación en el suelo, agua, así como la emisión de gases de efecto invernadero [6]. Este residuo puede ser posteriormente valorizado, ya que tiene una composición química compleja, los polisacáridos (celulosa y hemicelulosa) representan más de la mitad de su masa en materia seca. Al contenido de polisacáridos le siguen la lignina y las

 ISSN: 2007 8102

proteínas, que representan el 25% y 15%, respectivamente. Además de contener lípidos que oscilan entre 7% y 21%, y los ácidos grasos predominantes son el linoleico y palmítico. También contiene varios minerales como potasio, magnesio, fósforo, calcio, aluminio, hierro, manganeso y cobre [7].

Los polisacáridos contenidos en el bagazo pueden ser degradados mediante hidrólisis enzimática. Para facilitar este procedimiento, se debe realizar algún tipo de tratamiento previo a la hidrólisis, el cual permite destruir la lignina y facilita a las enzimas acceder a la conversión de la celulosa y hemicelulosa en azúcares fermentables, además de transformar la cristalinidad de la celulosa y disminuir la presencia de sustancias que interfieren o dificultan la hidrólisis [8]. El pretratamiento empleado en esta investigación fue el ultrasónico, que utiliza ondas ultrasónicas en sólidos, líquidos y gases con frecuencias alrededor de 20 kHz. Este método rompe los enlaces éter entre la lignina y hemicelulosa incrementando la accesibilidad y destructibilidad de las hemicelulosas; mejorando la reactividad enzimática de la celulosa [9]. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la influencia del pretratamiento con ultrasonido en la producción de azúcares reductores a partir de bagazo de café.

Metodología

Preparación del bagazo de café

La muestra se obtuvo de una cafetería local ubicada en la zona centro del Estado de Veracruz. En la materia prima se llevó a cabo un proceso de secado para eliminar la mayor parte de la humedad presente, y para ello se utilizó un horno de secado ECOSHEL 9023 A con una temperatura de 105 ± 2 ^{o}C durante 24 hrs. Para asegurar el completo secado se removió la muestra cada dos horas. Concluido el tiempo de secado, se trituró la materia en un molino pulverizador eléctrico marca ALDKITCHEN ALD-S400, seguidamente, se pasó por un tamiz No. 20 para obtener una muestra homogénea, misma que se almacenó en bolsas con cierre hermético en un lugar fresco y seco para evitar la contaminación del material.

Caracterización fisicoquímica de la materia prima

Se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica por el método de base seca del residuo, coloquialmente llamado “borra de café”, obtenido en el paso anterior. Los análisis, el método y las referencias aplicables se muestran en la Tabla 1. Los análisis se realizaron por duplicado a fin de realizar un análisis de varianza de los resultados obtenidos.

Tabla 1. Análisis fisicoquímicos evaluados en el bagazo de café

Parámetro	Método	Referencia
Humedad	Gravimétrico	[10]
Cenizas	Gravimétrico	[11]
pH	Electrométrico	[12]
Carbohidratos	Espectrofotométrico	[13]
Celulosa	Kurschner y Hoffer	[14]
Lignina	Espectrofotométrico	[15]

Pretratamiento ultrasónico

Se utilizaron dos vasos de precipitado de 250 mL a los que se adicionaron 200 mL de agua destilada y una concentración de bagazo del diseño experimental bagazo a cada uno (10 y 15 % p/v). Se colocaron los vasos en un baño de hielo y se sumergió la sonda del sonicador QSONICA SONICATORS Q700 aproximadamente 1.5 cm en la muestra. La amplitud utilizada fue de 15 kHz durante 10 minutos, y por cada minuto encendido se hicieron pausas de 30 segundos. Transcurrido el tiempo de operación se retiró el transductor de la muestra y se prosiguió a enjuagar con agua destilada. Posteriormente se llevó a cabo la hidrólisis enzimática.
Una vez aplicado el ultrasonido en la muestra, se hizo una cuantificación de carbohidratos, celulosa, lignina y azúcares a fin de verificar la influencia de este método en tales macromoléculas.

 ISSN: 2007 8102

Hidrólisis enzimática

Se llevaron a cabo hidrólisis enzimáticas con y sin pretratamiento ultrasónico aplicado en el bagazo de café. La reacción de hidrólisis se montó en un baño termostático y agitación constante de 350 rpm en una parrilla de calentamiento STABLETEMP JZ-03407. Al iniciar la reacción se ajustó el pH de la muestra a 5.5; utilizando HCl concentrado para disminuir el pH o NaOH 1N para aumentarlo. La muestra se calentó hasta una temperatura de 55 °C. Una vez alcanzada la temperatura, establecida la agitación y ajustado el pH, se agregó enzima celulasa CELUZYME marca ENMEX a una concentración de 5% (p/p) y posteriormente se dejaron transcurrir 360 minutos durante los cuales cada 30 min se tomaron muestras para la determinación de azúcares reductores por el método de Miller [16].

Resultados y discusión

Evaluación fisicoquímica

Los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica realizada en el bagazo de café se muestran en la Tabla 2, estos datos se presentan en porcentaje de base seca.

Tabla 2. Resultados del análisis proximal al bagazo de café

Parámetro	Valor obtenido (%)	Valor de referencia (%)	Referencia
Humedad	4.51	6.11	[17]
Cenizas	1.86	1.3 – 2.2	[7]
pH	5.65	5.67	[18]
Carbohidratos	35.34	39.62 ± 0.69	[19]
Celulosa	11.35	8.6 – 15.3	[7]
Lignina	28.15	22.22 – 33.6	[7]

La humedad encontrada en la muestra es menor a la reportada por Álvarez y Pallazhco (2018) [17]. Esta variación puede deberse al proceso de secado previo en el bagazo de café. El porcentaje de cenizas está dentro del rango propuesto por Battista *et al.,* (2020) [7], y este parámetro indica la presencia de minerales en la muestra, como magnesio y fósforo. El pH obtenido es similar a la referencia y en ambos casos se confirma que el bagazo es un material ácido y potencialmente dañino al suelo donde se disponga. Por otro lado, el resultado de carbohidratos obtenido es menor al encontrado por Urribarrí *et al.,* (2014) [19], y la diferencia se puede atribuir al origen del bagazo y la especie de café. El bagazo de café presentó un total de 11.35% en celulosa y 28.15% de lignina, valores dentro del margen indicado por Battista *et al.,* (2020) [7]. Estos parámetros demuestran que el bagazo tiene potencial para implementarse como fuente de carbono en el proceso fermentativo para la producción de etanol o ácido láctico.

Hidrólisis enzimática del bagazo de café

Cinética de producción de azúcares fermentables sin pretratamiento

En la Figura 1 se muestra la formación de azúcares reductores a 6 horas (360 minutos) aplicando inmediatamente hidrólisis enzimática sin pretratamiento ultrasónico. Se observa que la mayor concentración de azúcares fue de 12.5 g/L utilizando una concentración de sustrato de 15% p/v.

 ISSN: 2007 8102

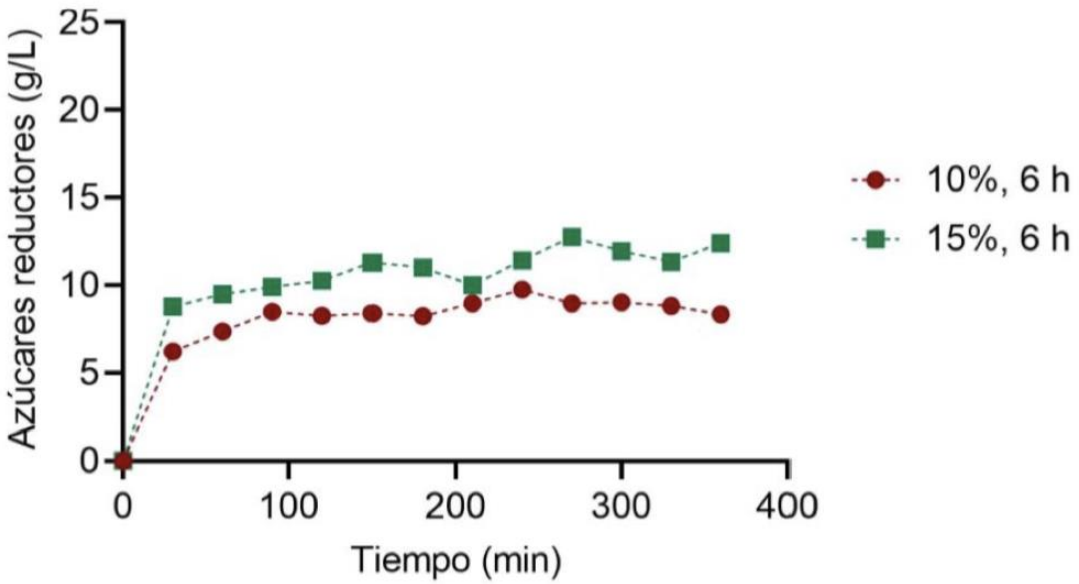


Figura 1. Formación de azúcares fermentables sin pretratamiento ultrasónico.

Por el contrario, la menor concentración de azúcares se presentó en las condiciones de trabajo de 10% p/v de concentración de sustrato, obteniendo 9.9 g/L. Se observa que a mayor concentración de sustrato mayor es la formación de azúcares reductores.

Pretratamiento ultrasónico

Los resultados del comportamiento de las macromoléculas posterior a la aplicación del tratamiento ultrasónico en el bagazo de café se muestran en la Tabla 3. Se observa que el contenido de carbohidratos permanece constante, así como ligeras variaciones en celulosa y lignina. Los azúcares fermentables aumentan en mínima cantidad.

Tabla 3. Cuantificación de macromoléculas en el bagazo posterior al tratamiento ultrasónico

Parámetro	Previo ultrasonicación (% m/m)	Posterior ultrasonicación (% m/m)
Carbohidratos	35.34	34.96
Celulosa	11.35	10.23
Lignina	28.15	27.87
Azúcares fermentables	0.00	0.01

La tecnología ultrasónica tiene la capacidad de modificar los polisacáridos mediante la formación de moléculas altamente energéticas durante la cavitación [20] lo cual resulta en la ruptura de estas cadenas, siempre y cuando se usen amplitudes de entre 20 a 500 mHz [21]. Lo anterior justifica que no existan cambios en la cantidad de macromoléculas del bagazo de café. En el presente trabajo el uso de las ondas ultrasónicas se esquematiza en la Figura 2, donde fueron empleadas para llevar a cabo la lisis de lignina representada en color amarillo con la finalidad de extraer de forma más sencilla la celulosa y hemicelulosa (en rosa y verde, respectivamente) contenidas en el bagazo.

 ISSN: 2007 8102

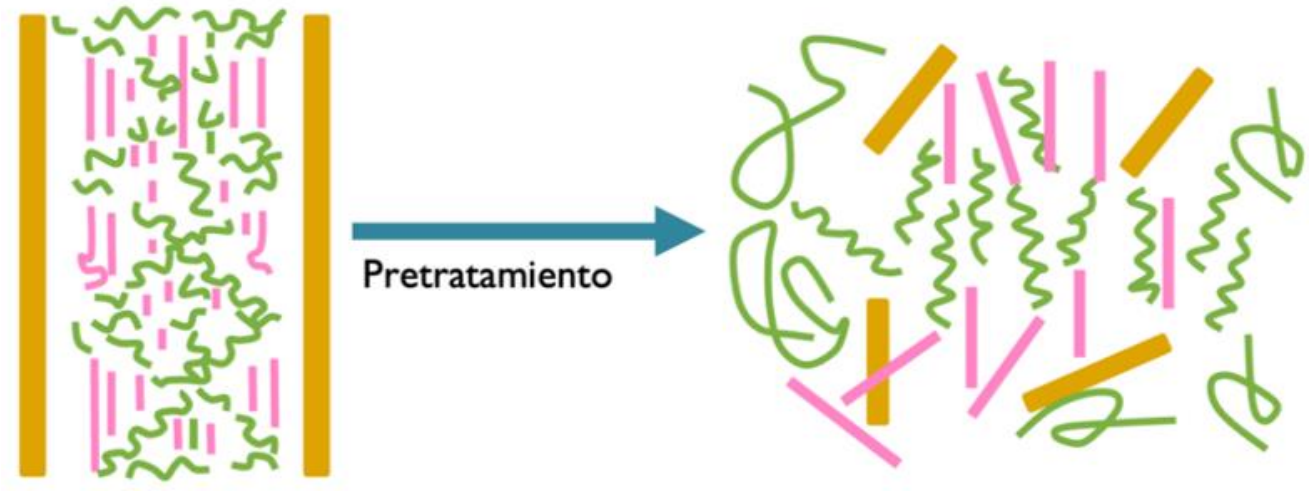


Figura 2. Formación de azúcares fermentables usando ultrasonido como tratamiento previo.

Por ende, el ultrasonido no influye en la generación de los azúcares fermentables, mejorando el acceso a los polímeros transformables en azúcares fermentables en un proceso de hidrólisis enzimática o química [22].

Producción de azúcares fermentables con pretratamiento ultrasónico

La cinética de producción de azúcares fermentables a partir del bagazo de café pretratado ultrasónicamente se muestra en la Figura 3 con su respectiva réplica. En la réplica del tratamiento 1 (T1-R) se obtuvieron 13.27 g/L de azúcares reductores con una concentración del 10% p/v de sustrato en las 6 h de proceso, este fue el resultado más bajo obtenido.

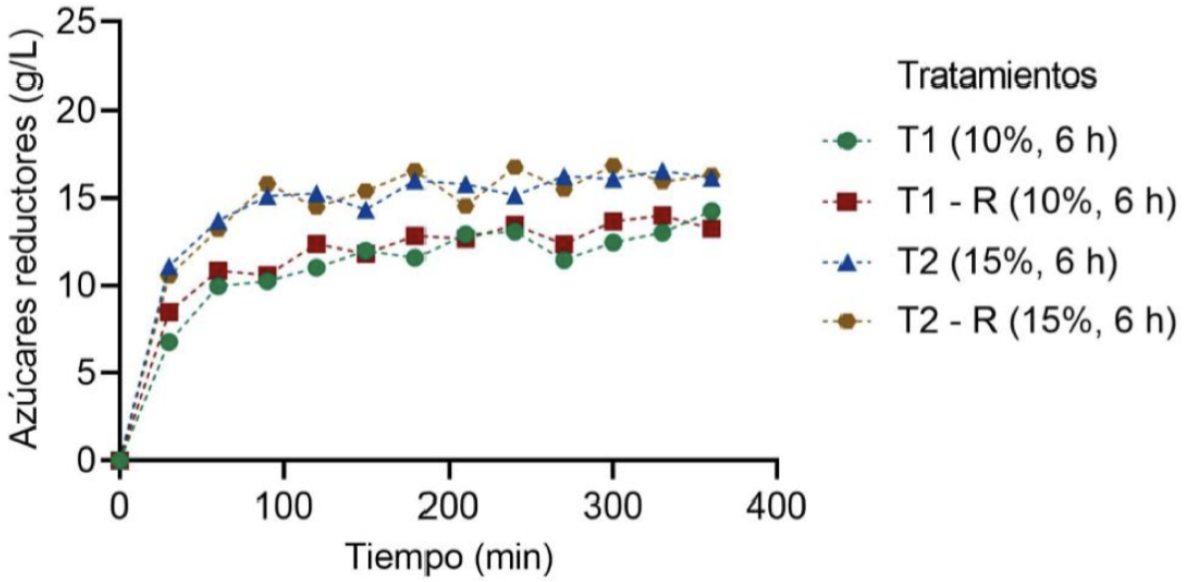


Figura 3. Formación de azúcares fermentables usando ultrasonido como tratamiento previo.

El tratamiento 2, los datos originales y réplica mostraron valores muy similares durante el proceso. El resultado final fue de 15 g/L en el tratamiento original y de 15.2 g/L para la réplica, y se observa que el uso de una concentración de 15% p/v con el tiempo de hidrólisis de 6 h genera una mayor cantidad de azúcares fermentables. Comparando los resultados obtenidos con y sin pretratamiento ultrasónico, el mayor porcentaje de azúcares fermentables se alcanzó empleando un 15% p/v de bagazo tratado ultrasónicamente, obteniéndose hasta 15.2 g/L, seguido de 13.4 g/L producidos con un 10% de sustrato. La máxima cantidad de azúcares generadas sin ultrasonido fueron 12.5 g/L con 15% de borra de café, mejorando la productividad del proceso original en 21.6%.

 ISSN: 2007 8102

Se obtuvieron los parámetros cinéticos para ambos experimentos en las dos concentraciones, los cuales se desglosan en la Tabla 4. Se puede observar que el tratamiento ultrasónico ayudó a aumentar la velocidad de reacción, lo cual se observa en los valores de V_{max} obtenidos de los experimentos con pretratamiento ultrasónico. Por otro lado, hubo una disminución en la Constante de Michaelis-Menten, (K_m) lo cual indica un aumento en la afinidad del complejo enzima-sustrato.

Tabla 4. Comparación de parámetros cinéticos

	Concentración inicial (% m / v)	V_{max} (mg / mL*min)	K_m (mg / mL)
Sin pretratamiento	10	9.386	22.34
	15	12.15	25.73
Con pretratamiento	10	13.61	19.57
	15	16.56	12.52

Trabajo a futuro

Se sugiere dar continuidad a la hidrólisis con un proceso de fermentación láctica utilizando algún microorganismo (como *Lactobacillus fermentum)* a fin de obtener ácido láctico, mismo que tiene aplicaciones como probiótico, en la industria cosmética y farmacéutica, entre otras.

Conclusiones

El bagazo de café tiene alto contenido en lignina, celulosa y carbohidratos en su estructura química, compuestos importantes para la generación de azúcares fermentables. Lo anterior hace que el bagazo sea un residuo valorizable, ya que su naturaleza ácida puede ser altamente contaminante al medio ambiente. Por otro lado, el uso de ultrasonido es una tecnología emergente, que presenta ventajas en la disminución de costos respecto a las hidrólisis enzimáticas y ácidas comúnmente empleadas. En cuanto al uso del ultrasonido en el presente trabajo ayudó a romper las estructuras lignocelulósicas presentes en el bagazo para así poder acceder a la hemicelulosa, que posteriormente se convierte en glucosa, por lo que se concluye que el pretratamiento ultrasónico aplicado a mayor concentración de sustrato aumenta la cantidad de azúcares fermentables generados a partir de bagazo de café mejorando la producción 21.6% incrementando los parametros cineticos del sistema..

Agradecimientos

Se agradece al proyecto PFCE por el aporte de recurso para la adquisición de infraestructura y reactivos para el desarrollo del proyecto.

Referencias

[1] J. L. Intriago-Intriago, B. R. Alcívar-Arteaga y V. F. Mero-Rosado, «La comercialización de café en el centro artesanal de producción y comercio exterior, San Plácido-Portoviejo,» *Espamciencia,* vol. 13, nº 2, pp. 27-33, 2022.

[2] S. Obruca, P. Benesova, D. Kucera, S. Petrik y I. Marova, «Biotechnological conversion of spent coffee grounds into polyhydroxyalkanoates and carotenoids,» *New Biotechnology,* vol. 32, nº 6, pp. 569-574, 2015.

[3] A. J. C. Osorio, *Obtención de un ingrediente alimentario a partir de suero lácteo y borra de café,* Tesis de doctorado. Universidad de Antioquía, 2019.

[4] A. Colantoni, E. Paris, L. Bianchini, S. Ferri, M. Carnevale, A. Palma, V. Civitarese y F. Gallucci, «Spent coffee ground characterization, pelletization test and emissions assesment in the combustion process,» *Scientific Reports,* vol. 11, nº 1, 2021.

[5] Y. Leow, P. Y. M. Yew, P. L. Chew, X. J. Loh y D. Kai, «Recycling of spent coffee grounds for useful extracts and green composites,» *Royal Society of Chemical Advances,* vol. 11, nº 5, pp. 2682-2692, 2021.

[6] H. K. Lee, Y. Won-Jang, J. Lee, S. Kim, C. Park y H. Young-Yoo, «Statistical Optimization of Alkali Pretreatment to Improve Sugars Recovery from Spent Coffee Grounds and Utilization in Lactic Acid Fermentation,» *Multidisciplinary Digital Publishing Institute,* vol. 9, 2021.

[7] F. Battista, E. Barampouti, S. Mai, D. Bolzonella, D. Malamis, K. Moustakas y M. Loizidou, «Added-value molecules recovery and biofuels production from spent coffee grounds,» *Renewable and Sustainable Reviews,* vol. 131, 2020.

[8] J. C. M. Gutiérrez y P. L. M. Sabogal, *Propuesta de la adecuación de la planta de biocombustible a partir de biomasa para el procesamiento de residuos lignocelulósicos en el CTAS de la Universidad de La Salle,* Universidad de La Salle, 2020.

[9] P. Portero, *Etanol celulósico: desarrollo de una tecnología óptima para la producción semi-continua,* Tesis de doctorado. Universidad de Valladolid, 2019.

[10] NREL, *Biomass and Total Dissolved Solids in Liquid Process Samples / NREL/TP-510-42621,* Kansas: NREL, 2008.

[11] NREL, *Determination of Ash in Biomass / NREL/TP-510-42622,* Kansas: NREL, 2008.

[12] SEGOB, *Determinación de pH en alimentos - NOM-F-317-S-1978,* D.F.: DOF, 1978.

[13] W. E. Trevelyan, R. S. Forrest y J. S. Harrison, «Determination of yeast carbohydrates with the antrona reagent,» *Nature,* vol. 170, pp. 626-627, 1952.

[14] S. C. P. Loja, *Optimización de los residuos de cascarilla de arroz mediante pretratamiento por hidrólisis ácida para la obtención de azúcares reductores,* Cuenca: Universidad de Cuenca, 2017.

[15] A. G. Schoening y G. Johansson, «Absorptiometric Determination of Acid-Soluble Ligning in Semichemical Bisulfits Pulps and in Some Woods and Plants,» *Svensk Papperstid,* vol. 68, nº 18, 1965.

[16] G. Miller, «Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar,» *Analytical Chemistry,* vol. 31, pp. 426-428, 1959.

[17] A. M. A. Álvarez y N. R. J. Pallazhco, Recuperación de componentes bioactivos a partir de borra de café, Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2018.

[18] M. I. M. Guerra y S. H. P. Meléndez, Evaluación de absorción de cromo en solución acuosa de flujo no continuo utilizando broza de café, San Salvador: Universidad del Salvador, 2009.

[19] A. Urribarrí, A. Zabala, J. Sánchez, E. Arenas, C. Chandler, M. Rincón, E. González y C. A. Mazzarri, «Evaluación del potencial de la borra del café como materia prima para la producción de biodiesel,» *Multiciencias,* vol. 14, pp. 129-139, 2014.

[20] E. A. Ríos-Romero, L. A. Ochoa-Martínez y J. Morales-Castro, «Efecto del tratamiento con ultrasonido sobre las propiedades funcionales y estructurales de almidón procedente de diversas fuentes: Una revisión,» *Biotecnia,* vol. 18, nº 2, pp. 16-23, 2016.

[21] S. Bera, D. Mondal, J. T. Martin y M. Singh, «Potential effect of ultrasound on carbohydrates,» *Carbohydrate Research,* vol. 410, pp. 15-35, 2015.

[22] B. Liu, B. Du, Y. Sun, M. Zhu, Y. Yang, X. Wang y J. Zhou, «Ultrasound acoustic cavitation enhances depolymerization of organosolv lignin to phenolic monomers and low molecular weigh lignin bio-oils,» *Fuel Processing Technology,* vol. 203, 2020.

 ISSN: 2007 8102

Extracción y purificación parcial de la lectina del hongo *Lactarius volemus*

Marimar Cruz-Cruz[1], Alma Dolores Pérez-Santiago[1*], Eduardo Pérez-Campos[1], Pedro Hernández-Cruz[2], Itandehui Belem Gallegos-Velasco [2]

[1]Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Oaxaca Av. Víctor Bravo Ahuja No. 125, Esq. Calz. Tecnológico. Oaxaca, Oax. México. C.P. 68030. [2]Centro de Investigación UNAM-UABJO, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Ex hacienda de Aguilera S/N, San Felipe del Agua. Oaxaca, Oax. México.C.P. 68020

aperez_santiago@hotmail.com

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Los hongos macromicetos son una fuente potencial de lectinas, las cuales están involucradas en el reconocimiento de estructuras de glicanos con múltiples aplicaciones biomédicas. La búsqueda de lectinas fúngicas en los bosques de Oaxaca tiene como objetivo aislar y purificar nuevas lectinas para su aplicación en el reconocimiento celular de diferentes tipos de cáncer, y su uso en el transporte selectivo de fármacos. En este este trabajo se realizó la extracción y purificación parcial de una lectina del hongo silvestre *Lactarius volemus* por cromatografía de afinidad usando una columna de estromas. Se reporta la actividad de lectina que presenta el extracto de *Lactarius volemus* con tres tipos de eritrocitos humanos: A, B y O. El titulo de hemaglutinación y la actividad específica de la lectina se incrementa cuando los eritrocitos son tratados previamente con neuraminidasa. La actividad de lectina se inhibe con las glicoproteínas mucina y fetuina. El empleo de la columna de estromas demostró ser efectiva en la purificación de la lectina de *Lactarius volemus.*

***Palabras clave**: Lectina, Lactarius volemus, actividad específica, estromas.*

Abstract

Macromycete fungi are a potential source of lectins, which are involved in the recognition of glycan structures with multiple biomedical applications. The search for fungal lectins in the forests of Oaxaca aims to isolate and purify new lectins for their application in the cellular recognition of different types of cancer, and their use in the selective transport of drugs. In this work, the extraction and partial purification of a lectin from the wild mushroom *Lactarius volemus* was performed by affinity chromatography using a stromal column. The lectin activity of the *Lactarius volemus* extract is reported with three types of human erythrocytes: A, B and O. The hemagglutination titer and the specific activity of the lectin are increased when the erythrocytes are pretreated with neuraminidase. Lectin activity is inhibited by mucin and fetuin glycoproteins. The use of the stromal column proved to be effective in the purification of lectin from *Lactarius volemus*.

Key words: *Lectin, Lactarius volemus, specific activity, stroma.*

Introducción

Las proteínas o glicoproteínas que reconocen de manera específica carbohidratos de la superficie celular o en suspensión son conocidas como lectinas, estas tienen la capacidad de aglutinar células y precipitar glicoconjugados, no tienen actividad enzimática y poseen al menos dos sitios de reconocimiento a carbohidratos. Estas proteínas se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza, se encuentran como proteínas constitutivas en virus, bacterias, hongos, plantas, así como en vertebrados superiores. Las lectinas fúngicas tienen diversas características fisicoquímicas y especificidad a carbohidratos, en partícular las que reconocen *O*-glicosilación son herramientas utiles en la caracterización de oligosacáridos, el aislamiento de poblaciones celulares, y el analisis de las interacciones de la superficie celular [1, 2]. Las especies fúngicas son una fuente potencial de nuevas lectinas que pueden usarse en el estudio de la fisiología y patología celular, ya que se ha reportado su capacidad de inhibir el crecimiento de células cancerosas, a través de la autofagia y la apoptosis, así como el reconocimiento de estructuras de glicanos con posibles aplicaciones biotecnológicas y terapéuticas [3].

 ISSN: 2007 8102

Se han aislado lectinas del género *Lactarius* con características similares entre ellas; la lectina de *Lactarius deliciosus* (LDL) se purificó usando una combinación de cromatografía de afinidad en estromas de eritrocitos humanos del grupo O, el ensayo de afinidad a carbohidratos indicó que la lectina tiene afinidad para **D-Gal beta 1-3D-GalNAc (Ag TF),** su peso molecular es de 37 kDa con estructura dimérica, con dos subunidades distintas (19 kDa y 18 kDa) [4]. La lectina del hongo *Lactarius deterrimus* (LDetl) fue aislada por cromatografía de afinidad, hidroxiapatita y filtración en gel. Su masa molecular determinada por filtración en gel, es de unos 37 000 D y su estructura es dimérica, con dos subunidades idénticas ensambladas por enlaces no covalentes, tiene afinidad hacia **D-Gal beta 1-3D-GalNAc (AgT)** [5]. Estas lectinas interaccionan con AnT y se ha demostrado que son herramientas útiles para reconocer glicanos ligados a O en diferentes tejidos, tumores y células. En este trabajo se realizó la extracción y purificación parcial de la lectina presente en el hongo silvestre comestible *Lactarius volemus*, que crece en la sierra sur y norte de Oaxaca, cuyo cuerpo fructífero contiene al menos una lectina con capacidad de reconocer eritrocitos humanos tipo A, B, y O, y que presenta afinidad hacia las glicoproteínas mucina y fetuina. Estas características hacen a esta lectina potencialmente atractiva para el estudio de las estructuras de las mucinas y su función biológica.

Metodología

Recolección de los cuerpos fructíferos

Los cuerpos fructíferos frescos se adquirieron en mercados locales de la ciudad de Oaxaca de Juárez, Oaxaca, provenientes de los bosques de la sierra sur y norte del estado, en los meses de septiembre a octubre. Para eliminar residuos de tierra los carpoforos se lavaron con agua destilada estéril, despues se guardaron en bolsas de papel y se congelaron a -20 ºC hasta su uso. Se emplearon carpoforos frescos de la temporada, preferentemente del mismo tamaño.

Obtención del extracto

Los carpoforos se cortaron en fracciones pequeñas y se maceraron con solución salina fosfatada (PBS) pH 7.4 en una proporción 1:4 (W/V) hasta obtener una mezcla homogénea que se mantuvo en agitación a -4°C durante 24 horas. La mezcla se centrifugó a 5000 rpm durante 10 min para eliminar el precipitado, se recuperó el sobrenadante y se filtró. El sobrenadante se utilizó para la purificación de la lectina. La concentración de proteína del extracto se determinó por el método de Bradford con azul de Coomassie R-250, utilizando como estándar albúmina de suero bovino [8]. Para determinar la presencia y actividad de la lectina se prepararon fracciones de extracto a una concentración de 1 mg/mL

Determinación de actividad de lectina mediante el ensayo de hemaglutinación

Se obtuvieron eritrocitos humanos tipo A, B y O de donantes voluntarios. La presencia de lectina en los extractos del hongo se determinó a traves de la actividad hemaglutinante observada en placas de microtitulación de fondo concavo mediante el procedimiento de dilución en serie de acuerdo con Reid *et al*., 2022 [6], usando solución salina fosfatada PBS pH 7.4 y una suspensión de eritrocitos al 3%. También se utilizaron eritrocitos tratados con neuraminidasa (0.1 U por 0.5 mL de concentrado de eritrocitos a 37°C durante 30 min) con la finalidad de eliminar los residuos de ácido siálico presentes en la superficie de la membrana y evaluar el reconocimiento de la lectina a carbohidratos más complejos y cercanos a la región proteica.

Especificidad de carbohidrato

La especificidad a carbohidratos de la lectina presente en el extracto de *Lactarius volemus* se determinó mediante el ensayo de inhibición de la actividad hemaglutinante [6]. Las pruebas de inhibición de la actividad hemaglutinante se realizaron en placas de micro titulación de 96 pozos, depositando 25 µL de PBS (pH 7.4) en todos los pozos de la placa, posteriormente se agregaron en ellos 25 µL del carbohidrato a analizar, en una concentración de 0.2 M, realizando diluciones dobles seriadas, en seguida se agregaron 25 µL del extracto del hongo en cada pozo, a una concentración de 4 UHA y se incubaron por una hora. Finalmente se adicionaron 25 µL de eritrocitos al 3% y se incubó la placa a temperatura ambiente ± 23 ºC por 1 hora. Los resultados se expresaron como la concentración mínima de carbohidrato requerida para inhibir completamente 4 unidades hemaglutinantes de la lectina. La concentración utilizada de los carbohidratos fue de 200mM y la concentración de las glicoproteínas se determinó en función de su peso molecular.

Purificación de la lectina de *Lactarius volemus*
Preparación de la columna de estromas [9]

ISSN: 2007 8102

Para obtener el estroma de eritrocitos se utilizaron 200 mL de sangre humana tipo O, obtenida del banco de sangre del Instituto Mexicano del Seguro Social, la cual se centrifugó a 1500 rpm durante 10 min para extraer el plasma y dejar únicamente el paquete de eritrocitos. El paquete eritrocitario se lavó tres veces con solución salina isotónica (SSI) y se centrifugó a 1500 g a 4°C durante 20 minutos. El lisado se obtuvo por choque hipotónico con una solución amortiguadora de fosfatos 10 mM pH 7.4 en una relación 9:1 fosfato/paquete eritrocitario respectivamente y se agitó durante 30 minutos a 4°C. La mezcla se centrifugó a 20000 g durante 15 minutos a 4°C y el precipitado se lavó 5 veces con las mismas condiciones con agua destilada, y finalmente con SSI hasta eliminar los residuos de hemoglobina. El paquete de estromas fue tratado con 100 mL de ácido sulfúrico 0.002 N para eliminar los residuos de ácido siálico mediante hidrólisis ácida, se mantuvo en agitación durante 2 horas a 80°C, se dejó enfriar y la reacción se neutralizó por la adición de NaOH 1M. El paquete de estromas desialilado se lavó con SSI y posteriormente se trató con glutaraldehído para rigidizar las membranas, se suspendió a una concentración de 1% en amortiguador de fosfatos 10 mM, 0.15 M de NaCl pH 7.4 y se dejó en agitación durante 24 horas a 4°C, posteriormente se lavó tres veces con SSI a 7000 g durante 15 minutos. Los estromas se mezclaron con sephadex G-25 superfino en una relación 1:10 (Estroma/Sephadex) para inmovilizar físicamente a las membranas, esta mezcla se vertió a una columna de plástico de 10 ml, una vez empaquetada la columna se lavó con SSI, ácido acético al 3% y finalmente la columna se equilibró con solución salina tamponada.
El extracto clarificado del hongo se inyectó en la columna (10 mL), el material no retenido se eluyó con solución salina isotónica, se recolectaron fracciones y se leyeron a 280 nm hasta obtener absorbancias de 0.01. La lectina unida se eluyó con ácido acético (3%) y el pH de cada fracción recolectada se ajustó a 6 con NaOH 1N y se analizó la concentración de proteína por Bradford [8] y la actividad hemaglutinante.

Resultados y Discusión

Morfología de *Lactarius volemus*

Lactarius volemus presenta sombrero o píleo con diámetro promedio de 7 cm, de acuerdo a los reportes, presenta la superficie muy seca, de color naranja rojizo, con láminas de color crema con un ligero matiz amarillento apretadas entre sí, el pie es de color similar al sombrero, próximo a las láminas es de color blanquecino (**Figura1**).



Figura 1. Cuerpo fructífero de *Lactarius volemus*

La concentración de proteínas del extracto se midió mediante la extrapolación de las absorbancias en la ecuación de la curva de calibración con albúmina, con pendiente m=0.12 y una b= 0.0582, con un coeficiente de Regresión lineal (R2) de 0.99. La concentración de proteínas del extracto fue de 5.615 mg/mL.

Determinación de actividad de lectina con ensayo de hemaglutinación

El extracto de *Lactarius volemus* mostró actividad de lectina con los tres tipos de eritrocitos humanos examinados, sin embargo, se observó mayor actividad específica con los eritrocitos humanos tipo A (227.96), la actividad hemaglutinante para los eritrocitos humanos tipo O y B fueron las mismas; el extracto presentó mayor afinidad por los eritrocitos tipo A (**Tabla 1**).
El tratamiento de los eritrocitos con neuraminidasa aumentó el título de hemaglutinación y actividad específica de la lectina de *Lactarius volemus* hasta ocho veces más que sin tratamiento, con los diferentes tipos eritrocitarios (**Tabla 2**).

 ISSN: 2007 8102

Actividad hemaglutinante del extracto crudo de *Lactarius volemus* (5.615 mg/mL)

Eritrocitos humanos	Pozos de actividad	*UHA	**Act. específica
A Rh +	5	1,280	227.96
B Rh -	4	640	113.98
O Rh +	4	640	113.98

*Unidades hemaglutinantes. **UHA/mg proteína del extracto. Concentración de proteína: 5.615 mg/mL

Tabla 1. Actividad hemaglutinante de la lectina del extracto de *Lactarius volemus.* Se observa mayor afinidad por eritrocitos tipo A.

Actividad hemaglutinante del extracto crudo de *Lactarius volemus* (5.615 mg/mL) con eritrocitos tratados con neuraminidasa

Eritrocitos humanos tratados	Pozos de actividad	*UHA	**Act específica
A Rh +	8	10,240	1823
B Rh -	7	5,120	911.84
O Rh +	7	5,120	911.84

*Unidades hemaglutinantes. **UHA/mg proteína del extracto

Tabla 2. Actividad hemaglutinante del extracto de *Lactarius volemus* con eritrocitos tratados con neuraminidasa. El tratamiento de los eritrocitos con neuraminidasa aumentó el título de hemaglutinación de la lectina de *Lactarius volemus* con los diferentes tipos eritrocitarios.

Especificidad hacia carbohidratos

Los carbohidratos utilizados para la inhibición de la actividad de la lectina fueron: D-glucosamina, glucosa, fructosa, sacarosa, lactosa, maltosa, arabinosa, ribosa, galactosa, galactosamina, N-acetil-galactosamina, mucina y fetuina a una concentración 200 mM. Mucina y fetuina fueron los carbohidratos que mostraron capacidad inhibitoria de la actividad hemaglutinante. La mucina presentó una concentración mínima inhibitoria de 0.0156 mg/mL para 2560 UHA de la lectina (**Tabla 3).** La inhibición de la actividad hemaglutinante de los eritrocitos sometidos a tratamiento con neuraminidasa se modificó, ya que fetuina aumentó en ocho veces más las unidades hemaglutinantes inhibidas (5120 UHA) y la concentración mínima inhibitoria disminuyó notablemente (0.007mg/mL). En cuanto a mucina, esta aumentó cuatro veces más sus UHA inhibidas (10240) así como su concentración mínima inhibitoria también fue menor (0.0039 mg/ml) (**Tabla 4).**
Con los resultados de la actividad específica de carbohidratos se puede inferir que la lectina presente en el extracto de *Lactarius volemus* reconoce estructuras con enlaces tipo O-Glicosídicos.

Inhibición de la actividad hemaglutinante del extracto de *Lactarius volemus* con carbohidratos y glicoproteínas

Carbohidrato	Eritrocitos	concentración	Pozos Inhibidos	UHA inhibidas	Conc mín Inhibitoria (mg/mL)
Glucosa	A,B,O	200 mM	0	0	0
Lactosa	A,B,O	200 mM	0	0	0
Maltosa	A,B,O	200 mM	0	0	0
Fructosa	A,B,O	200 mM	0	0	0
Arabinosa	A,B,O	200 mM	0	0	0
Ribosa	A,B,O	200 mM	0	0	0

 ISSN: 2007 8102

Galactosa	A,B,O	200 mM	0	0	0
Galactosamina	A,B,O	200 mM	0	0	0
N-Acetil-Galactosamina	A,B,O	200 mM	0	0	0
		Glicoproteínas			
Mucina	A,B,O	1mg/mL	6	2560	0.0156
Fetuina	A,B,O	1mg/mL	4	640	0.0625

Tabla 3. Especificidad de carbohidratos. Mucina y fetuina inhibieron la actividad hemaglutinante. La mucina mostró mayor actividad inhibitoria con la concentración mínima inhibitoria de 0.0156 mg/mL para 2560 UHA.

Inhibición de la actividad hemaglutinante del extracto de *Lactarius volemus* con glicoproteínas, utilizando eritrocitos tratados con neuraminidasa

Glicoproteína	Eritrocitos	concentración	Pozos inhibidos	UHA inhibidas	Conc mín inhibitoria
Mucina	A,B,O	1mg/mL	8	10240	0.0039
Fetuina	A,B,O	1mg/mL	7	5120	0.007

Tabla 4. Especificidad de carbohidratos utilizando eritrocitos tratados con neuraminidasa. Fetuina aumentó ocho veces más las unidades hemaglutinantes inhibidas (5120 UHA) y su concentración mínima inhibitoria (0.007mg/mL); Mucina aumentó cuatro veces más sus UHA inhibidas (10240) y su concentración mínima inhibitoria (0.0039 mg/mL)

Purificación de la lectina con columna de estromas

Se colectaron sesenta fracciones durante toda la cromatografía, en la figura 2 sólo se grafican las primeras treinta fracciones las cuales no fueron retenidas, y no mostraron actividad de lectina. En la Figura 3 se muestran las treinta fracciones retenidas, de las cuales las fracciones 3, 4 y 5 mostraron actividad de lectina.

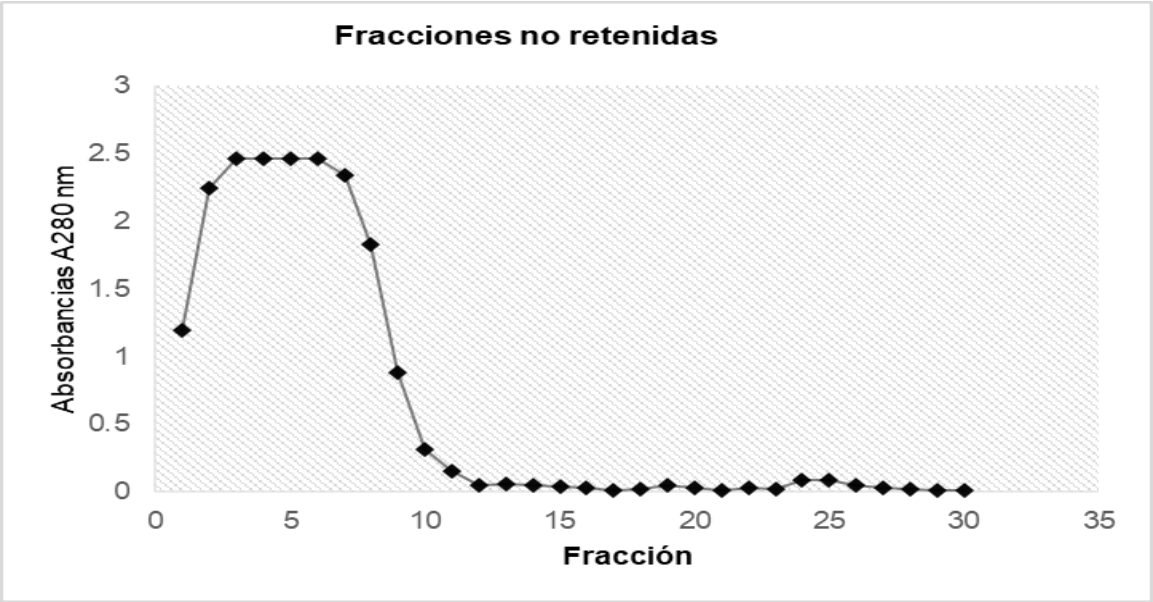


Figura 2. Fracciones no retenidas en la columna de estromas. Ninguna de las fracciones con absorbancias altas mostraron actividad de lectina. Los valores graficados son un promedio de tres lecturas.

 ISSN: 2007 8102

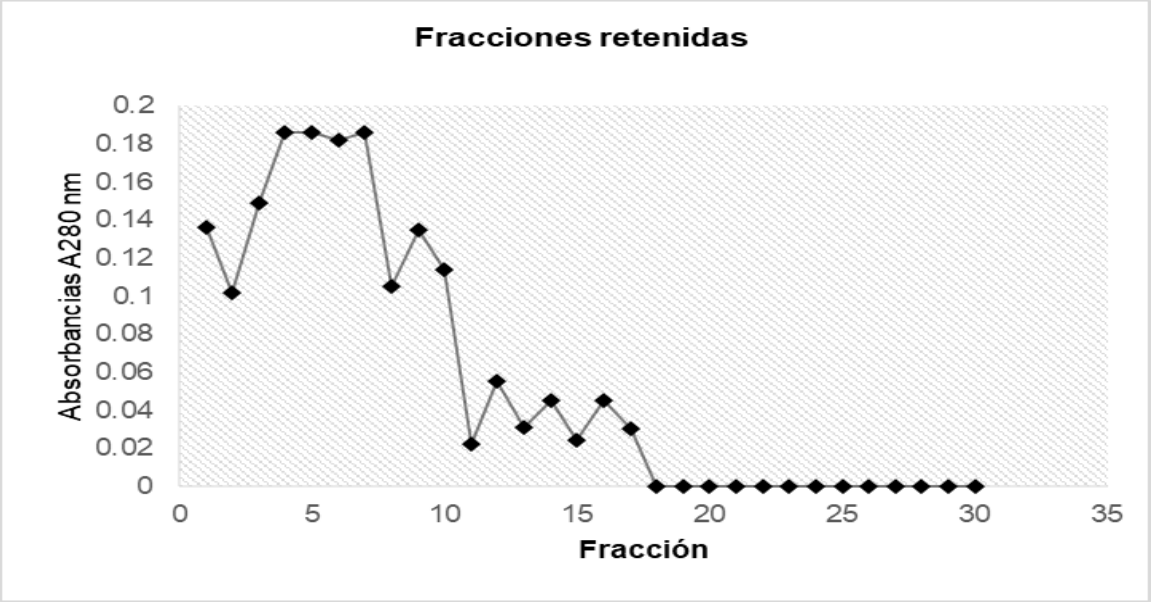


Figura 3. Fracciones retenidas por la columna de estromas. Las fracciones 3,4 y 5 mostraron actividad de lectina. Los valores graficados son un promedio de tres lecturas.

El extracto de *Lactarius volemus* mostró actividad de lectina con los tres tipos de eritrocitos humanos examinados, sin embargó se observó mayor afinidad con los eritrocitos tipo A (227.96), el título de hemaglutinación y la actividad específica aumentó hasta ocho veces con el tratamiento de los eritrocitos con neuraminidasa, lo que demuestra que la lectina presente en el extracto de *Lactarius volemus*, puede reconocer estructuras más cercanas a la región proteica. El empleo de la columna de estromas demostró ser efectiva en la purificación de la lectina de *Lactarius volemus* tal y como lo reportó Hernández en [9], en donde comparó diferentes tipos de columnas para la extracción de la lectina de *A. leucocarpus* y demostró mayor actividad cuando se extraía con columna de estromas, así mismo las lectinas del genero *Lactarius* se han extraído con este método [4, 5, 6].

La actividad de lectina se inhibe con mucina y fetuina, y estas glicoproteínas disminuyen su concentración mínima inhibitoria cuando los eritrocitos son tratados con neuraminidasa. Con resultados de la actividad específica de carbohidratos se puede inferir que la lectina presente en el extracto de *Lactarius volemus* reconoce estructuras con enlaces tipo O-Glicosídicos [2, 7]. Los glicanos unidos a membranas y superficies celulares por enlaces O-glicosídicos (que conforman las mucinas) desempeñan importantes funciones en la modulación de la respuesta inmunitaria, la inflamación y la tumorigénesis. Estas estructuras son responsables de la organización tridimensional de las glicoproteínas [7]

Con base en lo reportado sobre las lectinas del genero *Lactarius* y con nuestros resultados se sugiere que la lectina de *Lactarius volemus*, representa una herramienta para el estudio de las estructuras de las mucinas y su función biológica [4, 5, 6].

Referencias

[1] RS. Singh, AK. Walia, JF. Kennedy. “Mushroom lectins in biomedical research and development”. Int J Biol Macromol.15;151:1340-1350. 2020.

[2] R.S. Singh, A.K. Walia and J.F. Kennedy, “Structural aspects and biomedical applications of microfungal lectins”, Int. J. Biol. Macromol. 134: 1097–1107.2019.

[3] M.A.A. Hassan, R. Rouf, E. Tiralongo and T.W. May, J. Tiralongo, “Mushroom lectins: Specificity, structure and bioactivity relevant to human disease”, Int. J. Mol. Sci. 16. 7802–7838. 2015

[4] J. Guillot, M. Giollant, M. Damez and M. Dusser. “Isolation and characterization of a lectin from the mushroom, *Lactarius deliciosus*”. J Biochem. 109(6):840-5. 1991

[5] M. Giollant, J. Guillot, M. Damez, M. Dusser, P. Didier and E. Didier. “Characterization of a Lectin from *Lactarius deterrimus* (Research on the Possible Involvement of the Fungal Lectin in Recognition between Mushroom and Spruce during the Early Stages of Mycorrhizae Formation”. Plant Physiol. 1993

[6] T. Reid, F. Fore, F. Chidzwondo, C. Kashangura, B. Stray-Pedersen, t. Mduluza. Screening of mushrooms from the woodlands of Zimbabwe: Occurrence of lectins and partial purification of a mucin specific lectin from Boletus edulis. PLoS One.14;17(4). 2022.

[7] J. Kim, C. Ryu, J. Ha, J. Lee, D. Kim, M. Ji, C. Park, J. Lee, D. Kim and H. Kim. “Structural and Quantitative Characterization of Mucin-Type *O*-Glycans and the Identification of *O*-Glycosylation Sites in Bovine Submaxillary Mucin”. *Biomolecules*. 10(4):636. 2020.

[8] M.M. Bradford. Fast and sensitive for the quantification of micrograms of protein using the protein-dye binding principle. *Bioquímica analítica 72:* 248-254. 1976.

[9] P. Hernández, M. Bacilio, F. Porras, S. Juarez, H. Debray, E. Zenteno, B. Ortiz (1999). “A comparative study on the purification of the *Amaranthus leucocarpus* syn. *hypocondriacus* lectin”. Biochem and Biotechnol. 29(3): 219-234

 ISSN: 2007 8102

Biocompositos de harinas y aislado de proteína de semillas de amaranto

Shareny-Jahaira Guzmán Ozuna, Alma Leticia Martínez-Ayala, Edgar-Antonio Saldaña Palma, Rosalía-América González Soto

Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, rsoto@ipn.mx

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

El objetivo de esta investigación fue obtener harina integral (HI), harina desgrasada (HD) y aislado proteico (AP) de la semilla de amaranto, elaborar biocompositos por casting y por termoprensado, y caracterizar sus propiedades mecánicas, de barrera, térmicas, ópticas y estructurales. Los biocompositos presentaron diferentes propiedades y grados de interacción, esto debido a las distintas concentraciones de los componentes presentes, así como a los dos métodos de elaboración.

***Palabras clave**: Biocompositos, termoprensado, harinas, amaranto.*

Abstract

he objective of this research was to obtain wholemeal flour (HI), defatted flour (HD) and protein isolate (AP) from the amaranth seed, elaborate biocomposites by casting and thermopressing, and characterize their mechanical, barrier, thermal, structural and optical properties. The biocomposites presented different properties and degrees of interaction, due to the different concentrations of the components present, as well as the two production methods.

***Key words**: Biocomposites, thermopressing, flour, amaranth.*

Introducción

El uso desmedido de materiales plásticos, derivados del petróleo, ha provocado problemas de contaminación ambiental a nivel global. Actualmente, se busca el uso de materiales plásticos biodegradables para mitigar estos problemas. Los biopolímeros naturales como las proteínas, polisacáridos, lípidos o mezclas de éstos, ofrecen ser una buena alternativa, y pueden obtenerse de diversas fuentes, tales como los productos o subproductos vegetales. Un biocomposito es un material compuesto que incluye componentes de una o varias fases que se originan en la naturaleza. Consisten en polímeros biodegradables (pudiendo ser polisacáridos y/o proteínas) como material de matriz, y, generalmente fibra de origen natural como elemento de refuerzo. Estos componentes se combinan para producir un nuevo material, el cual tendrá un rendimiento mejorado sobre los materiales constituyentes individuales [1]. Dado que todos los componentes son biodegradables, el biocomposito como parte integral también se espera que sea biodegradable [2]. Las harinas son mezclas naturales de biopolímeros con las cuales se pueden formar biocompositos; las harinas pueden ser obtenidas a partir de diversos cereales o pseudocereales, dentro de esta categoría se encuentra el amaranto. Las propiedades de los biocompositos de harinas dependen de las diversas interacciones moleculares e intrínsecas que tienen lugar entre los polisacáridos, grasas, proteínas y los componentes de la fibra, así como el método de producción, y de la fuente vegetal de donde se obtiene dicho material [3]. Debido a las propiedades de la harina de amaranto, recientemente ha sido objeto de estudio para la elaboración de biocompositos con resultados prometedores. El amaranto (*Amaranthus hypochondriacus)* es una especie perteneciente a la familia Amaranthaceae, dicha planta es tradicionalmente mexicana, su harina es rica en lípidos (7%); el aceite de amaranto se ha utilizado para la industria cosmética entre otros fines, quedando una “pasta residual” que tiene un alto contenido de proteínas (17%), además, de almidón cuyos gránulos son extremadamente pequeños (0.8-2.5 µm). Estas características sugieren que dicha harina puede usarse como un excelente material para la elaboración de biocompositos [4]. Uno de los métodos más populares para la elaboración de éstos, es el llamado vaciado en placa o “casting”, donde se vierte la mezcla de los biopolímeros en un recipiente para que éste se someta a una etapa de secado, y así evaporar el disolvente

 ISSN: 2007 8102

utilizado, sin embargo, resulta ser tardado, ya que, dependiendo de la cantidad de disolvente utilizado, es el tiempo que tardará en obtenerse el producto final. Otro método es el termoprensado, donde se utilizan materiales con una baja humedad y éstos se someten a altas presiones y temperaturas, razón por la cual es una alternativa más rápida. Ambos métodos tienen características diferentes de preparación, las cuales generan diferente comportamiento frente a las propiedades de los biocompositos. El objetivo de este trabajo fue elaborar y caracterizar biocompositos de harina integral, harina desgrasada y aislado proteico de semillas de amaranto obtenidas por casting y termoprensado.

Metodología

Materiales

Las semillas de *Amaranthus hypochondriacus* L. fueron obtenidas de la línea Santa Lucía S5, suministradas por el banco de germoplasma del INIFAP Estado de México-México. Éstas se molieron en un molino Krups F408 por 20 segundos, posteriormente se tamizó con malla número 70 (0.210 mm), para así obtener la harina integral (HI). Para obtener la harina desgrasada (HD), se desgrasó la HI con hexano a temperatura de 25 ± 2 °C durante 6 h bajo agitación continua y después se eliminó el exceso de disolvente secando a temperatura ambiente (25 ± 2 °C). El aislado proteico de amaranto (AP) se realizó de acuerdo con lo descrito por Martínez y Añón, 1996 [5], con algunas modificaciones.

Métodos

Caracterización de las harinas desgrasada

El contenido de agua y cenizas se determinó gravimétricamente, mediante los métodos AOAC 935.10 y AOAC 923.03 [5], respectivamente, mientras que fibra cruda mediante soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio por diferencia de pesos. El contenido de proteínas se analizó mediante el método de Kjeldahl. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Obtención de biocompositos de harinas y aislados proteicos de amaranto

Se obtuvieron biocompositos por casting mediante la metodología propuesta por Tapia-Blacido et al.,2005 [6], con algunas modificaciones.

Para la obtención de los biocompositos elaborados por termoprensado se utilizó una termoprensa (Carver 3851-0, USA) se ajustó la humedad de las harinas al 22 y 26%, respectivamente. Se mezclaron la harina (10 g), agua (de acuerdo con las humedades antes descritas) y glicerol (2.22 g) en una bolsa Ziploc durante unos minutos para homogeneizarla manualmente hasta formar una masa. Después, esta masa se laminó con la ayuda de una prensa manual y se almacenó en refrigeración por 12 h. Pasado este tiempo, se colocó en la placa de la termoprensa a una temperatura de 120 °C, aumentando la presión paulatinamente hasta 6000 Psi, el tiempo total de tratamiento fue de 7 min, pasado este tiempo se dejó enfriar durante 15 min a la presión de 6000 Psi y 10 min más a presión ambiental.

Caracterización de los biocompositos de harinas y aislados proteicos de amaranto

Los espectros de FTIR de los biocompositos fueron obtenidos en un espectrofotómetro Thermo Scientific (IRAffinity-1 Shimadzu). Los biocompositos fueron analizadas en modo de absorbancia en un intervalo de 4000-650 cm^{-1}.

Para la observación microscópica de la superficie de los biocompositos, las muestras se colocaron en stubs de aluminio con cinta conductora de carbono de doble cara y fueron observadas directamente bajo un Microscopio electrónico de barrido ambiental (Carl Zeiss, EVO LS10, Alemania) con un voltaje de aceleración de 30 kV y una presión de 50 Pa. Se utilizó un detector de electrones retrodispersados (NTS BSD), las imágenes se obtuvieron en escala de grises y se almacenaron en formato TIFF con una resolución de 1024 x 756 píxeles.

Las pruebas mecánicas se basaron en ensayos para la determinación de tensión a la fractura (TF), porcentaje de elongación (%ε) y módulo de elasticidad (E) de acuerdo con el método estándar ASTM D-882-9 ASTM,1995 [7]. Se realizaron 10 repeticiones de cada prueba.

La Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA), se determinó mediante el método gravimétrico estándar de la ASTM, E 96-80 ASTM,1980 [8], conocido como “celda de prueba”. El porcentaje de solubilidad de los biocompositos se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por Gontard et al.,1992 [9].

Para la medición de color se utilizó un colorímetro (Modelo Milton Roy), donde se determinaron las coordenadas del color de las películas: luminosidad L*; saturación (C*) y hue (h*), éstos se tomaron a partir del espacio de color CIELab. La opacidad de los biocompositos se determinó dividiendo el valor de absorbancia a 500 nm por el espesor de la muestra (expresado en mm) [10]. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Se realizó Análisis Termogravimétrico (ATG) en un analizador termogravimétrico (SDT Q600) pesando 5 mg de los biocompositos en el crisol. Se utilizó una atmosfera de nitrógeno con una rampa de temperatura de 20 °C a 400 °C, con velocidad de calentamiento 10 °C /min [11].

 ISSN: 2007 8102

Análisis estadístico

Los resultados de las propiedades mecánicas, PVA y porcentaje de solubilidad se analizaron con el método de análisis de varianza (ANOVA) de una vía, con un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$), utilizando el programa SigmaStat. Con el propósito de observar diferencias entre los valores medios de las propiedades, se utilizó la prueba de múltiples rangos de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Análisis químico proximal

El valor de humedad, fibra y cenizas (porcentaje de minerales) de la HD fue de 11.10%, 2.57% y 3.64%, respectivamente. El valor obtenido de humedad en la HD es mayor que el que contiene la HI, el cual tuvo un valor de 9.29 %, esta diferencia puede deberse a que en la HI hay presencia de lípidos y en la HD se encuentran en menor cantidad. El contenido de humedad de una harina no debe sobrepasar el 12%, para evitar que factores como las condiciones ambientales, la madurez del grano y las condiciones de almacenamiento influyan en su calidad [12]. El porcentaje de proteínas de la HI fue de 18%, mientras que en HD fue de 25.55%, pudiendo notar que aumenta su porcentaje de proteínas al momento de la extracción del aceite. El contenido de proteínas del AP fue 64.21%.

Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

En la Figura 1a se muestra el espectro FTIR del glicerol en donde se pudieron observar señales características de la molécula. La banda a 3270 cm^{-1} se asignó al grupo OH, las señales a valores de 1110 y de 1030 cm^{-1} se atribuyeron a las vibraciones del grupo CO de C2 y C1, C3 respectivamente. Finalmente, el enlace del grupo C-C presentó vibraciones en el intervalo 997-847 cm^{-1}, que correspondió al esqueleto del glicerol [13].

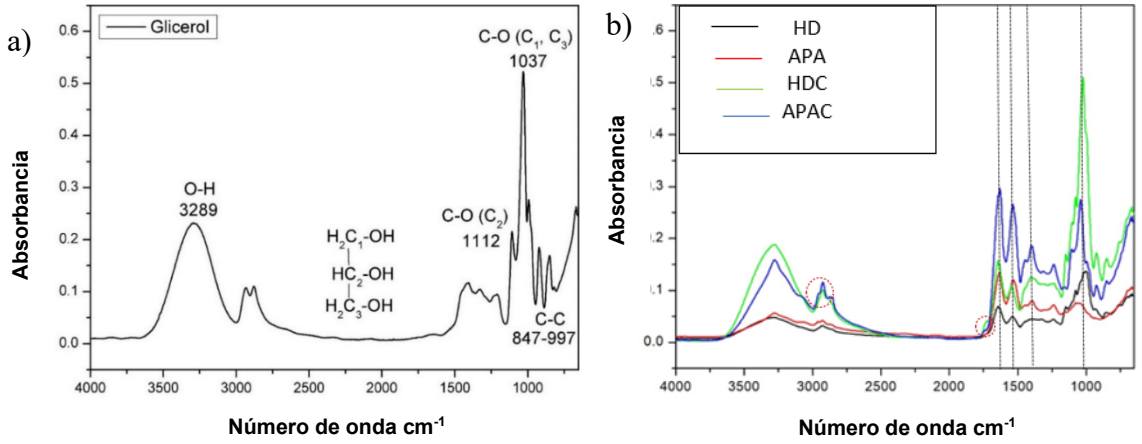


Figura 1. Espectro de FTIR de glicerol (a). Espectros FTIR de harina desgrasada (HD), aislado de proteína (AP), biocomposito de harina desgrasada por casting (HDC) y biocomposito de aislado proteico de amaranto por casting (APC) (b).

Los espectros FTIR de la HD y el AP y sus biocompositos por el método de casting (HDC y APC, respectivamente), se muestran en la Figura 1b. Los valores de la HD exhibieron señales características de los grupos funcionales de los carbohidratos a 1150 cm^{-1} (grupos C-H); en HDC, se forma una señal de mayor intensidad alrededor de 1023 cm^{-1}, asociada a vibraciones del grupo C-O del glicerol presente en el biocomposito, misma señal se presenta en el APC, con una menor intensidad, debido a interacciones del glicerol con las proteínas. Por otra parte, el AP tiene valores que van de 1236 cm^{-1} (C-N amida ll) 1540 cm^{-1}, (NH amida ll) y 1640 cm^{-1} (C=O amida I) sin embargo, las bandas de mayor intensidad se dieron en el biocomposito APC; esto pudiera asociarse a que el tratamiento utilizado para la preparación del biocomposito como la agitación y secado de la misma, que propició mayor presencia de los grupos funcionales antes escritos. Se puede observar, que hay formación de bandas más intensas para APC, a 1395 cm^{-1}, las cuales, son menos pronunciadas en AP; estas señales se asocian a las cadenas laterales de los aminoácidos. Hay que destacar la formación de una nueva señal débil para HDC a aproximadamente 1740 cm^{-1}, la cual se asocia a la vibración de estiramiento C=O de los compuestos de Amadori formados en la etapa inicial de la reacción de Maillard [14], la temperatura utilizada para obtener el biocomposito dio lugar a dicha reacción no enzimática, dada entre los grupos carbonilo de los azúcares reductores y los aminoácidos libres o grupos aminos terminales [15]. A 2900 cm^{-1} se observan señales que se sobreponen entre HDC y APC, que se relaciona con la señal de estiramiento del grupo C-H(CH_2) de los lípidos [16], a pesar de que

 ISSN: 2007 8102

se trata de materiales que pasaron por un desgrasado, la agitación, y exposición térmica a los biocompositos, dio lugar a la formación de mayor presencia de dichos grupos funcionales asociados a las grasas. La vibración de 3200 cm^{-1} a 3000 cm^{-1} se correlaciona con la señal de estiramiento de los grupos N-H [17], la cual se puede ver que tiene un valor de absorbancia mayor en los biocompositos HDC y APC al compararse con sus materiales originales (HD y AP). También puede asociarse a estiramientos de los grupos O-H del agua [18], que interactuaron con los materiales del biocomposito, dando lugar a mayor intensidad en sus señales. Espectros similares fueron reportados en películas de harina de amaranto adicionadas con nanopartículas de quitosano [19]. La 2da derivada del espectro FTIR de la región 1700-1600 cm^{-1} (estructura secundaria) de la harina desgrasada y el aislado con sus respectivos biocompositos, mostró Vibraciones de 1660-1630 cm^{-1} que se asocian al grupo amida I y muestran mayor intensidad en los biocompositos APC y HDC en comparación con HD y AP, respectivamente, donde sus bandas de absorción son menos intensas, observándose una señal más pronunciada para el caso del biocomposito APC además de un ligero cambio de desplazamiento de ésta hacia menores números de onda, lo cual, se asocia a mayor presencia de estructura secundaria, por lo que el tratamiento térmico (proceso y secado del biocomposito) favoreció a la formación mayoritaria de hojas-β [19]. Los espectros FTIR deconvolucionados de la estructura secundaria de proteínas presentes en HD, AP y sus respectivos biocompositos mostraron que HD presentó mayor grado de desorden (giros-β) que HDC. APC mostró una banda de menor intensidad de las hojas-β, así como un desplazamiento de éstas a números de onda menor que AP, esto puede asociarse a un cambio en la composición de las proteínas. Otras razones de aumento de dicha estructura secundaria, puede ser por el tratamiento alcalino del aislado antes del calentamiento y al baño de sonicación de la solución filmogénica, provocando la ruptura de enlaces hidrógeno, y, reduciendo así, giros-β y hélices-α, aumentando el porcentaje de láminas-β [20]. En cuanto a la cuantificación de estructuras secundarias, se tuvo un mayor grado de ordenamiento tanto para la harina, el aislado y sus biocompositos, a pesar del tratamiento donde se modificó el pH para desplegar las proteínas, éste no logró desnaturalizarlas, solo estirarlas provocando vibraciones en ellas como se observó en su 2da derivada, sin embargo, éstas no cambiaron su estructura, lo cual se ve reflejado en el **Cuadro 1**. De acuerdo con la literatura, estos los cambios notorios habrían dado aumento de interacciones intermoleculares y puentes disulfuro entre las proteínas [19]. Los giros-β fueron menores en los biocompositos por casting (HDC y APC), es decir hubo menor grado de desorden. Estos giros pueden ser no helicoidales (tipo I) incluso de rotación de 310 hélices (tipo II o tipo III) [21]. El aislado de proteína tiene estructuras de giro β tipo II y III, mientras que la harina de amaranto estructuras de giro-β tipo I [17].

Cuadro 1. Cuantificación de estructuras secundarias de harina de amaranto (HD), aislado de proteína de amaranto (APA), biocomposito de harina desgrasada por casting (HDC) y biocomposito de aislado proteico por casting (APAC)

Muestra/estructura	Giros-β (%)	Hélices-α (%)	Hojas-β (%)
HD	32.13	9.47	58.40
APA	25.82	15.25	58.93
HDC	5.49	28.29	66.23
APC	12.41	12.24	75.35

En la Figura 2 se muestra el espectro FTIR de HI y HD, las masas que se hacen previamente a someterlas a la termoprensa (MasaHI, MasaHD) así como los espectros de los biocompositos obtenidos por termoprensado (HDT y HIT). La HI muestra principalmente 5 señales. La amplia banda a 3290 y la señal a 2929 cm^{-1} correspondieron al estiramiento de los numerosos grupos O-H y C-H de los carbohidratos, respectivamente [22]. Al igual que el biocomposito HDC, éste indica la formación de una pequeña banda a 1700 cm^{-1} asociada a los estiramientos C=O de carbohidratos asociados a la reacción de Maillard. La débil señal a 1151 cm^{-1} se asoció a la vibración simétrica de los enlaces C-H de los grupos CH_2. A 1023 cm^{-1} hay una señal notoria para HDT, indicando la presencia de glicerol, MasaHD también muestra una señal intensa, a comparación con HIT, probablemente, el glicerol no logró una completa interacción con la matriz polimérica. Las señales a 1082 y 990 cm^{-1}, podrían deberse a la presencia de ácidos grasos característicos presentes en HI. Se han reportado valores de señal similares para el caso de harina de amaranto [23]. De forma adicional, ya que la harina de amaranto es rica en proteína, se observó también una banda a valores de alrededor de 1640 cm^{-1}, que correspondería al grupo C=O de la amida I, grupo característico de las proteínas, se puede observar que las masas presentan mayor intensidad, lo cual tiene mucho que ver el amasado al momento de prepararlas; ésta manipulación manual pudo establecer mayor presencia de la amida I, sin embargo, ésta disminuye al preparar los biocompositos, lo cual puede ser asociado al tratamiento térmico aplicado, que provoca interacciones con los demás componentes presentes en el biocomposito. En los espectros de FTIR de HD se observaron 5 bandas principales características de las proteínas. La señal a 3273 cm^{-1} correspondió a las vibraciones del enlace N-H, en tanto que banda a 2920 cm^{-1} se debió al estiramiento de los enlaces CH. La banda a valores de alrededor de 1640 cm^{-1} es característica del enlace C=O (amida I), mientras que la banda a 1540 cm^{-1} se atribuyó al enlace N-H (amida II). Finalmente, el

 ISSN: 2007 8102

grupo C-N (amida III), fue el responsable de la vibración a valores de 1238 cm^{-1} [24], el cual fue de mayor intensidad para la MasaHD y el biocomposito HDT, esto se atribuye a los tratamientos sometidos al material; por ejemplo, la humedad modificada (22%) para MasaHD y la temperatura de la termoprensa para HDT, incrementó el intervalo de movimiento de las moléculas, promoviendo el reordenamiento de las estructuras de las proteínas, y dando lugar a interacciones entre el almidón, glicerol y fibra. Se observó una señal a valores de 1007 cm^{-1}, la cual corresponde al estiramiento del grupo C-O, típico de los carbohidratos [25].

.

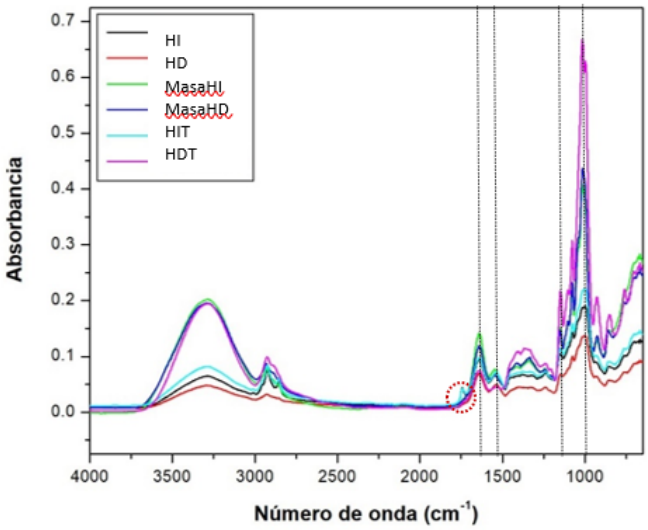


Figura 2. Espectros de FTIR de la harina integral (HI), harina desgrasada (HD), masa de harina integral (MasaHI), masa de harina desgrasada (MasaHD), biocomposito de harina integral (HIT) y biocomposito de harina desgrasada (HDT).

Se puede observar un traslape para MasaHI, MasaHD y el biocomposito HDT, en vibraciones a aproximadamente 3400 cm^{-1}, lo cual se asocia con estiramientos de C-H, la banda ancha de estas 3 muestras (3600-3000 cm^{-1}) pueden indicar a que, debido a la presencia de almidón y agua, las vibraciones sean provocadas por enlaces libres de los grupos hidroxilos, que establecen interacciones diferentes con los demás componentes del material [26], para el caso de HIT, esta banda tiene menor intensidad, probablemente debido a que se formaron nuevos grupos funcionales, como se observó para la reacción de Maillard. La 2da derivada del espectro FTIR en el intervalo (1600-1700 cm-1) muestra que la estructura secundaria de los materiales y biocompositos tienen las vibraciones características de la estructura secundaria de las proteínas, no obstante, las señales en MasaHI, y MasaHD muestran una mayor intensidad, de éstas, incluso que sus materiales (HI y HD), este cambio sugiere que la modificación de humedad, y la combinación con el glicerol añadido a las harinas, causa la presencia mayoritaria de proteínas secundarias; probablemente el amasado también da lugar a mayor interacción entre éstas. Se observó una disminución de intensidad de señal de las estructuras secundarias para los biocompositos HIT y HDT, lo que sugiere que el calor y presión de la termoprensa, rompió los enlaces de hidrógeno y los grupos hidrófobos no polares en la molécula de proteína, que expuso a los grupos de aminoácidos a los demás componentes de los biocompositos (fibra, almidón y grasas) y produjo interacciones entre ellos. Entre números de onda de 1625-1616 cm^{-1}, las bandas pueden asociarse a las propiedades térmicas de las interacciones entre el almidón, fibra y proteínas de los biocompositos y sus materiales [27].
Los espectros deconvolucionados muestran que para el caso de la HI con respecto a la masaHI y al biocomposito HIT, hubo un cambio en la intensidad de banda para las hojas-β, éstas fueron mayor para MasaHI, En el caso de la HI se observa una sola banda de señal de giros-β, la cual se hace doble al momento de realizar la masa, pero, al obtener el biocomposito. este giro vuelve a ser uno solo, por lo cual puede relacionarse con las temperaturas o presiones del equipo, que provocó la ausencia de dobles giros-β, sin embargo, su porcentaje (Cuadro 4) volvió a ser casi igual que antes del tratamiento dado, por lo que presenta alto desorden. Para el caso de los materiales con harina desgrasada (HD, MasaHD y biocomposito HDT) tuvieron similar comportamiento a los de la harina integral, sin embargo, los cambios que se pueden resaltar es que, al momento del amasado, hubo formación de dobles bandas que pertenecen a los giros-β, además que sus hojas-β fueron más intensas que el biocomposito HDT; también hubo un aumento de intensidad de hojas-α en comparación con HD. De manera general, se puede observar en el Cuadro 2, que, siempre predominó la presencia de estructuras de hojas-β y hélices-α, es decir se mantuvo una estructura ordenada hasta la formación de los biocompositos; el termoprensado, no desnaturalizó las proteínas, es decir, a pesar del tratamiento térmico, se mantuvo una estabilidad ordenada de las estructuras secundarias de las proteínas, dada entre los grupos reactivos de las proteínas. Del mismo modo, el grado de desorden no fue notorio, donde se involucran residuos de cuatro aminoácidos que adoptan una orientación antiparalela y forman un enlace de hidrógeno [17]. A pesar de que tanto las hélices-α y hojas-β son los responsables de mantener una estructura ordenada mediante puentes de hidrogeno, cada una de ellas tiene características diferente; Por ejemplo, algunos aminoácidos polares y no polares favorecen la formación de hojas-β [28], dentro de los más comunes tenemos a la Valina, Treonina e Isoleucina [29]. Por otro lado, para las hélices-

 ISSN: 2007 8102

α, se favorecen aminoácidos como la Alanina, Ácido glutámico, Leucina y Metionina [30]. La temperatura no favoreció la degradación de las proteínas, es decir, éstas fueron térmicamente estables pues solo diferían ligeramente entre sus porcentajes de acuerdo con el tratamiento dado, pero las interacciones entre sus grupos reactivos, dio lugar a un mayor orden.

Cuadro 2. Cuantificación de estructuras secundarias de harina desgrasada e integral (HD y HI), masas de HD y HI, y biocomposito de harina desgrasada por termoprensado (HDT) e integral (HIT)

Muestra/estructura	Giros-β (%)	Hélices-α (%)	Hojas-β (%)
HI	21.99	16.78	61.23
HD	32.13	9.47	58.40
MasaHI	12.53	24.90	62.57
MasaHD	11.51	24.64	63.85
HIT	20.39	17.10	62.52
HDT	13.88	26.36	59.76

Microscopía electrónica de barrido ambiental

Las micrografías de corte superficial y transversal de los biocompositos de harinas por casting y termoprensado y AP se muestran en la Figura 3 A-D. La Figura 3A que corresponde al biocomposito HDC muestra una superficie aparentemente lisa indicando una buena interacción entre los componentes de la harina con el glicerol, esto puede constatarse en su análisis FTIR, pues presentaba una banda a aproximadamente 1023 cm^{-1}, asociada al glicerol presente en HDC. Su superficie lisa parece indicar que la temperatura y condiciones de proceso son óptimas para dicho biocomposito. Su corte transversal muestra ciertos espacios vacíos y zonas corrugadas las cuales pueden asociarse a la evaporación parcial del agua que provocó dichas irregularidades. Por otro lado, la Figura 3B pertenece al biocomposito APC, su corte superficial mostró una apariencia granular y heterogénea, dicha apariencia se atribuye a las proteínas que se encuentran en la matriz polimérica [18]. El corte transversal del biocomposito APC denota una división con una capa que divide a la muestra en 2 canales; esto puede asociarse a una migración de plastificante (glicerol). Se observa un espesor muy delgado, lo cual se puede comprobar ya que ésta es el biocomposito con menor grosor (0.13 mm), La Figura 3C pertenece a los biocompositos HDT, la superficie muestra una buena adhesión de los componentes con el tratamiento térmico aplicado, indicando compatibilidad entre ellos, y buena compactación de éstos. En el corte transversal se nota que las zonas corrugadas se deben, probablemente a la presencia de fibras entre el almidón y proteínas quedando atrapadas dentro de la matriz de dichos biopolímeros formando así esas zonas donde se nota una dirección de flujo de las fibras no alineadas [31] o también a la presencia de agua. Por último, la Figura 3D que corresponde al corte superficial del biocomposito HIT se muestran zonas lisas con pequeños relieves, además de algunas zonas donde parece ser que hubo fractura en la placa provocado por la manipulación del biocomposito, su corte transversal sugiere menor cantidad de zonas arrugadas en comparación con el biocomposito HDT, además de algunas zonas donde parece ser que se sobreponen partes de la placa, que probablemente se formaron al momento de la compactación de la masa previa a la obtención del biocomposito.

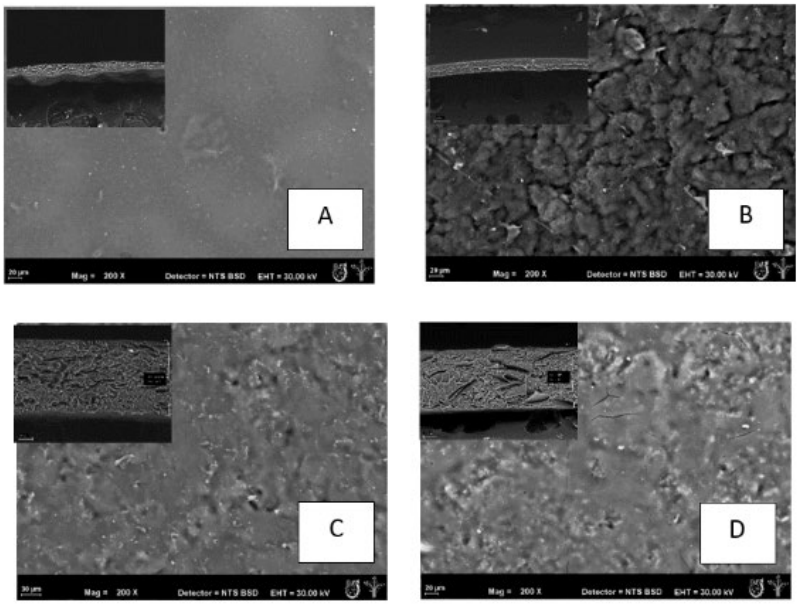


Figura 3. Micrografías superficiales (200x) y transversales (100x) de biocompositos de amaranto. A) HDC, B) APC, C) HDT y D) HIT.

 ISSN: 2007 8102

Propiedades mecánicas

El Cuadro 3 muestra los valores de espesor, tensión a la fractura (TF), elongación (%ε) y módulo de elasticidad (E) de los biocompositos, éstos presentan diferencias estadísticas significativas entre ambos métodos de obtención ($P<0.05$), de acuerdo con los espesores obtenidos de los biocompositos, aquellos por termoprensado se catalogan como placas o láminas (>0.25 mm), mientras que aquellos obtenidos por casting, como películas (<0.25 mm) (ASTM, 2002). Se puede observar que los valores de TF de biocompositos HDC y APC no tiene diferencia estadística significativa ($P>0.05$), la baja resistencia puede ser atribuida al espesor de los biocompositos o también a débiles interacciones, así como la distribución de los componentes. Como observamos en la MEB, el biocomposito HDC denotó rugosidades en su corte transversal que se pueden asociar alta presencia de humedad, lo cual se comprobó con su análisis FTIR, pues tanto para HDC como APAC, hubo presencia de estiramientos de los grupos O-H del agua. El valor de %ε de los biocompositos por casting tuvo diferencia significativa ($P<0.05$). Se esperaba que HDC tuviera un comportamiento elástico al tener presencia de glicerol en su estructura que interactuó con la harina y el agua, que también actúa como plastificante, sin embargo, su valor fue aún más bajo que APC, posiblemente, el glicerol y el agua no pudieron distribuirse homogéneamente y crear nuevos enlaces hidrógeno entre los grupos hidroxilo (O-H) de los biopolímeros que componen la matriz polimérica, dando lugar a un bajo %ε. Los valores de E resultaron muy bajos sin diferencia significativa ($P>0.05$), por lo cual no son biocompositos rígidos y se deforman fácilmente, a pesar de que la temperatura de proceso (70± 2°C) para HDC logró la gelatinización del almidón, para que adoptara interacciones con la fibra para así actuar como un material rígido [32]. En cuanto al biocomposito APC, el que no se haya desnaturalizado las proteínas, desfavoreció la formación de puentes sulfito entre las cadenas proteicas [33]. Por otro lado, los biocompositos por termoprensado (HDT y HIT) no presentan diferencias significativas ($P>0.05$) en su TF, esto se puede asociar a que las proteínas presentes en ambos biocompositos resultaron de un menor grado de interacción entre las mismas; además, la orientación de la matriz proteica provocada por la fuerza de la termocompresión puede haber afectado las propiedades de tracción [34]. Los valores del %ε de los biocompositos HDT y HIT tuvieron diferencias significativas ($P<0.05$). A pesar de que su análisis MEB denotaba que no existía diferencia en cuanto a sus micrografías superficiales, los cortes fracturados indicaban mayor presencia de fibras en el área transversal para HDT, lo cual pudo favorecer que ésta actuara como un relleno para los espacios vacíos que llegaron a quedar intermolecularmente, y así mejorar su elasticidad. Caso contrario para HIT, puede asociarse a una compactación de los componentes de manera heterogénea e irregular, e incluso, como se observó en el análisis FTIR, la reacción de Maillard producida por la aplicación de calor y presión puede disminuir los valores en su %ε, por el entrecruzamiento de una red proteica [14]. Por último, el Módulo de Elasticidad E de ambas biocompositos por termoprensado son diferentes entre sí, teniendo un comportamiento interesante, pues el biocomposito HDT resultó ser la menos rígida, contrario a HIT ($P<0.05$), puede asociarse a la compactación que generó las altas temperaturas en las placas de termoprensado, y debido a que la harina integral tiene presente todos los componentes, esto pudo haber generado mayor fuerza compacta. En general, los biocompositos por termoprensado presentaron una alta rigidez y TF en comparación con aquellos por casting, lo cual podría estar relacionado a la formación interacciones moleculares, provocando que dichos reordenamientos hayan sido favorecidos por las condiciones de alta temperatura del proceso de termoprensado [19] que mejoraron la fluidez de la matriz [34]. además, es importante adicionar que las discrepancias en el %ε se pueden atribuir a la acción plastificante del agua [35], teniendo valores más altos en APC y HDT, lo que indica que, en ambas hubo menor densidad de las interacciones+ proteína-proteína, aumentando la movilidad de las cadenas poliméricas, y aumentando su %ε [36].

Cuadro *3*. Propiedades mecánicas de biocompositos de amaranto por casting y termoprensado.

Biocomposito	Espesor (mm)	Tensión a la fractura (TF) MPa	Elongación (ε) (%)	Módulo de elasticidad (E)
HDC	0.18 ± 0.08^{a}	0.10 ± 0.06^{a}	7.79 ± 3.7^{a}	0.03 ± 0.01^{a}
APAC	0.13 ± 0.09^{a}	0.15 ± 0.10^{a}	34.50 ± 6.61^{b}	0.02 ± 0.02^{a}
HDT	0.56 ± 0.04^{b}	1.88 ± 0.2^{b}	44.28 ± 3.6^{c}	0.20 ± 0.06^{b}
HIT	0.49 ± 0.05^{b}	1.78 ± 0.2^{b}	7.55 ± 2.65^{a}	0.65 ± 0.16^{c}

Valores promedio de n=10 para los parámetros de propiedades mecánicas de biocompositos de semillas de amaranto. Las letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencia significativa para una $\alpha=0.05$ aplicando el método de Tukey. Código: HDC= Harina desgrasada casting, HDT= Harina desgrasada termoprensado, HIT= Harina integral termoprensado, APC= Aislado de proteína de amaranto por casting.

Permeabilidad al vapor de agua y solubilidad

Los datos de permeabilidad al vapor de agua se muestran en el Cuadro 4 se puede observar que el valor del biocomposito APC, con respecto a HDC resulta ser menos permeable, presentando diferencias estadísticas

 ISSN: 2007 8102

significativas P<0.05). A pesar de que fueron elaboradas en las mismas condiciones, la naturaleza hidrofóbica de las fracciones proteicas (globulinas) presentes en el biocomposito APC propiciaron diferencias en la naturaleza hidrofílica-hidrofóbica de las películas como el resultado de interacciones entre proteínas [37], mientras que para el biocomposito HDC, la presencia de los grupos hidrofílicos del almidón presente en la harina de amaranto tenían disponibilidad para interactuar con las moléculas de agua asociándose con las moléculas de glicerol mediante enlaces hidrógeno [38]. Al tener presente irregularidades y espacios vacíos en la superficie del biocomposito HDC que fueron observadas en el análisis MEB, éstas provocaron la migración de vapor de agua a través de su matriz polimérica por lo que ésta no logró actuar como un refuerzo para evitar el paso de moléculas, además, su 2da derivada espectral de la estructura secundaria indicó menor intensidad para éstas, por lo que, aminoácidos hidrofóbicos también habrían evitado interactuar con el agua. Es importante mencionar que la diferencia de espesores y la distribución de los componentes de las macromoléculas influye en los valores de PVA de los biocompositos.

Cuadro 4. Permeabilidad al vapor de agua de biocompositos de amaranto

Biocomposito	Solubilidad (%)	PVA $*10^{-8}$ $Kg\ s^{-1}\ m^{-2}\ Pa^{-1}$
HDC	61.76 ± 19.32^{a}	314 ± 0.6^{a}
APC	55.71 ± 4.86^{a}	10.7 ± 0.02^{b}
HDT	35.42 ± 7.08^{b}	3.61 ± 0.01^{c}
HIT	37.99 ± 8.62^{b}	$0.00000537 \pm 0.00000297^{d}$

Valores promedio de n=3 para los parámetros de PVA de biocompositos de semillas de amaranto. Las letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencia significativa para una α=0.05 aplicando el método de Tukey. Código: HDC= Harina desgrasada casting, HDT= Harina desgrasada termoprensado, HIT= Harina integral termoprensado, APAC= Aislado de proteína de amaranto por casting.

Por otro lado, los biocompositos por termoprensado presentan una diferencia significativa (P<0.05). El biocomposito de HIT presentó el valor más bajo de PVA, este valor se asocia a las temperaturas de la termoprensa que provocaron la reacción de Maillard; tal y como se pudo observar en el espectro FTIR, éste mecanismo se lleva a cabo en los poros de los materiales [39]. por lo que indica que la unión de los grupos carbonilo de los azúcares reductores y los aminoácidos libres al calentarse al formar el biocomposito, da lugar a una reducción de porosidad en el material, dando como resultado una estructura que dará lugar a un camino tortuoso para las de moléculas de agua o impidiendo su paso a través de la matriz. El biocomposito HDT tuvo un valor más alto probablemente debido a que en su estructura hay menor porcentaje de lípidos, lo que permitió al almidón junto con el glicerol establecer espacios libres para las moléculas de agua, hay que recordar que la interacción lípido-almidón ocasiona mayor hidrofobicidad evitando así la difusión del vapor de agua a través de la película [40]. A manera de contrastar, los biocompositos por termoprensado resultaron ser menos permeables que aquellos elaborados por casting lo cual puede estar relacionado con la diferencia de espesor, y las altas temperaturas en los biocompositos por termoprensado. La solubilidad de HDC y APC (Cuadro 4) no presentaron diferencias significativas (P>0.05), sin embargo, sus valores se pueden atribuir a la presencia mayoritaria de almidón en la harina desgrasada, lo que permitió afinidad por el agua, haciendo más soluble a HDT [41]. La solubilidad en APC se asoció a su estructura ordenada de proteínas, las cuales no fueron desnaturalizadas, por lo que dentro de sus fracciones proteicas pudiera estar una de carácter hidrofóbico. Por otro lado, los biocompositos por termoprensado no presentan diferencia significativa entre sus resultados (P>0.05) sus valores indican que el tratamiento por calor dio lugar a enlaces más fuertes, como las interacciones disulfuro, que dieron lugar a una disminución en su solubilidad [34]. A pesar de que sus masas mostraban mayor presencia de estructuras proteicas en su 2da derivada de la estructura secundaria, el calentamiento de los biocompositos por termoprensado, condujo a desplegar las proteínas aumentando la presencia de éstas de carácter hidrofóbico [42]. El termoprensado da lugar a una mejor compactación, por lo que, interacciones entre los diferentes componentes de las harinas, y la temperatura da lugar a una estructura más difícil de solubilizar.

Color y opacidad

El Cuadro 5 muestra los valores de color y opacidad obtenidos para los biocompositos de amaranto. Los biocompositos de elaborados por termoprensado presentan valores más bajos de L* en comparación con aquellas por casting, debido a las altas temperaturas y presiones que se emplean para producir el biocomposito, que compacta y provoca que la placa se vea oscura, lo cual se atribuye a la reacción de Maillard, donde la presencia de azúcares en los biocompositos HDT y HIT podrían alterar la conformación de las proteínas, interactuando con ellas y uniéndose a los grupos laterales de las proteínas presentes en la harina, influyendo en sus propiedades de color [14]. Los valores de saturación (Chroma) no presentan diferencia estadística significativa (P>0.05) para los biocompositos por las cuales representan una saturación baja. Los biocompositos HDC con APAC presentaron una diferencia estadística significativa (P<0.05) de opacidad, dicho resultado sugiere que este atributo puede

 ISSN: 2007 8102

relacionarse con la presencia de lípidos en la matriz. En cuanto a los valores de opacidad de los biocompositos de HDT y HIT no se observaron diferencias significativas (P>0.05). El valor de hue fue mayor para los biocompositos elaborados por casting, estos muestran una coloración amarillenta, mientras que os biocomopositos elaborados por termoprensado tienen una coloración oscura, la reacción de Maillard puede verse favorecida.

Cuadro 5. Luminosidad (L*), Croma (C*), matiz (h) y opacidad de biocompositos de amaranto

Biocomposito	L*	h* (°)	C*	Opacidad
HDC	83.63 ±0.09^{a}	90.07± 0.01^{a}	19.72±0.03^{a}	6.45±1.18^{a}
APC	80.01± 0.005^{b}	88.60±0.01^{a}	21.27±0.04^{b}	4.68±0.12^{b}
HDT	44.06 ±0.01^{c}	41.63±1.29^{b}	30.35±0.07^{c}	3.45±0.12^{b}
HIT	55.65 ±0.05^{d}	51.74±0.02^{c}	20.52±0.04^{d}	3.10±0.21^{b}

Valores promedio de n=3 para los parámetros de propiedades mecánicas de biocompositos de semillas de amaranto. Las letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencia significativa para una α=0.05 aplicando el método de Tukey. Código: HDC= Harina desgrasada casting, HDT= Harina desgrasada termoprensado, HIT= Harina integral termoprensado, APC= Aislado de proteína de amaranto por casting.

Análisis termogravimétrico (ATG)

La Figura 4 muestra los termogramas de los biocompositos en función de la temperatura. Se observan dos etapas de pérdida de peso, la primera se asociada a la evaporación del disolvente [9].

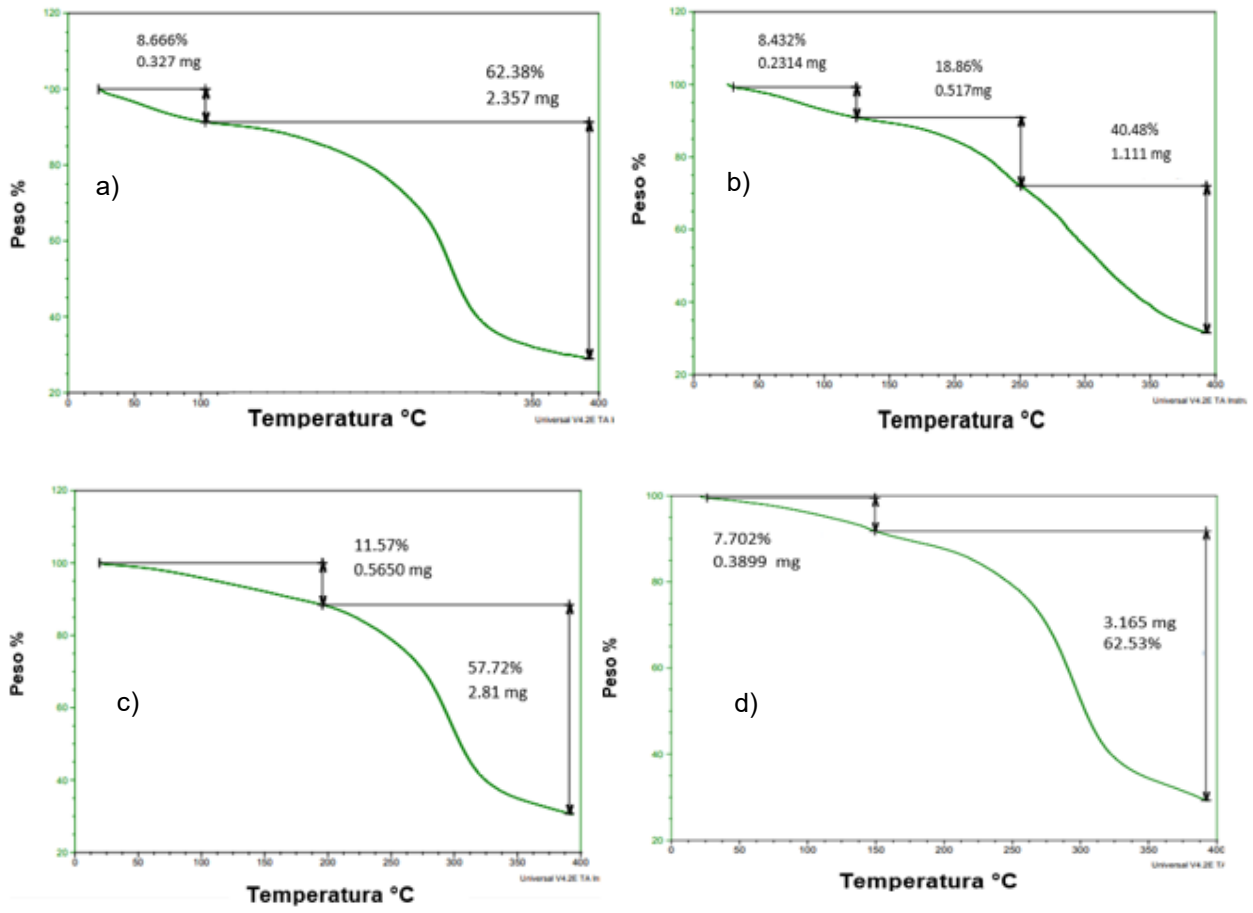


Figura 4. Termogramas de biocompositos de amaranto. 6A = (HDC) Harina desgrasada por casting, 6B= (APA) Aislado de proteína de amaranto por casting, 6C= (HDT) Harina desgrasada por termoprensado, 6D= (HIT) Harina integral por termoprensado.

 ISSN: 2007 8102

La segunda se puede asociar a la descomposición de las proteínas [43] presentes en el biocomposito, así como a la oxidación que sufre el almidón, [44] y a la evaporación del plastificante (glicerol), indicando una pérdida de masa. Sin embargo, APC, presentó 3 etapas de degradación térmica. La primera etapa comienza aproximadamente a los 30-115 °C, donde inicia la evaporación del agua que está presente en la película, indicando una pérdida de masa de 8.43%.
Después se da una pérdida de peso entre los 130-250 °C de alrededor de 18.86%, aquí puede asociarse dicha perdida a la descomposición de fracciones proteicas de menor peso molecular [45], por último, la tercera etapa muestra una curva de degradación que comienza a los 250 °C, terminando en aproximadamente 390 °C, donde se pierde hasta el 48.4% de materia, pudiendo asociarse a la descomposición de fracciones de proteínas con mayor interacción o de mayor peso molecular [46], además, este paso se relaciona con la ruptura del enlace covalente de los péptidos de los residuos de los aminoácidos [47]. Es importante mencionar que en el biocomposito de HDC se produjo una degradación a temperaturas inferiores, esto se relaciona con una fase rica en glicerol en los polímeros que presenta la harina desgrasada (almidón) cuando se incorpora un plastificante [44].

Conclusiones

Las propiedades de los biocompositos fueron directamente relacionadas con la distribución de sus componentes, aunque no se llevó a cabo la desnaturalización de las proteínas, los demás componentes presentes como la fibra, almidón y fracción lipídica jugaron un papel importante en las interacciones entre éstos, las diferentes temperaturas y tratamientos expusieron resultados diferentes para ambos métodos. Los biocompositos por casting fueron más solubles, más frágiles y tuvieron mayor paso de moléculas de agua en comparación con los biocompositos por termoprensado que fueron más resistentes a la ruptura, sólo difirieron en su elasticidad, lo cual fue mayor en los materiales que tenían ausencia o poca presencia de lípidos en su estructura. Las micrografías revelaron diferencias notorias en cuanto a las superficies y cortes transversales esto porque se trabajó a diferentes condiciones (temperatura, presión, secado) para obtener los biocompositos. El termoprensado facilita el movimiento molecular de proteínas presentes en las harinas y el aislado, como se observó en su análisis FTIR. La reacción de Maillard jugó un papel importante para ambos métodos al aplicar elevadas diferentes temperaturas y en el caso del termoprensado también diferentes presiones, dando coloración oscura en los biocompositos por termoprensado y amarillento en los de casting. La degradación térmica de los biocompositos varió, sin embargo, el biocomposito APC resultó ser la más inestable por el alto porcentaje de proteínas.

Agradecimientos

Los autores agradecen los apoyos económicos recibidos por parte de: CONACYT, COFAA y EDI -IPN.

Referencias

[1] Rudin, A. and Choi, P. (2013) ‘Biopolymers’, in Biopolymer Engineering in Food Processing, pp. 521–535. doi: 10.1201/b12048.
[2] Mohanty, A. K., Misra, M. and Hinrichsen, G. (2000) ‘Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview Summary of contents 1. Introduction 2. Reinforcing biofibres 2.1 Chemical constituents and structural aspects 2.2 Properties of biofibres 2.3 Degradation properties of biofibres 2.4 Cost asp’, Macromol. Mater. Eng. 276, 277, pp. 1–24.
[3] Drakos, A., Pelava, E. and Evageliou, V. (2018) ‘Properties of flour films as affected by the flour’s source and particle size’, Food Research International, 107, pp. 551–558. doi: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.005.
[4] Sindhu, R. (2016) ‘Characterization of Amaranth (Amaranthus Hypocondriacus) Starch’, 5(06), pp. 463–469
[5] Martínez, E. N., & Añón, M. C. (1996). Composition and structural characterization of amaranth protein isolates study. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 44, 2523-2530.
[6] AOAC (1995) ‘Official methods of analysis of AOAC international’. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
[6] Tapia-Blácido D., Sobral, P. J. and Menegalli, F. C. (2005) ‘Development and characterization of biofilms based on Amaranth flour (Amaranthus caudatus)’, Journal of Food Engineering, 67(1–2), pp. 215–223. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.05.054.
[7] ASTM, 1995 Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting

 ISSN: 2007 8102

[8] ASTM, 1980. Standard test methods for water vapor transmission of materials. Standards Designation: E96–80. In *Annual Book of ASTM*, ASTM, 771–778. Philadelphia , PA .

[9] Gontard, N., Guilbert, S. and Cuq, J.-L. (1992), Edible Wheat Gluten Films: Influence of the Main Process Variables on Film Properties using Response Surface Methodology. Journal of Food Science, 57: 190-195. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05453.x

[10] Cao, N., Fu, Y. and He, J. (2007) 'Preparation and physical properties of soy protein isolate and gelatin composite films', Food Hydrocolloids, 21(7), pp. 1153–1162. doi: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.09.001.

[11] Mokrejs, P. et al. (2009) 'Thermal study and solubility tests of films based on amaranth flour starch–protein hydrolysate', Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 98(1), pp. 299– 307. doi: 10 .1007/s10973-009-0106-4.

[12] Contreras López, Elizabeth, Jaimez Ordaz, Judith, Porras Martínez, Griselda, Juárez Santillán, Luis Felipe, Añorve Morga, Javier, & Villanueva Rodríguez, Socorro. (2010). Propiedades fisicoquímicas y sensoriales de harinas para preparar atole de amaranto. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, *60*(2), 184-191. Recuperado en 08 de septiembre de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222010000200012&lng=es&tlng=es.

[13] Danish, M. et al. (2016) 'Response Surface Methodology: An Imperative Tool for the Optimized Purification of the Residual Glycerol from Biodiesel Production Process', Chiang Mai Journal of Science, 44.

[14] Piccirilli, G. N. et al. (2019) 'Effect of storage conditions on the physicochemical characteristics of edible films based on whey protein concentrate and liquid smoke', Food Hydrocolloids, 87, pp. 221–228. doi: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.015.

[15] Leerahawong, A. et al. (2012) 'Stability of the Physical Properties of Plasticized Edible Films from Squid (Todarodes pacificus) Mantle Muscle during Storage', Journal of Food Science, 77(6), pp. E159–E165. doi: https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02728.x.

[16] Chandla, N. K., Saxena, D. C. and Singh, S. (2017) 'Amaranth (Amaranthus spp.) starch isolation, characterization, and utilization in development of clear edible films', Journal of Food Processing and Preservation, 41(6). doi: 10.1111/jfpp.13217.

[17] Lozano-Grande, M. et al. (2019) 'Optimisation of Microwave-Assisted Extraction of Squalene from Amaranthus spp. Seeds', Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 53(4), pp. 243–258. doi: 10.1080/08327823.2019.1677429

[18] Morales-Olán G, Ríos-Corripio MA, Hernández-Cázares AS, Zaca-Morán P, Luna-Suárez S, Rojas-López M. Effect of Chitosan Nanoparticles Incorporating Antioxidants from Salvia hispanica L. on the Amaranth Flour Films. Food Technol Biotechnol. 2022 Mar;60(1):52-66. doi: 10.17113/ftb.60.01.22.7144. PMID: 35440877; PMCID: PMC8990987.

[19] Mangavel, C. et al. (2004) 'Properties and microstructure of thermo-pressed wheat gluten films: A comparison with cast films', Biomacromolecules, 5(4), pp. 1596–1601. doi: 10.1021/bm049855k.

[20] Figueroa-González, J. J. et al. (2022) 'Modifying the structure, physicochemical properties, and foaming ability of amaranth protein by dual pH-shifting and ultrasound treatments', LWT, 153, p. 112561. doi: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112561.

[21] Barth, A. (2007) 'Infrared spectroscopy of proteins', Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics, 1767(9), pp. 1073–1101. doi: https://doi.org/10.1016/j.bbabio.2007.06.004.

[22] Smith, B. C. (2017) 'An IR spectral interpretation potpourri: Carbohydrates and alkynes', Spectroscopy (Santa Monica), 32, pp. 18–24.

[23] Siwatch, M., Yadav, R. B. and Yadav, B. S. (2019) 'Chemical, physicochemical, pasting and microstructural properties of amaranth (Amaranthus hypochondriacus) flour as affected by different processing treatments', Quality Assurance and Safety of Crops and Foods, 11(1), pp. 3– 13. doi: 10.3920/QAS2017.1226.

[24] Guerrero, P. et al. (2012) 'Extrusion of soy protein with gelatin and sugars at low moisture content', Journal of Food Engineering, 110(1), pp. 53–59. doi: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.12.009.

[25] Smith, B. C. (2017) 'An IR spectral interpretation potpourri: Carbohydrates and alkynes', Spectroscopy (Santa Monica), 32, pp. 18–2

[26] Fang, J. M. et al. (2002) 'An investigation of the use of recovered vegetable oil for the preparation of starch thermoplastics', Carbohydrate Polymers, 50, pp. 429–434. doi: 10.1016/S0144-8617(02)00123-6.

[27] Chávez-Murillo, C. et al. (2018) 'Physicochemical characteristics , ATR-FTIR molecular interactions and in vitro starch and protein digestion of thermally-treated whole pulse fl ours', 105(November 2017), pp. 371–383. doi: 10.1016/j.foodres.2017.11.029.

 ISSN: 2007 8102

[28] Rudra, J. S. and Collier, J. H. (2011) 'Self-Assembling Biomaterials', in Ducheyne, P. B. T.-C. B. (ed.) Comprenhensive biomaterials. Oxford: Elsevier, pp. 77–94. doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-055294-1.00063-5

[29] Boyle, A. L. (2018) '3 - Applications of de novo designed peptides', in Koutsopoulos Biotechnology and Bioengineering, S. B. T.-P. A. in B. (ed.). Woodhead Publishing, pp. 51–86. doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100736-5.00003-X.

[30] Skipper, L. (2005) 'P | Overview', in Worsfold, P., Townshend, A., and Poole, C. B. T.-E. of A. S. (Second E. (eds) Analytical Science. Oxford: Elsevier, pp. 344–352. doi: https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00493-3.

[31] Lawton, J. W., Shogren, R. L. and Tiefenbacher, K. F. (1999) 'Effect of Batter Solids and Starch Type on the Structure of Baked Starch Foams', Cereal Chemistry, 76(5), pp. 682–687. doi: https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.5.682.

[32] Denavi, G. et al. (2009) 'Effects of drying conditions on some physical properties of soy protein films', Journal of Food Engineering, 90(3), pp. 341–349. doi: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.001.

[33] Sobral, P. J., dos Santos, J. S. and García, F. T. (2005) 'Effect of protein and plasticizer concentrations in film forming solutions on physical properties of edible films based on muscle proteins of a Thai Tilapia', Journal of Food Engineering, 70(1), pp. 93–100. doi: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.09.015.

[34] Ciannamea, E. M., Stefani, P. M. and Ruseckaite, R. A. (2014) 'Physical and mechanical properties of compression molded and solution casting soybean protein concentrate based films', Food Hydrocolloids, 38, pp. 193–204. doi: 10.1016/j.foodhyd.2013.12.013.

[35] Hernandez-Izquierdo, V. M. and Krochta, J. M. (2008) 'Thermoplastic processing of proteins for film formation - A review', Journal of Food Science, 73(2), pp. 30–39. doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00636.x

[36] Rocha, M. da et al. (2013) 'Influence of heating, protein and glycerol concentrations of film-forming solution on the film properties of Argentine anchovy (Engraulis anchoita) protein isolate', Journal of Food Engineering, 116(3), pp. 666–673. doi: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.004.

[37] Condés, M. C., Añón, M. C. and Mauri, A. N. (2013) 'Amaranth protein films from thermally treated proteins', Journal of Food Engineering, 119(3), pp. 573–579. doi: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.006.

[38] Tapia-Blácido, Sobral, P. J. do A. and Menegalli, F. C. (2013) 'Effect of drying conditions and plasticizer type on some physical and mechanical properties of amaranth flour films', LWT - Food Science and Technology, 50(2), pp. 392–400. doi: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.008.

[39] Bell LN, Touma D, White KL, Chen YH (1998) Glycine loss and Maillard browning as related to the glass transition in a model food system. J Food Sci 63:625–62

[40] Muñoz-Tebar, N. et al. (2021) 'Use of chia by-products obtained from the extraction of seeds oil for the development of new biodegradable films for the agri-food industry', Foods, 10(3). doi: 10.3390/foods10030620.

[41] Andrade-Mahecha, M. M., Tapia-Blácido, D. R. and Menegalli, F. C. (2012) 'Development and optimization of biodegradable films based on achira flour', Carbohydrate Polymers, 88(2), pp. 449–458. doi: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.12.024.

[42] Angellier, H. et al. (2011) 'Influence of processing temperature on the water vapour transport properties of wheat gluten based agromaterials', Industrial Crops & Products, 33(2), pp. 457–461. doi: 10.1016/j.indcrop.2010.10.028

[43] Jafarzadeh, S. et al. (2018) 'Physico-mechanical and microstructural properties of semolina flour films as influenced by different sorbitol / glycerol concentrations', International Journal of Food Properties, 21(1), pp. 983–995. doi: 10.1080/10942912.2018.1474056.

[44] Gutiérrez, T. J. et al. (2016) 'Influence of beet flour on the relationship surface-properties of edible and intelligent films made from native and modified plantain flour', Food Hydrocolloids, 54, pp. 234–244. doi: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.10.012.

[45] Mikus, M. et al. (2021) 'Development and Characterization of Novel Composite Films Based on Soy Protein Isolate and Oilseed Flours', Molecules (Basel, Switzerland), 26(12), p. 3738. doi: 10.3390/molecules26123738

[46] Hoque, S. (2011) Improvement of Properties of Edible Film Based on Gelatin from Cuttlefish (Sepia pharanois). Prince of Songkla University.

[47] Ochoa-Yepes, O. et al. (2019) 'Influence of process (extrusion/thermo-compression, casting) and lentil protein content on physicochemical properties of starch films', Carbohydrate Polymers, 208, pp. 221–231. doi: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.12.030.

 ISSN: 2007 8102

Efecto de la bioestimulación *in vitro* con vanadio en el desarrollo morfológico de dos especies de cítricos

Vanessa Yamilet Duran-Rosas[1], Odón Castañeda-Castro[1,] Miriam Cristina Pastelín-Solano[1], Guadalupe Vivar-Vera[1], , and Javier Emanuel Bulbarela-Marini[1]*
[1]Universidad Veracruzana Facultad de Ciencias Químicas. Prolongación de Oriente 6 no. 1009. Orizaba Veracruz, México. C. P. 94340
** jbulbarela@uv.mx,*

***Área de participación**: Ingeniería química*

Resumen

Los cítricos son de suma importancia en el mercado mundial, son los frutos más consumidos en el mundo entre ellos encontramos naranjas, pomelos, limas y limones, en el cultivo de cítricos se implementa el uso de injertos, para inducir la fructificación temprana, tener tolerancias a patógenos o a condiciones edafoclimáticas, en el presente estudio se ha implementado el vanadio como bioestimulante, para observar la reacción de dos portainjertos de cítricos, en el presente estudio se observó que ninguna de las concentraciones de vanadio afecto la germinación y crecimiento de las plántulas, el vanadio aumento la germinación de semillas y la generación de clorofilas por ejemplo 4.5 mg/g en el caso de Citrus Macrophylla como el mejor tratamiento.

***Palabras clave**: in vitro, cítricos, bioestimulación*

Abstract

Citrus fruits are of the utmost importance in the world market, they are the most consumed fruits in the world, among them we find oranges, grapefruits, limes and lemons, in the cultivation of citrus fruits the use of grafts is implemented, to induce early fruiting, have tolerances to pathogens or edaphoclimatic conditions, in the present study vanadium has been implemented as a biostimulant, to observe the reaction of two citrus rootstocks, in the present study it was observed that none of the vanadium concentrations affected the germination and growth of the seedlings, vanadium increased seed germination and chlorophyll generation, for example 4.5 mg/g in the case of Citrus Macrophylla as the best treatment.

***Keywords:** in vitro, citrus, biostimulation*

Introducción

Frutales más importantes del mundo son los cítricos de los cuales los que tienen mayor demanda de consumo son: naranjas, limones, limas y pomelos. Se dice que se cultivan en 168 países en una superficie de 12.7 millones de hectáreas con más de 11 millones de toneladas anuales [1]. En el cultivo de cítricos se implementa el uso de los injertos, los porta injertos confieren adaptabilidad y tolerancia a factores bióticos y abióticos, dos portainjertos con amplio uso son *Citrus Volkameriana* y *Citrus Macrophylla* por su empleo en diversos cítricos [2]. Se presentan varios problemas en cultivo de cítricos, como lo son estrés hídrico, salino y enfermedades como el Huanglongbing (HLB) y el Virus de la Tristeza de los Cítricos (CTV), todo esto afectando el desarrollo, así como a asimilación de nutrimentos en el cultivo [3] [4] [5].

Los bioestimulantes ayuda a las plantas con la absorción de los nutrientes, la resistencia al estrés abiótico como son la salinidad o la sequía con lo cual mejora la producción de los cultivos [6]. El vanadio como bioestimulante tiene relación en el crecimiento de las plantas y la biomasa pueden

ISSN: 2007 8102

atribuirse a la promoción de la biosíntesis de clorofila, aminoácidos y azúcar contenidos, fijación, utilización de nitrógeno, absorción y translocación de elementos esenciales como N, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn y B en presencia de niveles bajos de vanadio [7].

Materiales y métodos

Ubicación

La presente investigación se desarrolló en LADISER de Biotecnología y Criobiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana campus Orizaba, ubicada en Prolongación de oriente 6, No. 1009, Orizaba, Veracruz, México.

Material biológico

El material vegetal fueron semillas, provenientes de frutos de *Citrus macrophylla* y *Citrus volkameriano* provenientes de Parácuaro, Michoacán de Ocampo, México. Apatzingán de la Constitución Centro, Michoacán de Ocampo, México.

Extracción y desinfección de semillas

Las semillas de los patrones, *Citrus macrophylla*, *Citrus volkameriano*, se obtuvieron de árboles sanos, se empezó cortando periféricamente el fruto para así no correr el riesgo de dañar las semillas, se retiró la testa a la semilla y posteriormente se sumergieron en una solución con ácido ascórbico y ácido cítrico para evitar la oxidación. Las semillas se lavaron con detergente comercial en 300 mL de agua durante 20 min, el siguiente paso fue enjuagar con agua destilada de 2 a 3 veces hasta eliminar el excedente de detergente. Posteriormente se trataron con 2 g L^{-1} de Captan durante 20 minutos en agitación constante, de igual manera se realizaron de 2 a 3 enjuagues.

Las semillas se trataron con 5 mL/L de sales cuaternarias durante 15 minutos con una agitación constante y se realizaron de 3 a cuatro enjuagues con agua destilada. Una vez realizado este proceso a las semillas se les realizó un último enjuague con alcohol etílico al 96% durante 30 segundos para después realizar de 2 a 3 enjuagues con agua destilada estéril. Bajo condiciones asépticas en una campana de flujo laminar para la introducción de medio de cultivo, se realizó un último enjuague con solución de Microdyn al 0.1% durante 5 minutos seguido de 3 a 4 lavados con agua bio destilada tratada en una autoclave.

Fuente de Vanadio

El reactivo que se utilizó como bioestimulante fue el Metavanadato de amonio (NH_4VO_3) con un peso molecular de 116.98 g/mol con una pureza de 99.8 % mínimo.

Medio de cultivo y concentraciones

El medio de cultivo que se uso es el Murashige y Skoog [8] suplementado con 30 g L^{-1} de sacarosa, 100 mg L^{-1} ácido ascórbico, 150 mg L^{-1} de ácido cítrico, 1 mg L^{-1}, como agente bioestimulante se le agrego el vanadio en cuatro concentraciones (tabla 1) y un patrón para posteriormente ajustar el pH a 5.7, por último, se esterilizó en la autoclave a 121 °C durante 15 minutos. Se utilizaron tubos de rosca, en los tubos de ensayo se colocó una esponja previamente esterilizada esta sirvió para que no se hundieran las semillas y afectara su germinación a cada tubo se le agrego 9 mL de medio.

 ISSN: 2007 8102

Variedad	Concentraciones de Vanadio
Macrophylla	0
	5 µM
	10 µM
	15 µM
	20 µM
Volkameriana	0
	5 µM
	10 µM
	15 µM
	20 µM

Tabla 1 Número de repeticiones que se hicieron por variedad

Condiciones *in vitro* controladas

Las plántulas de cítricos se mantuvieron en medio de cultivo *in vitro* a una temperatura de 26C° con una intensidad lumínica de 16 horas con luz y 8 horas en oscuridad y un fotoperiodo de 25 a 35 µmol/m^2 durante 48 días.

Variables para evaluar

Germinación

Las semillas se tuvieron en observación para revisar cuantas semillas ya habían germinado y cuantas contaminadas existían, también se observaban si tenían alguna reacción ante la bioestimulación con vanadio.

Características morfológicas

Transcurridos los 48 días las plántulas fueron sacadas para su evaluación esto se realizó dentro de una campana de flujo laminar y con ayuda de un papel milimétrico se midió la altura de la plántula y tamaño de la raíz, se realizó de igual forma un conteo del número de hojas, raíces y brotes.

Medición del área foliar

Se utilizo el método propuesto por Newton Martin y colaboradores [9] después de recolectar las plantas, las hojas se fueron eliminado y separando según su variedad, colocando las láminas de las hojas en una hoja de papel con un color totalmente fucsia rectángulo de 5 x 10 cm (50 cm^2). Luego se fotografiaron todas las hojas utilizando una cámara digital, y las fotos procesadas para obtener el área usando Software ImageJ. La distancia media entre cámara y hoja era de 20cm.

Peso fresco y peso seco

Se separo cada variedad y se recolectaron muestras de cada concentración para poder determinar el peso fresco de las muestras, estas se pesaron en una balanza analítica (VELAB, VE-204/049022), teniendo anotado el peso de cada una de las muestras se envolvieron en papel aluminio con agujeros para la entrada de aire y se llevaron a la estufa (THERMO SCIENTIFIC) a 65°C durante 72 horas, pasando las horas establecidas se prosiguió a pesar las muestras y anotando el peso seco obtenido.

ISSN: 2007 8102

Cuantificación de clorofila

La cuantificación de clorofila fue mediante el método de Harbone [10]. Se utilizaron las hojas de las cinco concentraciones por cada variedad y haciendo dos repeticiones dando un total de 20 muestras. Para cada muestra se pesaron 1000 mg de material fresco y se colocaron en 20 mL de acetona al 80 % dentro del frasco ámbar con ayuda de una varilla de vidrio se trituraron las hojas y dejaron durante 24 h en refrigeración. Una vez que transcurrido este tiempo se filtraron las soluciones con algodón se aforaron con agua destilada a 20 mL y se procede a cuantificar tomando 1mL que fue colocada en un espectrofotómetro Genesys UV-Vis. las longitudes de onda que se usaron fueron de 645 y 663 nm.

Cuantificación de prolina

Para la determinación de la concentración de prolina, se homogeneizaron 0.05 g de tejido fresco en 10 mL de ácido sulfosalicílico al 3 % y utilizando un mortero con pistilo. Posteriormente, se filtró con papel filtro. El sobrenadante se combinó con 2 mL reactivo de ninhidrina ácida y de ácido acético glacial en proporción 1:1 (v:v). Esta mezcla se dejó incubar a 100 °C en baño termostato durante 1 h. Pasado este tiempo, se dejó enfriar en baño de hielo y se le agregó la solución acuosa con 2 mL de tolueno y se mezcló vigorosamente en un Vortex por aproximando 5 a 10 min. La fase orgánica se recuperó con una micropipeta para medir la absorbancia a 520 nm. El valor obtenido se interpoló en una curva estándar realizada con prolina comercial.

Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar. Se utilizó 15 unidades por tratamiento, con un total de 150 semillas.

Análisis estadístico

Se hizo el análisis de varianza de dos factores y una comparación de medias mediante la prueba Tukey con un $p \leq 0.05$ ANOVA. Los datos fueron procesados en el programa Minitab versión 18.1.

Resultado y discusión

Germinación con vanadio en las variedades *Citrus Volkameriana* y *Citrus Macrophylla*

En la figura 1 se muestran los días de germinación y el total de semillas germinadas, en *Citrus Macrophylla* puede notarse que la concentración 10µM de vanadio en tercer día ya tenía semillas germinadas y con el paso de los días el número iba aumentando, en cambio en la concentración de 5µM fue la primera que obtuvo todas las semillas germinadas y en la concentración más alta de vanadio su germinación fue lenta, la variedad de *Citrus Volkameriana* (figura 2) en la concentración 5µM de vanadio desde el día seis tenía más semillas germinadas que las demás concentraciones esta misma fue la primera en obtener la mayor germinación en el día 16 y fue la única con la que se lograron germinar todas.

 ISSN: 2007 8102

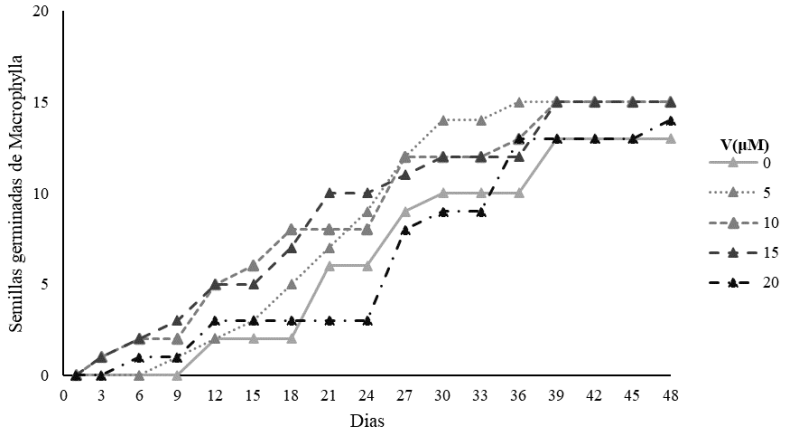


Figura 1. Semillas de *Citrus Macrophylla* germinadas durante 48 días con diferentes concentraciones de vanadio

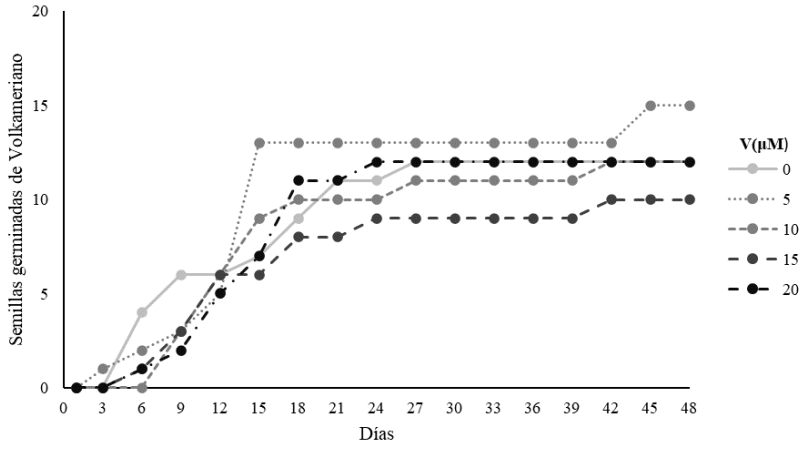


Figura 2. Semillas de *Citrus Volkameriano* germinadas durante 48 días con diferentes concentraciones de vanadio

León-Morales y colaboradores [11] mencionan que el vanadio no tuvo influencia en la germinación de centeno y trigo, esto puede depender de varios aspectos que se deberían considerar al momento de usar los elementos beneficios como lo son el vanadio en la agricultura. Ya que al no ser esenciales para las plantas a altas concentraciones puede inhibir la germinación. Como lo menciona Yuan y su equipo [12] el porcentaje de germinación mostro variaciones cuando las semillas de arroz fueron expuestas a diferentes concentraciones de vanadio y en la concentración más alta que se trató con 30mg L^{-1} se vio una reducción en su porcentaje de germinación.

En otro estudio el porcentaje de germinación de semillas de tomate en la concentración mínima que fue de 5µM tuvo un aumento del 4% superior al testigo, aunque este aumento no fue estadísticamente diferente. En cambio, la germinación disminuyo significativamente al aplicar 10µM de vanadio con respecto al control [13].

Un factor muy importante para las semillas en germinación es la química del vanadio ya que de eso se ve que tan tóxico es, esto podría afectar la integridad y la dureza de la cubierta de la semilla pues puede causar daños a los tejidos del embrión de las semillas y por lo tanto disminuir el crecimiento

 ISSN: 2007 8102

embrionario de igual forma puede impedir el desarrollo de los canales de transporte implicados en la fisiología de la germinación [14].

Datos morfológicos

En el número de hojas, no se presentaron diferencias significativas, entre tratamientos ni variedades, teniendo un máximo número de hojas de 3.07, en el caso de número de brotes el vanadio no tuvo un efecto en el número de brotes en las dos especies, pues no hay diferencia significativa en ninguna de las concentraciones, ni variedades, siendo el mayor número de brotes 1.5, en el tamaño de plántulas no se presentó diferencia significativa entre tratamientos de la misma variedad, teniendo como mayor tamaño 3.577 cm en macrofila y 3.178 en volkameriana.

En *Citrus Macropylla* no tuvo variaciones significativas en el número de raíces con respecto al testigo y en la variedad *Citrus Volkameriana* haciendo una comparación con la otra variedad tuvo más número de raíces.

Peso fresco de las variedades *Citrus Volkameriana* y *Citrus Macrophylla* en diferentes concentraciones de vanadio

La figura 3 muestra como en la variedad *Citrus Volkameriana* en la concentración más alta de vanadio que es 20 µM, su peso fresco fue mucho menor que el resto y en la variedad Citrus Macropylla también hubo una reducción de su peso fresco cuando se les agrego las concentraciones de vanadio, pero sin tener una diferencia significativa.

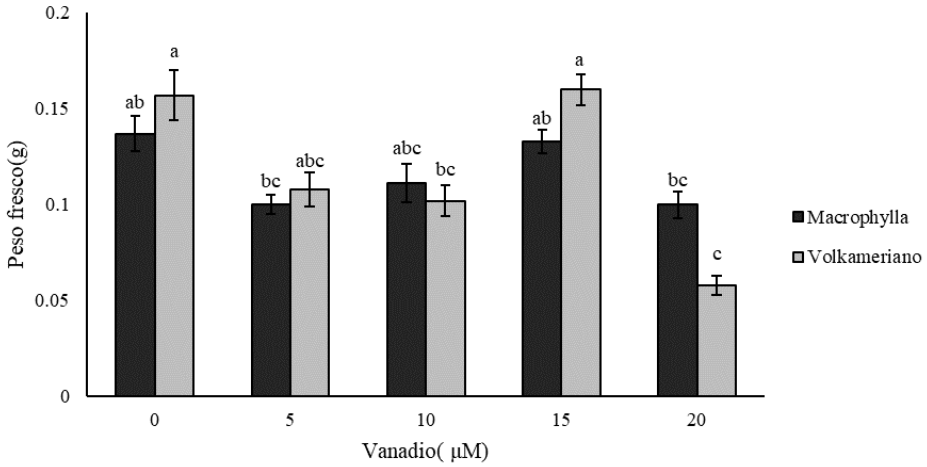


Figura 3. Peso fresco de las plantas de dos variedades de cítricos con diferentes concentraciones de vanadio Las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas (p≤0.05).

Los resultados en el artículo de García y colaboradores [15] trataron plantas de pimiento y nos dicen que en la concentración 15 µM se observó una tendencia a disminuir, pues esa variable fue estadísticamente menor que las concentraciones de 5 y 10µM pues en estas concentraciones tuvo tendencia a aumentar el valor de la variable. También Yuan y su equipo [12] mostraron que al igual que en nuestro estudio la relación concentración de vanadio- peso fresco muestra como la biomasa fresca se vio afectada al ser tratada con vanadio en la concentración más alta utilizada, pero en realidad todas las variedades de arroz tratadas mostraron variaciones en cuando a la biomasa fresca.

En otro estudio se muestra como la biomasa fresca y seca de plantas de garbanzo disminuyeron significativamente por la adición de vanadio [16], esto también ocurrió en la investigación de Xuan

 ISSN: 2007 8102

Tham y colaboradores [17], ya que nos dicen como hubo una reducción de su biomasa fresca de plántulas de trigo, cebada y arroz, ya que el crecimiento disminuyo con el aumento de la dosis de vanadio.

Peso seco en las variedades *Citrus Volkameriana* y *Citrus Macrophylla* en diferentes concentraciones de vanadio

La figura 4 se puede observar como la variedad Volkameriana se vio afectada en la concentración 20μM de vanadio, pues su peso a comparación de las otras fue notablemente menor, mientras que en las concentraciones 5 μM, 10 μM, 15 μM y el testigo no hay diferencia significativa, así como en la variedad de Macropylla tampoco existe una diferencia significativa en el peso seco de vanadio.

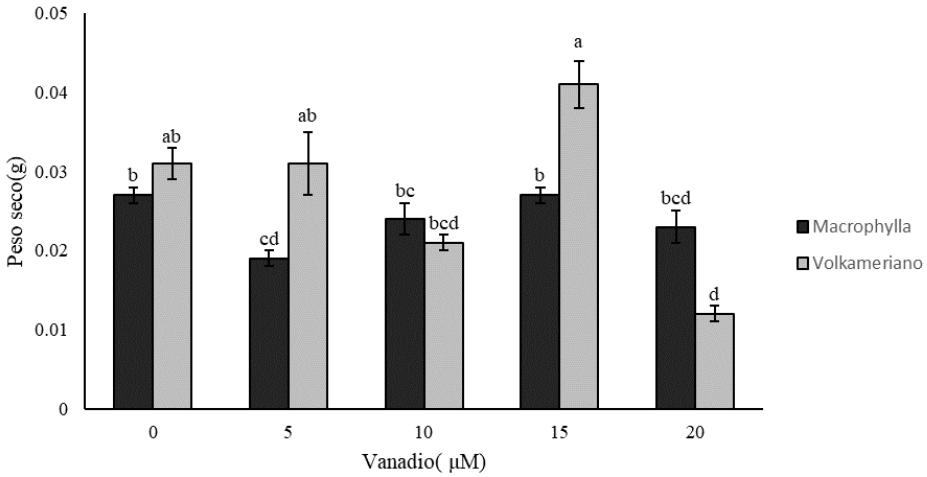


Figura 4. Peso seco de dos variedades de cítricos en diferentes concentraciones de vanadio, las letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas (p≤0.05).

La biomasa es un factor muy importante para estudiar el rendimiento general de una planta en el artículo de Wu y su equipo de investigación [18] podemos hacer una comparación con nuestro análisis ya que al igual que nosotros dicho estudio de la materia seca con diferentes tejidos de plantas de tabaco mostro un descenso con el aumento del nivel de vanadio en el medio, esto también lo menciona Olness y colaboradores [19] muestran como el peso seco se redujo en ≥ 75 % al tratar las plantas de Cuphea con concentraciones muy altas de vanadio.

Por el contrario, en otro artículo nos dice que su estudio reporto que a concentraciones similares de vanadio (10 μM) incremento un 38% el peso seco de las plantas de chile serrano, pero en las plántulas de rábano a concentraciones menores 1 mg L^{-1} estimularon el crecimiento del peso seco, a medida que iba aumentando el vanadio hubo una disminución en el peso hasta ser estadísticamente igual al testigo [11]. Nawaz y su equipo [20] también muestran reducciones del peso seco y peso fresco donde la aplicación de vanadio a 50 mg L^{-1} hizo una reducción de hasta el 57 y 48% en las plántulas de sandia en comparación con las plántulas no tratadas(control).

Clorofila α, *b y total* de las variedades *Citrus Volkameriana* y *Citrus Macrophylla* en diferentes concentraciones de Vanadio

En la figura 5a se puede describir como la variedad *Citrus Macropylla* también tiene una reducción de clorofila α a mayor concentración de vanadio se puede ver como en las concentraciones 5 μM y 10 μM hay una diferencia significativa, mientras que la variedad *Citrus Volkameriana* no existe

 ISSN: 2007 8102

diferencias estadísticas, pero si se ve una reducción de clorofila α en la concentración de 20μM y mayor clorofila en la concentración 10 μM.

Y en la figura 5b se puede observar como la variedad de *Citrus Macropylla* hay una diferencia de clorofila *b* entre las concentraciones ya que en la concentración 5 μM y 10 μM de vanadio, la clorofila *b* aumento con respecto al testigo, pero en la concentración de 20 μM fue menor al resto, en cambio en la variedad *Citrus Volkameriana* todas las concentraciones con respecto al testigo aumentaron, pero en la concentración 20 μM su clorofila disminuyo.

La figura 5c podemos ver que en la variedad de *Citrus Macropylla* hay un aumento de clorofila total en la menor concentración de vanadio, en cambio a mayor concentración de vanadio va a disminuir, en la variedad de *Citrus Volkameriana* hay un aumento de clorofila total en 5 y 10, pero en 15 y 20 hay una reducción a pesar de que estos valores estadísticamente no presentan variaciones significativas.

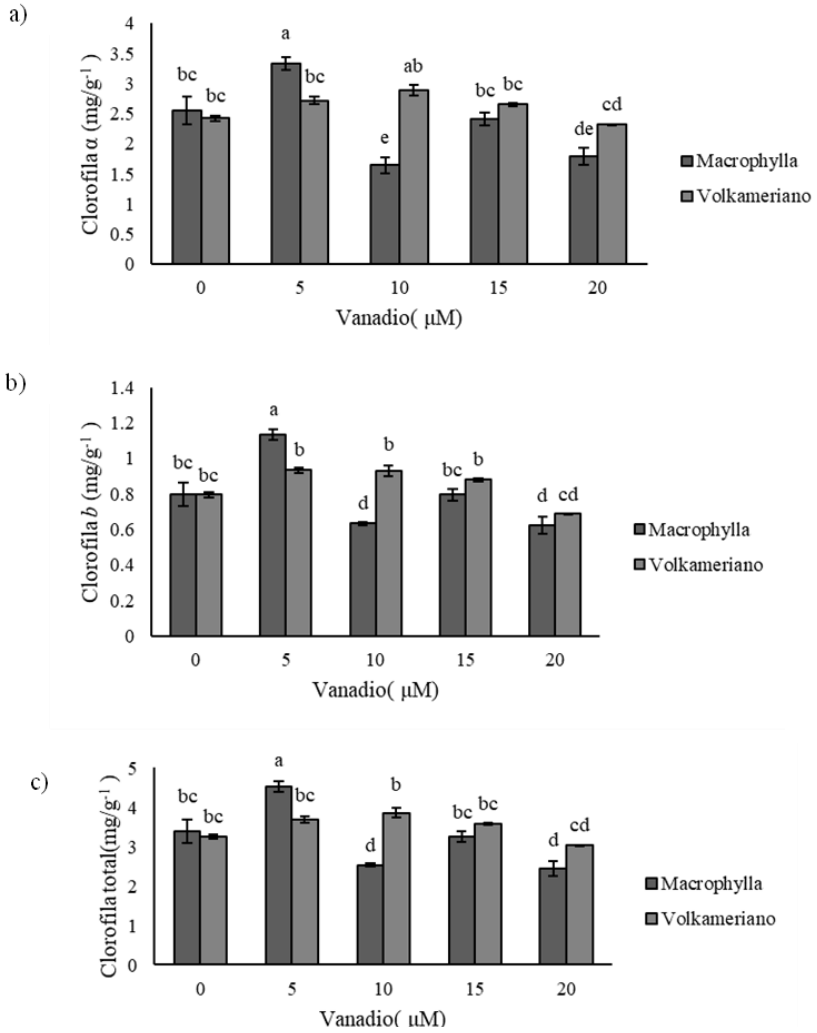


Figura 5. Clorofila α(a), clorofila b(b) y clorofila total(c) de dos variedades de cítricos en diferentes concentraciones. Medias con letras diferentes en las columnas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (p≤0.05).

 ISSN: 2007 8102

En el artículo de García y su equipo de investigación [15] sus resultados y nuestros resultados fueron muy similares, ellos analizaron plantas de pimiento y estas presentaron concentraciones mayores de clorofila α y clorofilas totales en 5 µM y menores en 10 y 15 µM de vanadio con respecto al testigo, las concentraciones de clorofilas en otros tratamientos fueron menores o iguales al testigo. Lo contrario a lo descrito por Singh [21] en donde en las hojas de maíz, los contenidos de clorofila α y *b* aumentaron notablemente cuando la concentración de vanadio aumento de 0 a 6.25 mgL^{-1}. El aumento de la concentración de clorofilas en el estudio pudo haber sido uno de los mecanismos que indujo un mayor crecimiento de las plantas posiblemente debido a una mayor tasa fotosintética.

Altaf y colaboradores [22] nos dicen que en las concentraciones más altas de vanadio (35 y 70 mgL^{-1}) redujo significativamente los pigmentos de clorofila α, *b* y total en las plántulas de arroz, los niveles altos de clorofila representan una mayor asimilación fotosintética y crecimiento de la planta o también puede representar la sensibilidad de la planta frente al estrés abiótico.

En otros articulo nos menciona que el vanadio mejora el contenido de clorofila de las hojas de soja, pero esta sinergia se ve fuertemente afectada por las características que tenga el vanadio, así como su concentración, especie y que tipo de planta va a ser tratada [23]. Como lo descrito en la investigación de Aihemaiti y su equipo [7] donde se nota un aumento significativo inesperado en las clorofilas α y *b* con el aumento de las concentraciones de vanadio al suelo, en ese estudio llegaron a la conclusión que el contenido de clorofila no es un indicador adecuado de contaminación por vanadio en el suelo.

El vanadio va a actuar como catalizador redox en el transporte de electrones en los fotosistemas I y II dependiendo de la dosis de este, también participa en la fijación y utilización de nitrógeno y la absorción y translocación de elementos esenciales, estos efectos estimulantes pueden ser atribuido a la promoción de la biosíntesis de clorofila [14].

Prolina de las variedades *Citrus Macrophylla* y *Citrus Volkameriana* en diferentes concentraciones de vanadio

La figura 6 muestra en *Citrus Macrophylla* un aumento en la prolina con respecto al testigo, aunque estadísticamente no hay diferencia significativa, la concentración 15µM tuvo mayor cantidad de prolina, en *Citrus Volkameriana* se ve un aumento en la concentración 10µM de Vanadio y hay diferencia significativa comparada con la concentración 15µM ya que esta fue la que tuvo menor cantidad de prolina, aunque estadísticamente similar al resto.

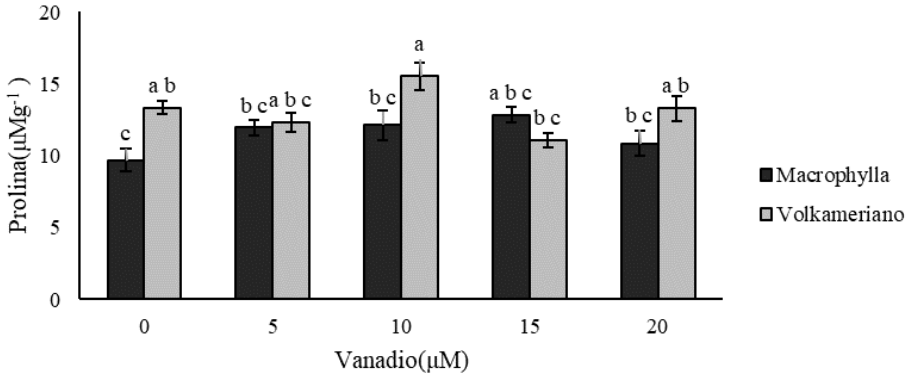


Figura 6. Prolina total de las plántulas de dos variedades de cítricos con diferentes concentraciones de vanadio Medias con letras diferentes en las columnas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (p≤0.05).

En el estudio de Wu y colaboradores [24] describen que al aumentar la concentración de vanadio (≥0.5 mg L^{-1}) en las plántulas de alfalfa provoco un aumento en la prolina en comparación a su control ellos mencionan que el vanadio puede influir en dosis altas negativamente a la planta entonces muchas de estas acumularían prolina como respuesta a diversos estreses ambientales ya que la prolina es un aminoácido que favorece la autoprotección de las plantas bajo estrés abiótico. Por lo que en las plántulas de alfalfa la gran acumulación de prolina se dedica a la mayor tolerancia de estrés por vanadio. Seneviratne y su equipo de investigación [25] también encontró un mayor contenido de prolina en plantas una vez expuesta al estrés oxidativo.

Conclusiones

El vanadio si tuvo efectos positivos en el crecimiento de las plantas de los cítricos cultivadas *in vitro.* La germinación de los cítricos fue precoz en concentraciones bajas. Todos los cambios positivos se obtuvieron en 5 y 10 µM. Se obtuvo un aumento en la concentración de las clorofilas y no hubo efectos en la prolina. Es necesario llevar a cabo más estudios que nos permita precisar su uso en diferentes cultivos con las cantidades adecuadas para obtener los máximos beneficios.

Bibliografía

[1] Marongiu S, "La importancia de los cítricos en los países asociados a TROPICSAFE. Obtenido de TROPICSAFE", https://www.tropicsafe.eu/wp-content/uploads/2022/02/Sector-de-los-c%C3%ADtricos-an%C3%A1lisis-de-mercado.pdf, 2021.

[2] Calvo K, "Caracterización Morfológica de Dieciséis Portainjertos de Citricos en Vivero Macamango Santa Ana- La Convención (tesis)" Perú, 2018.

[3] Vidal A. M, "Respuestas fisiológicas de los cítricos sometidos a condiciones de estrés biotico y abiótico. Castellon de la Plata", España, 2010.

[4] Soto Pertuz A. C., "Revisión general acerca del HLB (Huanglongbing) o enfermedad del enverdecimiento de los cítricos", 2020.

[5] Folimonova, S. Y., "Citrus tristeza virus: A large RNA virus with complex biology turned into a valuable tool for crop protection", PLOS Pathogens, 16(4), https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1008416, 2020.

[6] Kumar, H. D., and P. Aloke, "Role of biostimulant formulations in crop production: An overview", Int. J. Appl. Res. Vet. M, 8, 38-46, 2020.

[7] Aihemaiti, A., Gao, Y., Meng, Y., Chen, X., Liu, J., Xiang, H., Xu, Y., and J. Jiang, "Review of plant-vanadium physiological interactions, bioaccumulation, and bioremediation of vanadium-contaminated sites", *Science of The Total Environment*, *712*, 135637. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135637, 2020.

[8] Murashige, T., and F. A. "Skoog, revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures". Physiol. Plant, 15, 473-497, 1962.

[9] Newton Martin, T., Monçon Fipke, G., Minussi Winck, J. E., and J. A. Marchese, "ImageJ software as an alternative method for estimating leaf area in oats", Acta Agronómica, 69(3). https://doi.org/10.15446/acag.v69n3.69401, 2021.

[10] Harborne, J. B., and J. B. Harborne, "Phenolic compounds. Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis", 33-88, 1973.

[11] León-Morales, J. M., Panamá-Raymundo, W., LangaricaVelázquez, E. C., and S. García-Morales, "Selenium and vanadium on seed germination and seedling growth in pepper (Capsicum annuum L.) and radish (Raphanus sativus L.)", Revista Bio Ciencias 6, e425. doi: https://doi. org/10.15741/revbio.06. e425, 2019.

[12] Yuan, Y., Imtiaz, M., Rizwan, M., Dong, X., and S. Tu, "Effect of vanadium on germination, growth and activities of amylase and antioxidant enzymes in genotypes of rice", *International Journal of Environmental Science and Technology*, *17*(1), 383–394. https://doi.org/10.1007/s13762-019-02451-y, 2019.

[13] García-Jiménez, A., Trejo-Téllez, L. I., Peralta Sánchez, M. G., Contreras-Oliva, A., and F. C. Gómez-Merino, "Vanadium stimulates growth and flower production in tomato without affecting seed germination", *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *49*(4), 12400. https://doi.org/10.15835/nbha49412400 2021.

[14] Chen, L., Liu, J., Hu, W., Gao, J., and J. Yang, "Vanadium in soil-plant system: Source, fate, toxicity, and bioremediation", *Journal of Hazardous Materials*, *405*, 124200. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124200, 2021.

[15] García-Jiménez, A., Trejo-Téllez, L. I., Guillén-Sánchez, D., and F. C. Gómez-Merino, "Vanadium stimulates pepper plant growth and flowering, increases concentrations of amino acids, sugars and chlorophylls, and modifies nutrient concentrations", *PLOS ONE*, *13*(8). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201908, 2018.

[16] Imtiaz, M., Ashraf, M., Rizwan, M. S., Nawaz, M. A., Rizwan, M., Mehmood, S., Yousaf, B., Yuan, Y., Ditta, A., Mumtaz, M. A., Ali, M., Mahmood, S., and S. Tu, "Vanadium toxicity in chickpea (Cicer arietinum L.) grown in Red Soil: Effects on cell death, Ros and Antioxidative Systems", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *158*, 139–144. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.022, 2018.

[17] Xuan Tham, L., Nagasawa, N., Matsuhashi, S., Ishioka, N. S., Ito, T., and T. Kume, "Effect of radiation-degraded chitosan on plants stressed with vanadium. *Radiation Physics and Chemistry*", *61*(2), 171–175. https://doi.org/10.1016/s0969-806x(00)00388-1, 2001.

[18] Wu, Z., Yang, J., Zhang, Y., Wang, C., Guo, S., and Y. Yu, "Growth responses, accumulation, translocation and distribution of vanadium in tobacco and its potential in phytoremediation", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *207*, 111297. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111297, 2021.

[19] Olness, A., Gesch, R., Forcella, F., Archer, D., and J. Rinke, "Importance of vanadium and nutrient ionic ratios on the development of hydroponically grown Cuphea", *Industrial Crops and Products*, *21*(2), 165–171. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.02.005, 2005.

[20] Nawaz, M. A., Jiao, Y., Chen, C., Shireen, F., Zheng, Z., Imtiaz, M., Bie, Z., and Y. Huang, Melatonin pretreatment improves vanadium stress tolerance of watermelon seedlings by reducing vanadium concentration in the leaves and regulating melatonin biosynthesis and antioxidant-related gene expression. *Journal of Plant Physiology*, *220*, 115–127. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.11.003, 2018.

[21] Singh, B. B. "Effect of vanadium on the growth, yield and chemical composition of maize (Zea mays L.)", *Plant and Soil*, *34*(1), 209–213. https://doi.org/10.1007/bf01372773, 1971.

[22] Altaf, M. M., Diao, X., ur Rehman, A., Imtiaz, M., Shakoor, A., Altaf, M. A., Younis, H., Fu, P., and M. U. Ghani, "Effect of vanadium on growth, photosynthesis, reactive oxygen species, antioxidant enzymes, and cell death of Rice", *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *20*(4), 2643–2656. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00330-x, 2020.

[23] Yang, J., Wang, M., Jia, Y., Gou, M., and J. Zeyer, "Toxicity of vanadium in soil on soybean at different growth stages", *Environmental Pollution*, *231*, 48–58. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.075, 2017.

[24] Wu, Z., Zhang, Y., Yang, J., Zhou, Y., and C. Wang, "Effect of vanadium on Testa, seed germination, and subsequent seedling growth of alfalfa (Medicago sativa L.)", Journal of Plant Growth Regulation, 40(4), 1566–1578, https://doi.org/10.1007/s00344-020-10206-0, 2020.

[25] Seneviratne, M. Rajakaruna, N. Rizwan, M. Madawala, H. M. S. P, Ok, Y. S. and M. Vithanage, "Estrés oxidativo inducido por metales pesados en la germinación de semillas y el desarrollo de plántulas: una revisión crítica", Environ Geochem Health 41: 1813–183, 2017.

 ISSN: 2007 8102

Obtención de microcápsulas de oleorresina de apio (*Apium graveolens*) mediante secado por aspersión

Marin-Castro U.R.[1], Olguín-Rojas, J.A.[2], Gaspar-Avalos, M.[1], Rosas-Nexticapa, M.[3], Bonilla-Zavaleta E.[3]*

[1]Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Prol. Oriente 6, 94340, Orizaba, Veracruz, México.
[2]Ingeniería en Procesos Bioalimentarios, Universidad Tecnológica de Tecamachalco, Tecamachalco, Puebla, México.
[3]Facultad de Nutrición, Universidad Veracruzana, Odontólogos S/N, U.H. del Bosque, 91017 Xalapa-Enríquez, Veracruz, México. enbonilla@uv.mx

***Área de participación**: Ingeniería química*

Resumen

La oleorresina de apio es una fuente natural de compuestos bioactivos susceptibles al deterioro durante el almacenamiento. El objetivo del presente trabajo fue implementar el secado por aspersión como una alternativa para su conservación. Las partículas resultantes fueron evaluadas en términos de propiedades, físicas, de fluidez y fisicoquímicas. Se construyó una isoterma de adsorción y esta fue modelada empleando 4 modelos de sorción. Los resultados mostraron la obtención de microcápsulas con un porcentaje de captación de radicales aceptable, una a_w baja que garantiza su estabilidad microbiológica y un matiz de color verde; estos fueron identificados como polvos con una fluidez media. Los modelos de D´Arcy y Watt, y GAB, exhibieron el mejor ajuste de los datos de sorción en función de E% y R^2, el valor de monocapa obtenido por GAB fue de 1.99 g de agua/100 g de sólidos secos, sugerido como condición óptima de almacenamiento a 35 ºC.

***Palabras clave**: Isotermas de adsorción, monocapa, estabilidad, propiedades funcionales*

Abstract

Celery oleoresin is a natural source of bioactive compounds susceptible to deterioration during storage. The objective of this work was to implement spray drying as an alternative for its conservation. The resulting particles were evaluated in terms of physical, fluidity, and physicochemical properties. An adsorption isotherm was built and the results fitted to 4 sorption models. According to results the microcapsules obtained showed an acceptable percentage of radical capture, a low aw which guarantees their microbiological stability, and a green hue; these were identified as powders with medium fluidity. The D'Arcy and Watt and GAB models exhibited the best adjustment of the sorption data as a function of E% and R^2, the monolayer value obtained by GAB was 1.99 g of water/100 g of dry solids, suggested as optimal storage condition at 35 ºC.

***Key words**: adsorption isotherms, monolayer, stability, functional properties.*

Introducción

El apio (*Apium graveolens*) es una hortaliza que contiene un alto contenido en compuestos bioactivos, considerados como promotores de la salud [1]. Una forma de aprovechar estos compuestos es mediante la obtención de oleorresinas, extraídas en una sola etapa, desde el apio deshidratado, tratado con un disolvente, seguido de la remoción del mismo [2]. Una alternativa para la conservación de estos compuestos con actividad antioxidante contra el daño causado por las condiciones adversas del medio ambiente, es la microencapsulación. Este proceso, tiene por intención garantizar la estabilidad de los compuestos bioactivos presentes en la oleorresina, evitando su oxidación, y permitiendo su conservación a través del almacenamiento. Una de las tecnologías más comunes para la microencapsulación de compuestos sensibles es el secado por aspersión, el cual permite obtener microcápsulas en forma de polvo.

 ISSN: 2007 8102

Un aspecto importante a considerar durante la producción de microcápsulas es el estudio de sus propiedades físicas, las cuales están relacionadas con las interacciones entre las moléculas de agua y el ambiente [3]. Así mismo, la consideración de la actividad de agua y su relación con el contenido de humedad resultan fundamentales durante el procesamiento y control de los alimentos deshidratados. Las isotermas de adsorción proporcionan datos que pueden ser usados para determinar las condiciones de almacenamiento para optimizar la retención de aromas, sabores, color, textura y los nutrientes presentes en un alimento [4]. Su correcta interpretación requiere del empleo de un modelo de sorción correcto, que pueda ajustarse a los datos experimentales adecuadamente. Existe un gran número de modelos matemáticos empíricos y semiempíricos que pueden resultar útiles para su estudio.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el secado por aspersión como una alternativa para la microencapsulación de oleorresina de apio, así como caracterizar fisicoquímicamente el producto generado, y determinar las condiciones de almacenamiento, a través del empleo de diferentes modelos de sorción.

Metodología

Materia prima

La oleorresina de apio (*Apium graveolens*) fue adquirida en la empresa comercializadora de materias primas "Mundo de sabor" S.A. de C.V., Puebla, México. El concentrado de suero de leche (WPC 80) fue obtenido en la empresa "Encapsuladoras México" S.A. de C.V. Chihuahua, México.

Preparación de la emulsión O/W

Como primer paso se preparó una solución acuosa del concentrado de proteína de suero de leche WPC 80 al 30% (p/v) la cual fue mezclada con la oleorresina de apio en una relación 1:4 (p/p) para formar una emulsión aceite en agua O/W y homogeneizada a 11000 rpm, durante 20 min.

Secado por aspersión

Una vez preparada la emulsión O/W esta fue secada por aspersión empleando un secador por aspersión a escala laboratorio Büchi B-290 (Flawil, Suiza) bajo las siguientes condiciones de operación: temperatura de entrada T_{IN} = 180 °C, temperatura de salida T_{OUT} = 100 °C y una velocidad de alimentación = 35 mL/min.

Rendimiento de microencapsulación

El rendimiento de microencapsulación, definido como la relación de material de núcleo en las microcápsulas finales y la solución, fue calculado en acuerdo con la Ec. 1

$$Rendimiento\ de\ microencapsulación = \frac{microcapsulas\ (g) * 100\ g\ de\ solidos}{solucion\ (g) * 100\ g\ de\ solidos} \text{x}100 \qquad \text{Ec. 1}$$

Caracterización fisicoquímica de los microencapsulados

Una vez obtenidas las microcápsulas estas fueron caracterizadas en términos de actividad de agua (a_w), propiedades de color, actividad captadora de radicales por DPPH y propiedades físicas de flujo tales como densidad aparente y compactada, así como índice de Carr e índice de Hausner, descritos más adelante.

Determinación de la actividad de agua

La actividad de agua se determinó utilizando un medidor de actividad de agua LabMaster-aw, calibrado antes de cada determinación empleando soluciones saturadas de sal estándar. La determinación fue realizada a 25 °C.

Determinación de las propiedades de color

El color de las microcápsulas generadas se evaluó empleando un colorímetro CR400 (Minolta, Osaka, Japón). Los resultados fueron interpretados usando la escala CIE Lab, cuyos valores fueron utilizados para la determinación del matiz de color (Ec. 2) [5].

 ISSN: 2007 8102

$$angulo = tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde: a* representa las variaciones en el color rojo (+) y verde (-); y b, las variaciones en el color amarillo (+) y azul (-).

Capacidad captadora de radicales libres, DPPH

La determinación fue realizada en acuerdo con la metodología descrita por Brand-Williams y col. [6]. Para la reacción 3.9 mL de una solución de DPPH (60 µM) fue mezclado con 0.1 mL de las microcápsulas rehidratadas al 30% de sólidos. La muestra fue agitada y almacenada a temperatura ambiente durante 30 min en oscuridad. La absorbancia fue medida a 517 nm utilizando un espectrofotómetro (Evolution 260, Thermo Scientific, Waltham, MA). Los resultados fueron expresados como porcentaje de inhibición del radical DPPH en acuerdo con la Ec. 3.

$$\%Inhibición = \frac{1-absorbancia\ (muestra)}{Absorbancia\ (Testigo)} * 100 \quad \text{Ec. 3}$$

Densidad aparente y densidad compactada

Para la determinación de la densidad aparente se utilizó 10 g de las microcápsulas, los cuales fueron vertidos en una probeta, para después medir el volumen ocupado. La densidad compactada consistió en colocar 10 g de polvo en un recipiente volumétrico graduado, el cual es levantado a una altura de aproximadamente 10 cm y golpeada sobre una superficie de goma 125 veces a ritmo constante. Ambas densidades fueron calculadas utilizando la Ec. 4.

$$densidad = \frac{g}{mL} \quad \text{Ec. 4}$$

Índice de Carr e índice de Hausner

El cálculo del índice de Carr y el índice de Hausner se calcularon empleando la Ec. 5 y 6, respectivamente [7].

$$Indice\ de\ Carr = \frac{d_{125}-d_0}{d_{125}} x\ 100 \quad \text{Ec. 5}$$

$$Indice\ de\ Hausner = \frac{d_{125}}{d_0} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde: d_0 es la densidad aparente y d_{125} la densidad compactada.

Isoterma de adsorción de agua

Las microcápsulas de apio fueron colocadas en desecadores con vacío con P_2O_5 a 35 °C. Los datos de adsorción de humedad fueron obtenidos utilizando el método gravimétrico descrito por Lang y col. [8]. Un gramo de muestra fue pesado por triplicado en charolas estándar con una sección circular en la parte inferior. Las muestras fueron colocadas por separado en desecadores conteniendo soluciones saturadas de diferentes sales LiCl, CH_3COOK, $MgCl_2$, K_2CO_3, $Mg(NO_3)_2$, $NANO_2$, NACl y KCl. Las muestras fueron almacenadas a 35 °C hasta que el equilibrio fue alcanzado. El equilibrio fue asumido cuando la diferencia entre dos pesadas consecutivas fue menor a 1mg de agua adsorbida/ g de sólido seco.

Modelado de las isotermas de adsorción

Los datos experimentales de adsorción de agua fueron modelados con el software Kaleida Graph versión 4.0, mediante los modelos de GAB, BET, Oswin y D´Arcy y Watt generalizado (Ec. 7, 8, 9 y 10, respectivamente).

$$M = \frac{M_{0GAB}C_{GAB}Ka_w}{(1-Ka_w)(1-Ka_w+CKa_w)} \quad \text{Ec. 7}$$

 ISSN: 2007 8102

Donde: a_w es la actividad de agua; M es el contenido de humedad de la muestra en base seca (g de agua/100 g de s.s.); M_0 es el contenido de humedad en la monocapa (g de agua/100 g de s.s.); C la constante de Guggenheim; K es la constante correctiva de las propiedades de las moléculas de agua en la multicapa.

$$M = \frac{M_{0BET} C_{BET} a_w}{(1-a_w)(1-a_w+C_{BET}a_w)} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde: M_{0BET} es el contenido de humedad en la monocapa; y C_{BET} es una constante relacionada al calor neto de sorción.

$$M = A\left[\frac{a_w}{1-a_w}\right]^b \quad \text{Ec. 9}$$

Donde A y B son constantes.

$$M = \frac{M_0 k_{GDW} a_w}{1+K_{GDW} a_w} + \frac{1-k(1-w)a_w}{1+k a_w} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde K_{GDW} y k son constantes cinéticas relacionadas con la sorción en los sitios de sorción primarios y secundarios, respectivamente; w es el parámetro que determina la proporción de moléculas unidas a los centros primarios y convertidas en los secundarios [9].

La selección del modelo de los modelos fue realizada utilizando el valor porcentual de los módulos de desviación media relativa E (%), Ec. 11 y el coeficiente de correlación R^2

$$E\% = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{n}\frac{|M_{ei}-M_{ci}|}{M_{ei}} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde: M_{ei} y M_{ci} representan los valores de contenido de humedad experimentales y predichos respectivamente [10].

Resultados

Caracterización fisicoquímica de las microcápsulas de oleorresina de apio

En la Tabla 1, se muestran los resultados obtenidos para la caracterización fisicoquímica de los microencapsulados.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos para microcápsulas de oleorresina de apio.

Análisis	Valores
Rendimiento de microencapsulación (%)	71.49 ± 2.52
Actividad de agua, a_w	0.197 ± 0.02
Densidad aparente (g/mL)	0.30 ± 0.1
Densidad compactada (g/mL)	0.41 ± 0.1
Índice de Carr	26.82
Índice de Hausner	1.36
Parámetros de color	
L*	86.48 ± 1.08
a*	-3.54 ± 0.32
b*	12.10 ± 0.36
Ángulo matiz	67.18 ± 2.68
Inhibición del radical DPPH (%)	60.30 ± 4.58

El rendimiento durante el secado por aspersión es clave para determinar la viabilidad económica y técnica del proceso. De acuerdo con Bhandari y col. [11], se considera que un proceso de secado es exitoso cuando el rendimiento es superior al 50%. En el presente trabajo el rendimiento fue de 71.9 ± 2.5 %; resultados similares fueron obtenidos durante el secado por aspersión de jugos de uva, y zanahoria – apio, usando WPC como material de pared [12, 13].

La actividad de agua es un parámetro que describe el grado de "ligadura" del agua y, por lo tanto, su disponibilidad de participar en reacciones físicas, químicas y microbiológicas [14]. De acuerdo con Da Silva y col. [15], los polvos

 ISSN: 2007 8102

o microcápsulas debe presentar un valor menor a 0.35 para asegurar dicha estabilidad. Dado que el valor obtenido en el presente trabajo fue de 0.197, las microcápsulas de oleorresina pueden ser consideradas como estables ante reacciones de deterioro. Resultados similares fueron reportados por Ramírez [16], para microcápsulas de chile habanero secados por aspersión usando WPC80 como agente encapsulante.

Los resultados referentes a la densidad permiten explicar los fenómenos de cohesividad que existen entre las partículas que constituyen un polvo. Los resultados de densidad aparente obtenidos fueron menores a lo reportado por Bazaria y Kumar [17], para jugo de betabel concentrado y encapsulado mediante secado por aspersión utilizando WPC como material de pared, quienes reportaron valores de 0.482 -0.492 g/mL, mientras que la densidad compactada presentó valores superiores a lo reportado para oleorresina de canela secada por aspersión usando WPC como material de pared [18], (0.21 g/mL). La densidad compactada es un factor importante relacionado al envasado, transporte y comercialización de los polvos; la obtención de polvos con altos valores de densidad compactada significa que el producto puede almacenarse en envases más pequeños en comparación con productos de baja densidad [19]. La fluidez es una propiedad importante para las partículas secas y es expresada por el índice de Carr. Valores altos en este parámetro indican poca fluidez. Los resultados obtenidos en el presente trabajo fueron similares a lo reportado por Bhusari y col. [20], para pulpa de tamarindo secada por aspersión utilizando diferentes polímeros tales como maltodextrina, Goma arábiga y WPC, cuyos valores oscilaron entre 19.34 y 34.16, y se clasifican como polvos con una fluidez media. El resultado obtenido para el índice o relación de Hausner también se encontró en el intervalo reportado por los mismos autores (1.26 – 1.51), y se clasifican como polvos con una cohesividad media; la cohesión de los polvos determina su consistencia y sus propiedades de flujo, cuanto menor sea la cohesión, mejor será la fluidez de los polvos.

Las microcápsulas obtenidas en este trabajo exhibieron un color con tonalidades color verde, descritas por los parámetros a* y b*, y por el matiz de color, cuyo resultado fue de 67.18 ± 2.68, ubicándolo en un matiz verde – amarillo, característicos de la oleorresina de apio. Estas, exhibieron una capacidad captadora de radicales libres determinada por DPPH aceptable al conseguir un 60% de inhibición de la solución del radical DPPH al 60 µM, similar a lo reportado por Guadarrama-Lezama y col. [21], para microcápsulas de extracto de chile.

Modelado de la isoterma de adsorción de agua

Los datos experimentales obtenidos para la isoterma de adsorción de oleorresina de apio microencapsulada por secado por aspersión a 35 °C son mostrados en la Figura 1. Esta presentó una forma sigmoidal descrita por Brunauer y col. [22], como tipo II. Isotermas similares fueron obtenidas para sistemas alimentarios tales como hojas de muicle secadas por aspersión utilizando diferentes polímeros como encapsulantes, así como proteína de suero de leche [23, 24]. En la Tabla 2 se muestran las constantes de ajuste obtenidas para los diferentes modelos de adsorción, el coeficiente de correlación (R^2) y los módulos de desviación media relativa (E%). Un modelo es considerado aceptable cuando el valor de E% es menor a 10% y R^2 es superior a 0.9 [25], bajo esta consideración, los modelos GAB y D´Arcy y Watt describen adecuadamente los datos experimentales con un valor de E% de 9.61 y 6.33, mientras que los modelos BET y Oswin exhibieron el peor ajuste.

 ISSN: 2007 8102

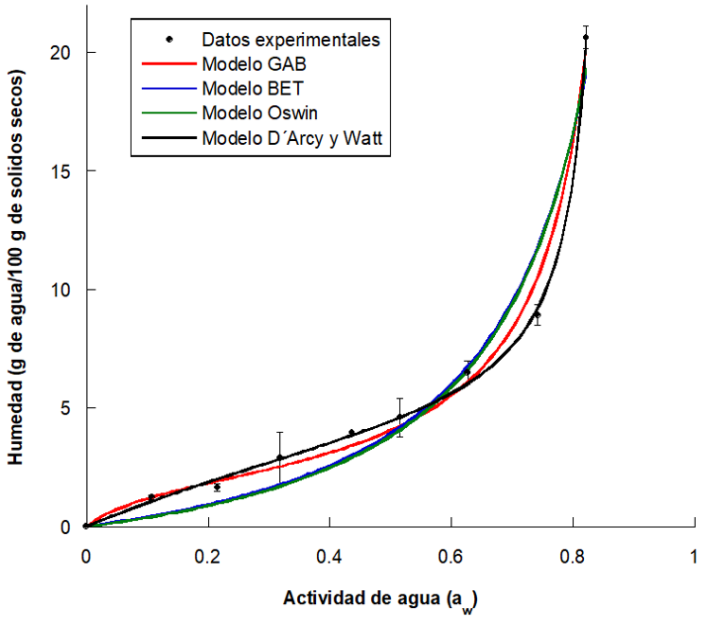


Figura 1. Isoterma de adsorción de agua para microcápsulas de oleorresina de apio a 35 °C y curvas estimadas con los modelos GAB, BET, Oswin y D´Arcy y Watt.

El contenido de humedad correspondiente a la monocapa predicho por el modelo de GAB fue de 1.99 g de agua/100 g de s.s.; este es un parámetro de gran importancia durante el estudio de las propiedades de sorción en alimentos, ya que ha sido asumido que el valor de monocapa corresponde a la saturación de los grupos polares correspondiente al agua adsorbida en los sitios más activos [4], por lo que en el valor de monocapa un alimento debería ser más estable contra el deterioro microbiológico [26, 27]. El valor obtenido para la constante C se encontró dentro del rango $5.67 \leq C < \infty$, lo cual indica que un modelo describe adecuadamente una isoterma [28, 23]. La constante K, provee una medida de la interacción entre las moléculas de vapor de agua en la multicapa con el adsorbente. Si el valor es igual o mayor a 1, como lo observado en el presente trabajo, entonces las multicapas tienen propiedades de agua en forma libre [29]. Como es posible observar, el valor de monocapa calculado por el modelo de D´Arcy y Watt fue mayor al calculado por el modelo de GAB, esto probablemente porque este modelo propone restricciones geométricas para la creación de sitios secundarios y/o un sitio primario produce más de un sitio secundario de acuerdo con Furmaniak y col. [30]; un comportamiento similar fue observado por Rodríguez-Bernal y col. [29], para pulpa de borojó liofilizada.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 1. Parámetros estimados para microcápsulas de apio utilizando diferentes modelos matemáticos

Modelo	Parámetro	WPC 80
GAB	M_0	1.99
	C_{GAB}	8.92
	K	1.09
	E%	9.61
	R^2	0.99
BET	M_0	4.32
	C_{BET}	0.83
	E%	27.20
	R^2	0.97
Oswin	A	3.80
	B	1.06
	E%	28.62
	R^2	0.97
D´Arcy y Watt	M_0	4.87
	K_{GDW}	1.47
	k	0.75
	w	1.16
	E%	6.33
	R^2	0.99

Trabajo a futuro

Se recomienda la realización de cinéticas de degradación durante el almacenamiento en diferentes actividades de agua con el objetivo de validar experimentalmente los datos de estabilidad determinados a través de los modelos de sorción.

Conclusiones

Los resultados mostraron que el secado por aspersión es una alternativa viable para la transformación de la oleorresina de apio, esta técnica permite obtener partículas en forma de polvo con una actividad captadora de radicales libres aceptable en comparación con otros productos. El empleo de WPC80 como material encapsulante, permitió la obtención de valores de humedad y actividad de agua encontrados dentro del intervalo reportado para garantizar su estabilidad microbiológica. El modelo de D´Arcy y Watt presentó el mejor ajuste matemático, al obtener los valores más bajos de E% y una R^2 de 0.99. A partir del modelo de GAB se determinó un valor de monocapa de 1.99 g de agua/100 g de s.s. a 35 °C, el cual se sugiere como punto de máxima estabilidad. Por último, los polvos obtenidos se clasificaron como polvos con fluidez y cohesividad media, con atributos de color verde, característicos de la oleorresina. El presente trabajo presenta una alternativa para el aprovechamiento y conservación del apio y sus subproductos.

Referencias

[1] Wesam Kooti, M. A, “A review of the Antioxidant Activity of Celery (*Apium graveolens* L)”, *Journal of Evidence-Based*, vol. 22, no. 4, 2017.

[2] Sowbhagya, H. B, “Chemistry, technology, and nutraceutical functions of celery (*Apium graveolens* L.): an overview”, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 54(3), pp. 389-398, 2014.

[3] Yonekura , L., Hernandez, S., Cortes, S., I, F., “Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* NCIMB 701748 in matrices containing soluble fibre by spray drying: Technological characterization, storage stability and survival after in vitro digestion” *Journal of Functional Foods*, vol. 6, pp. 205-214., 2013.

[4] Beristain, C. I., Azuara, E., Vernon-Carter, E. J. “Effect of water activity on the stability to oxidation of spray-dried encapsulated orange peel oil using mesquite gum (*Prosopis juliflora*) as wall material”, *Journal of Food Science*, 67(1), pp. 206-211, 2002.

[5] Maskan, M. “Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying”, *Journal of Food Engineering*, 48(2), pp. 169-175, 2001.
[6] Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. L. W. T. “Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity”, *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), pp. 25-30, 1995.
[7] Cortés-Rojas, D. F., Souza, C. R. F., Oliveira, W. P. “Optimization of spray drying conditions for production of *Bidens pilosa* L. dried extract”, *Chemical Engineering Research and Design*, 93, pp. 366-376, 2015.
[8] Lang, K. W., McCune, T. D., & Steinberg, M. P. A proximity equilibration cell for rapid determination of sorption isotherms. *Journal of Food Science*, 46(3), pp. 936-938. 1981
[9] Furmaniak, S., Terzyk, A. P., & Gauden, P. A. Some remarks on the classification of water vapor sorption isotherms and Blahovec and Yanniotis isotherm equation. *Drying Technology*, 29(8), pp. 984-991. 2011
[10] Kaymak-Ertekin, F., Gedik, A. “Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes”. *LWT-Food Science and Technology*, 37(4), pp. 429-438, 2004.
[11] Bhandari, Bhesh R.; DATTA, Nivedita; HOWES, Tony. “Problems associated with spray drying of sugar-rich foods”, *Drying Technology*, vol. 15, no 2, pp. 671-684, 1997.
[12] Moser, P., Souza, R. T. D., Nicoletti Telis, V. R. “Spray drying of grape juice from hybrid cv. BRS Violeta: microencapsulation of anthocyanins using protein/maltodextrin blends as drying aids”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1), pp. 12852. 2017.
[13] Khalilian Movahhed, M., & Mohebbi, M. “Spray drying and process optimization of carrot–celery juice. *Journal of Food Processing and Preservation*”, 40(2), pp. 212-225, 2016
[14] Al-Muhtaseb, A. H., W. A. M. McMinn, and T. R. A. Magee. "Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review." *Food and Bioproducts Processing* 80.2: pp. 118-128, 2002.
[15] Da Silva Carvalho, A. G., da Costa Machado, M. T., da Silva, V. M., Sartoratto, A., Rodrigues, R. A. F., Hubinger, M. D. “Physical properties and morphology of spray dried microparticles containing anthocyanins of jussara (*Euterpe edulis* Martius) extract.” *Powder Technology*, 294, pp. 421-428, 2016
[16] Ramírez Colorado, Y. N. “Efecto de las características de sorción de humedad y temperatura de transición vítrea sobre la estabilidad fisicoquímica de un ingrediente funcional a base de la oleorresina de chile habanero". Tesis de maestría, Universidad Veracruzana. 2018.
[17] Bazaria, B., Kumar, P. “Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate” *Food Bioscience*, 14, pp. 21-27, 2016.
[18] Porras-Saavedra, J., Pérez-Pérez, N. C., Villalobos-Castillejos, F., Alamilla-Beltrán, L., Tovar-Benítez, T.,”Influence of *Sechium edule* starch on the physical and chemical properties of multicomponent microcapsules obtained by spray-drying” *Food Bioscience*, 43, 101275, 2021
[19] Fernandes, R. V. D. B., Borges, S. V., Botrel, D. A, “Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties”, *Food Science and Technology*, 33, pp. 171-178, 2013.
[20] Bhusari, S. N., Muzaffar, K., Kumar, P., “Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder” *Powder Technology*, 266, pp. 354-364, 2014.
[21] Guadarrama-Lezama, A. Y., Dorantes-Álvarez, L., Jaramillo-Flores, M., Peréz-Alonso, C., Niranjan, K., Gutiérrez-López, G. F., Alamilla-Beltrán, I. “Preparation and characterization of non-aquenous extracts from chilli (*Capsicum annuum* L.) and their microencapsulates obtained by spray-drying”, *Journal of Food Engineering*, pp. 29-37, 2012.
[22] Brunauer, S., Deming, L. S., Deming, W. E., & Teller, E., “On a theory of the van der Waals adsorption of gases”, *Journal of the American Chemical Society*, 62(7), pp. 1723-1732, 1994.
[23] Pavón-García, L. M. A., Gallardo-Rivera, R., Román-Guerrero, A., Carrillo-Navas, H., Rodríguez-Huezo, M. E., Guadarrama-Lezama, A. Y., Pérez-Alonso, C. “Moisture sorption properties and storage stability conditions of a nutraceutical system microencapsulated by spray drying” *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 14(3), pp. 601-613, 2015.
[24] Azuara-Nieto, E., Beristain-Guevara, C. I. “Estudio Termodinámico Y Cinético De La Adsorcion De Agua En Proteina De Suero De Leche; Thermodynamic And Kinetic Study Of Water Adsorption On Whey Protein” *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 6(3), pp. 359-365, 2007.
[25] Kaymak-Ertekin, F., & Gedik, A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. *LWT-Food Science and Technology*, 37(4), pp. 429-438. 2004.
[26] Sablani, S. S., Kasapis, S., Rahman, M. S. “Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability” *Journal of Food Engineering*, 78(1), pp. 266-271, 2007.
[27] Bonilla, E., Azuara, E., Beristain, C. I., Vernon-Carter, E. J., ”Predicting suitable storage conditions for spray-dried microcapsules formed with different biopolymer matrices”, *Food Hydrocolloids*, 24(6-7), pp. 633-640, 2010.

ISSN: 2007 8102

[28] Lewicki, P. P., “The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms”, *International Journal of Food Science & Technology*, 32(6), pp. 553-557, 1997.

[29] Rodríguez-Bernal, J. M., Flores-Andrade, E., Lizarazo-Morales, C., Bonilla, E., Pascual-Pineda, L. A., Gutierréz-López, G., Quintanilla-Carvajal, M. X. “Moisture adsorption isotherms of the borojó fruit (*Borojoa patinoi*. Cuatrecasas) and gum arabic powders”, *Food and Bioproducts Processing*, 94, pp.187-198, 2015.

[30] Furmaniak, S., Terzyk, A. P., Gauden, P. A., & Rychlicki, G. “Applicability of the generalised D’Arcy and Watt model to description of water sorption on pineapple and other foodstuffs”, *Journal of Food Engineering*, 79(2), pp. 718-723. 2007.

 ISSN: 2007 8102

Síntesis y caracterización de nanopartículas de óxido de zinc por el método de precipitación directa

Ruby Sheila Gines-Palestino[1], Carlos Montalvo-Romero[2], Guadalupe Luna-Solano[1], Denis Cantú-Lozano[1]*
[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9, No. 852, Colonia Emiliano Zapata, 94320, Orizaba, Veracruz, México.
denis.cl@orizaba.tecnm.mx
[2]Facultad de Química, Universidad Autónoma del Carmen, Calle 56, No. 4, Esq. Av. Concordia, Colonia Benito Juárez, 24180, Ciudad del Carmen, Campeche, México.

***Área de participación**: Ingeniería química*

Resumen

En esta investigación se realizó la síntesis de las nanopartículas de óxido de zinc por el método de precipitación directa utilizando como precursor nitrato de zinc hexahidratado ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) y como agentes precipitantes hidróxido de potasio (KOH) e hidróxido de sodio (NaOH), a una temperatura de secado de 100 ºC, calcinación de 500 ºC, y goteo de 6 mL/ min. Se caracterizó el semiconductor obtenido por: Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR); en donde se apreciaron las vibraciones de las nanopartículas de Zn-O, siendo más pronunciada la banda del ZnO sintetizado con KOH, el análisis de difracción de rayos X muestra una formación de estructura hexagonal (wurtzita) con NaOH, obteniéndose un tamaño de cristal menor que utilizando el agente precipitante KOH. El análisis por microscopía electrónica de barrido mostró formas hexagonales y semiesféricas para el ZnO con KOH y NaOH, respectivamente.

***Palabras clave**: Nanopartículas, oxido de zinc, precipitación, precursores.*

Abstract

In this research, the synthesis of zinc oxide nanoparticles was carried out by the direct precipitation method using zinc nitrate hexahydrate ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) as precursor and potassium hydroxide (KOH) and sodium hydroxide (NaOH) as precipitating agents, at a drying temperature of 100 ºC, calcination of 500 ºC, and dripping of 6 mL/ min. The semiconductor obtained was characterized by: Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), where the vibrations of the Zn-O nanoparticles were appreciated, being more pronounced the band of the ZnO synthesized with KOH, the X-ray diffraction analysis shows a hexagonal structure formation (wurtzite) with NaOH, obtaining a smaller crystal size than using the precipitating agent KOH. Scanning electron microscopy analysis showed hexagonal and hemispherical shapes for ZnO with KOH and NaOH, respectively.

***Key words**: Nanoparticles, zinc oxide, precipitation, precursors.*

Introducción

En los últimos años el óxido de zinc ha atraído la atención de la comunidad científica, ya que gran parte de la industria actual depende de este compuesto para el desarrollo de nuevos materiales con una gran variedad de aplicaciones comerciales como en las industrias del caucho, cerámica, pintura, productos químicos, así como en la agricultura [1,2].

El óxido de zinc cuya fórmula química es ZnO es un compuesto químico de color blanco, perteneciente a la familia II-VI, con amplia banda de energía 3.37 eV y una gran banda de enlace de excitones de 60 meV a temperatura ambiente. La diferencia de electronegatividades entre el zinc y el oxígeno produce un alto grado de ionicidad en su enlace, convirtiéndolo en uno de los compuestos más iónicos de dicha familia provocando una repulsión considerable entre sus nubes de carga, haciendo que su estructura cristalina más estable sea hexagonal [3].

Las tres estructuras cristalinas que puede tener el ZnO son: wurtzita, zinc blenda y sal de roca (rocksalt). Siendo la fase tipo wurzita la más estable bajo condiciones normales de presión y temperatura, la fase zinc blenda

 ISSN: 2007 8102

solamente puede ser estabilizada por el crecimiento en substratos cúbicos mientras que la fase sal de roca (rocksalt) puede ser obtenida a presiones altas.

Los materiales basados en ZnO se aplican en ciencia y tecnología como catalizadores debido a sus propiedades ópticas, alta reflectividad en el infrarrojo, características acústicas, alta sensibilidad electroquímica y excelentes propiedades electrónicas, además de ser un material económico, abundante y no tóxico [4].

Se ha sugerido ZnO como una alternativa a los fotocatalizadores de TiO_2 debido a sus propiedades electrónicas similares y mayor fotoeficacia. Se ha probado el ZnO en la descomposición de varios tintes de soluciones acuosas, así como muchos otros contaminantes ambientales siendo más eficiente que el TiO_2. El rendimiento fotocatalítico de los fotocatalizadores de ZnO está significativamente influenciado por su morfología, tamaño de partícula, cristalinidad, orientación del cristal y propiedades ópticas [5]. Por tal motivo en este trabajo se realizó la síntesis de las nanopartículas de óxido de zinc por el método de precipitación directa considerado como uno de los métodos más económicos, confiables y reproducibles, utilizando dos tipos de agentes precipitantes hidróxido de potasio e hidróxido de sodio con la finalidad de evaluar la influencia del agente precipitante sobre el rendimiento, composición y morfología del óxido de zinc sintetizado.

Metodología

Reactivos

Los reactivos utilizados para la síntesis de los catalizadores fueron nitrato de zinc hexahidratado ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, Meyer, ≥ 99%), hidróxido de potasio (KOH, Meyer, ≥ 85%), hidróxido de sodio (NaOH, Fermont, ≥ 98. 4%), etanol (C_2H_6O, Jalmek, ≥ 99%) y agua destilada (Wöhler).

Síntesis de las nanoparticulas de ZnO

Se llevó a cabo la síntesis del semiconductor óxido de zinc (ZnO) mediante la técnica de precipitación directa [6] utilizando como primer precursor el nitrato de zinc hexahidratado ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) el cual ha mostrado muy buenos resultados en la síntesis de ZnO por diversos métodos [7], incluyendo el método de precipitación [8]. Uno de los factores que influye en el tamaño del cristal del ZnO es el tipo de precursor [9] debido a que una solución alcalina es esencial para la formación de nanoestructuras de ZnO ya que normalmente los iones metálicos divalentes no se hidrolizan en ambientes ácidos. Por lo cual se utilizaron dos diferentes precursores como agentes precipitantes para el nitrato de zinc hexahidratado: Hidróxido de potasio (KOH) e hidróxido de sodio (NaOH) los cuales son compuestos alcalinos comúnmente utilizados debido a su alcalinidad y alta pureza [10]. En la Figura 1 se describe de manera detallada la metodología que se utilizó para la síntesis del oxido de zinc a base de tres diferentes precursores.

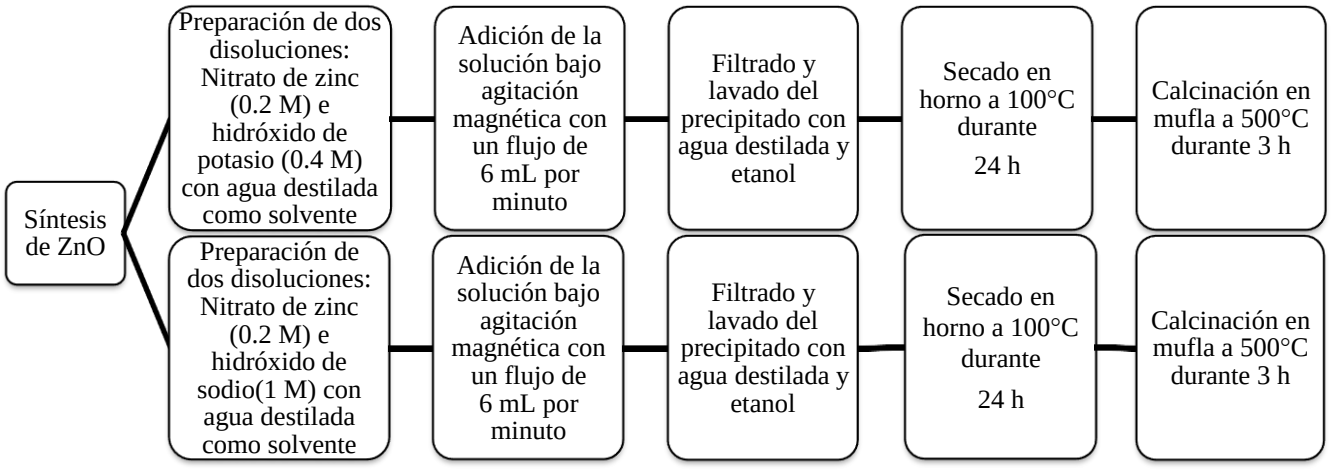


Figura 1. Metodología para la síntesis de ZnO

ISSN: 2007 8102

Caracterización de las nanopartículas de ZnO

Se llevó a cabo la caracterización por Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) utilizando el espectrómetro (Agilent Cary 660) con un rango de barrido de 4000 a 400 cm^{-1} con reflectancia total atenuada (ATR).

El equipo utilizado para evaluar la naturaleza cristalina de los materiales sintetizados fue un difractómetro (Rigaku Ultima) con un módulo de capa fina (radiación de Cu Kα λ = 0,15418 nm, 40kV, 44mA y paso de ángulo de 0,02°) en la configuración Bragg-Brentano. Los resultados obtenidos se analizaron con el software Match! 3.0 para compararlos con el patrón de ZnO. El tamaño del cristal se determinó mediante la fórmula de Scherrer utilizando la Ecuación 1.

$$\text{Diametro del cristal (D)} = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \qquad (1)$$

Donde: D [nm] es el diámetro promedio del cristal, λ [nm] es la longitud de onda de la radiación de rayos X Cu kα (λ = 0.15418 nm), K [-] es el factor de forma, β es la intensidad de ancho completo medio máximo (FWHM), y θ es el ángulo de Bragg.

Para observar la morfología se tomaron imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) con el equipo INSTRUMENT JSM-6490, con un voltaje de 20 kV y un número de aumentos de 1000x y 3000x. Las micrografías fueron interpretadas en el software ImageJ para determinar el diámetro aproximado de las nanopartículas.

Resultados y discusión

Síntesis del catalizador ZnO

Se realizó la primera síntesis del semiconductor ZnO utilizando como agente precipitante KOH, obteniendo como resultado 3.7 g de ZnO el cual se muestra en la Figura 2.

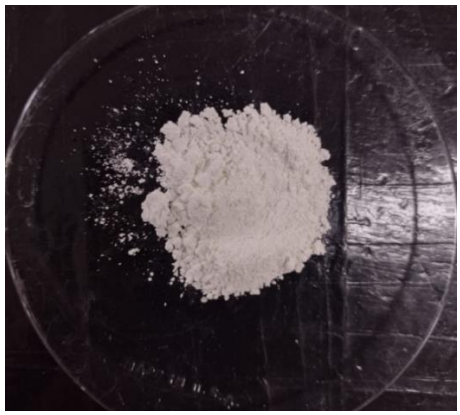


Figura 2. Semiconductor ZnO utilizando como precipitante KOH

Se realizó la segunda síntesis del semiconductor ZnO utilizando como agente precipitante NaOH obteniendo como resultado 3.4 g de ZnO el cual se muestra en la Figura 3, ambos semiconductores se almacenaron en recipientes ámbar sellados.

ISSN: 2007 8102

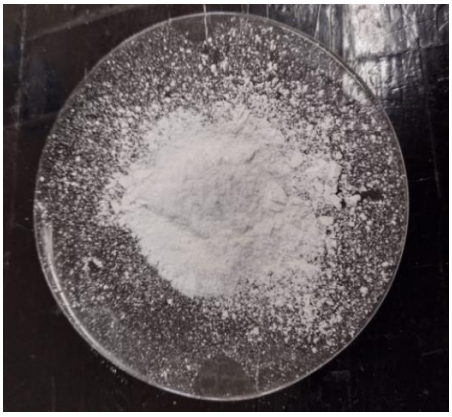


Figura 3. Semiconductor ZnO utilizando como precipitante NaOH

Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopia FTIR se utilizó para evaluar si la síntesis de ZnO se realizó de manera correcta y los componentes de las nanopartículas de ZnO se encuentran presentes.

La Figura 4 muestra la superposición de espectros del óxido de zinc (ZnO) utilizando dos diferentes agentes precipitantes hidróxido de sodio (KOH) e hidróxido de sodio (NaOH). Las bandas débiles que se observa a partir de 660 cm^{-1} a 400 cm^{-1} se deben a las vibraciones de las nanopartículas de Zn-O, siendo más pronunciada la banda del ZnO sintetizado con NaOH. Se puede observar que la banda de absorción a 1385 cm^{-1} está presente en la síntesis con el agente precipitante hidróxido de potasio, la formación del óxido se produce por la descomposición térmica del KOH a la temperatura de 500 ºC esta banda puede atribuirse al enlace entre el potasio y el oxígeno [11]. Se observa una banda débil en 1384 cm^{-1} para el ZnO con agente precipitante NaOH, esta banda es características de las vibraciones de los enlaces Zn-O. Las bandas en 1050 cm^{-1}-700 cm^{-1} se deben a los enlaces Zn-O [12].

Las bandas 2900 cm^{-1} y 2854 cm^{-1} al menos una corresponde a alcanos. La última banda entre los 3800 cm^{-1} a 3200 cm^{-1} se debe a la vibración de tención del enlace O-H del agua (H_2O) inducida por la humedad, la forma del espectro está relacionada con la humedad de la muestra [13].

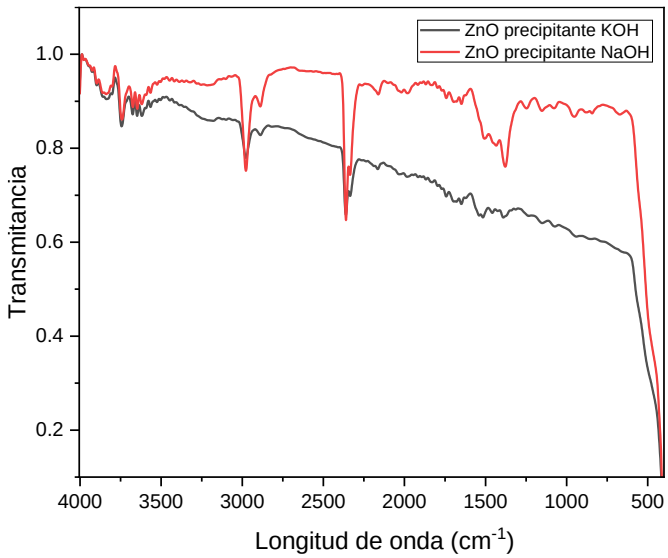


Figura 4. FTIR de la síntesis ZnO con precipitantes KOH y NaOH

 ISSN: 2007 8102

Microscopia electrónica de barrido (SEM)

En la Figura 5 se observan las micrografías de la síntesis del ZnO con agente precipitante KOH utilizando dos aumentos (3000x y 5000x) las partículas adoptaron formas hexagonales con un diámetro promedio aproximado de 114 nm, las partículas se encuentran homogéneamente distribuidas con algunas partículas aglomeradas.

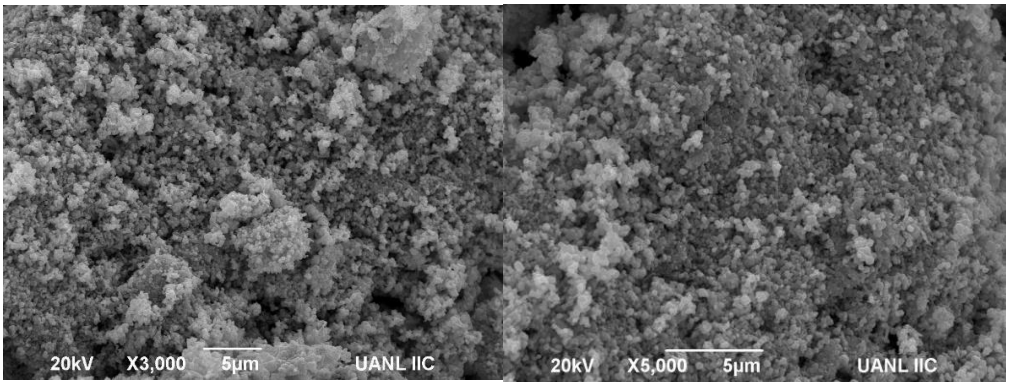


Figura 5. SEM de ZnO con agente precipitante KOH con aumentos de 3000x y 5000x

En la Figura 6 se observan las micrografías de la síntesis del ZnO con agente precipitante NaOH se observan partículas aglomeradas con una distribución no homogénea, presentando diferentes formas en las que predominan las semiesféricas y en menor cuantía en barra, con un tamaño de cristal promedio de 92 nm, el cual es inferior al tamaño del ZnO utilizando como agente precipitante KOH. Es importante mencionar que el aumento de tamaño de cristales disminuye la constante de velocidad en los procesos fotocatalíticos [14]. La estructura en forma de barra es una de las mejores en comparación con otras debido a sus nanoestructuras unidimensionales (ejemplo: nanorods, nanocables y nanotubos) las cuales favorecen los procesos fotocatalíticos [15].

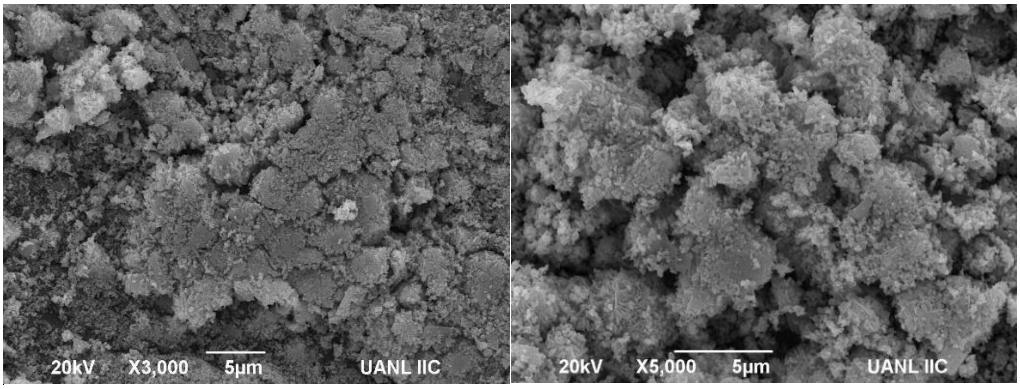


Figura 6. SEM de ZnO con agente precipitante NaOH con aumentos de 3000x y 5000x

Difracción de Rayos X (DRX)

Se analizaron las nanopartículas de ZnO utilizando como agente precipitante KOH, los resultados y el patrón obtenido de acuerdo con el Crystallography Open Database (COD) se observan en la Figura 7. Los picos más altos se encuentran en 31.75 (1 0 0), 34.41 (0 0 2), 36.23 (1 0 1), 47.51 (0 1 2), 56.57 (1 1 0), 62.81 (0 1 3), 66.35 (2 0 0), 67.91(1 1 2), 69.05 (2 0 1), 72.55 (0 0 4), 76.91 (2 0 2) los cuales muestran claramente la presencia de la estructura cristalina hexagonal, el valor de los picos máximos coincide con el estándar COD-2300450, no se detectaron otros picos de difracción, se utilizó la ecuación 1 para calcular el tamaño del cristal, los resultados se muestran en la Tabla 1.

El tamaño promedio de los cristales obtenidos es de $53.1782^{15.99}$ nm. El tamaño de cristal más pequeño se encuentra en el plano (2 0 2) debido a la presencia de un pico de baja intensidad y anchura. Se observa que el tamaño del cristal depende de varios factores como la intensidad, el ensanchamiento del pico, la nitidez, la densidad de dislocación y la deformación.

 ISSN: 2007 8102

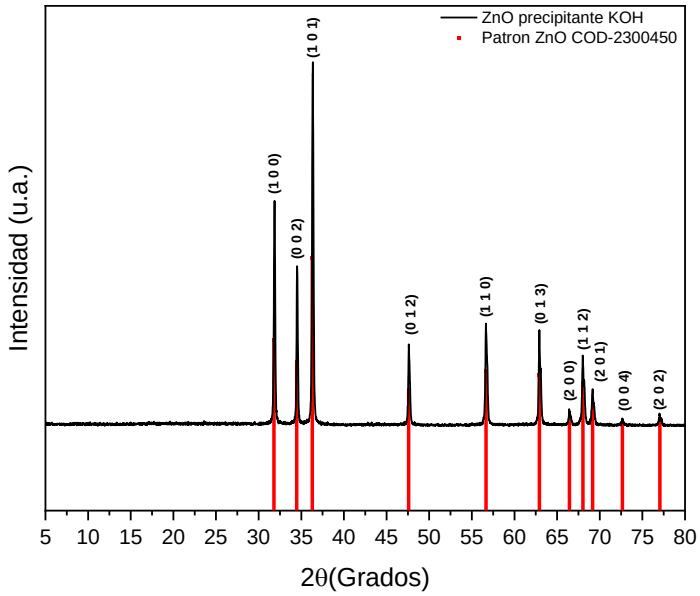


Figura 7. DRX de la síntesis de ZnO con agente precipitante KOH

Tabla 1. Parámetros cristalográficos de la caracterización de DRX para ZnO con agente precipitante KOH

	2Θ (º)	Θ (rad)	(hkl)	FWHM β(º)	FWHM β(rad)	Tamaño de cristal D (nm)	Densidad de dislocación δ	Tensión ε
1	31.75	0.27707	(1 0 0)	0.2	0.00349	41.32863	0.00059	0.00307
2	34.41	0.30028	(0 0 2)	0.2	0.00349	41.61453	0.00058	0.00282
3	36.23	0.31617	(1 0 1)	0.2	0.00349	41.82549	0.00057	0.00267
4	47.51	0.41460	(0 1 2)	0.16	0.00279	54.29014	0.00034	0.00159
5	56.57	0.49367	(1 1 0)	0.2	0.00349	45.14231	0.00049	0.00162
6	62.81	0.54812	(0 1 3)	0.16	0.00279	58.21930	0.00030	0.00114
7	66.35	0.57901	(2 0 0)	0.24	0.00419	39.57809	0.00064	0.00160
8	67.91	0.59263	(1 1 2)	0.2	0.00349	47.92467	0.00044	0.00130
9	69.05	0.60257	(2 0 1)	0.2	0.00349	48.25027	0.00043	0.00127
10	72.55	0.63312	(0 0 4)	0.12	0.00209	82.18194	0.00015	0.00071
11	76.91	0.67117	(2 0 2)	0.12	0.00209	84.60509	0.00014	0.00066

Los resultados de la caracterización y el patrón obtenido de acuerdo con el Crystallography Open Database (COD) para el ZnO sintetizado con NaOH se observan en la Figura 8. Los picos más altos se encuentran en 31.8 (1 0 0), 34.46 (0 0 2), 36.28 (1 0 1), 47.6 (0 1 2), 56.66 (1 1 0), 62.92 (0 1 3), 66.44 (2 0 0), 68.02 (1 1 2), 69.14 (2 0 1), 72.66 (0 0 4), 77.04 (2 0 2) en donde se presenta la estructura cristalina hexagonal, el valor de los picos máximos coincide con el estándar COD-2300450 para el ZnO, los resultados se muestran en la Tabla 2.

El tamaño promedio de los cristales obtenidos es de $23.6363^{4.48}$ nm de acuerdo con la fórmula de Scherrer. El tamaño de cristal más pequeño se encuentra en el plano (0 1 3) debido a la presencia de un pico de baja intensidad, a la densidad de dislocación y a la deformación. Los resultados del tamaño de cristal obtenidos con agente precipitante NaOH son menores que los obtenidos con el agente precipitante KOH, a menor tamaño de cristal el poder fotocatalítico del catalizador aumenta, por lo cual el semiconductor ZnO con agente precipitante NaOH podría tener mejores resultados como catalizador al tener un tamaño de cristal más pequeño.

La densidad de dislocación se debe a la irregularidad o a las grietas en la estructura cristalina. El aumento de la densidad de dislocaciones incrementa la deformación, lo que a su vez disminuye el tamaño de los cristales [15]. En la Tabla 2 se observa que el tamaño de los cristales está directamente relacionado con la deformación y la densidad de dislocación. El desplazamiento de los picos o el ensanchamiento de estos dependen de la

 ISSN: 2007 8102

deformación presente en los materiales. Los resultados muestran que el tamaño de los cristales disminuye a medida que aumenta la deformación hasta 0.00265.

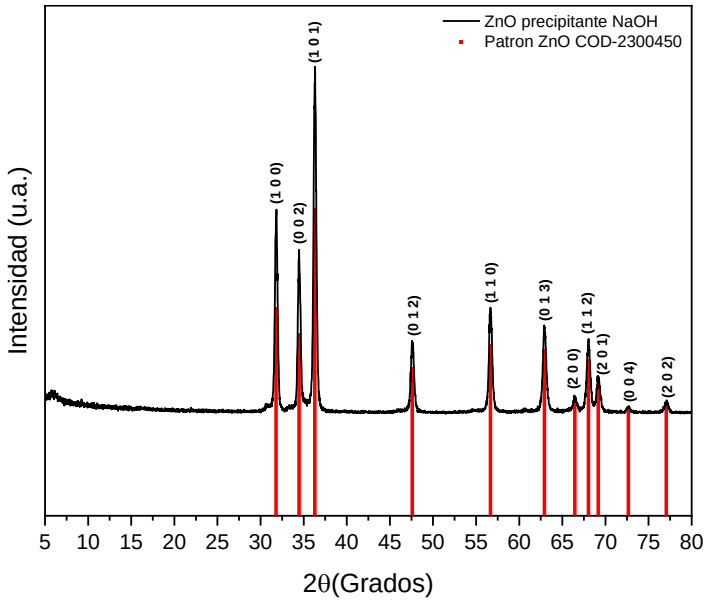


Figura 8. DRX de la síntesis de ZnO con agente precipitante NaOH

Tabla 2. Parámetros cristalográficos de la caracterización de DRX para ZnO con agente precipitante NaOH

	2Θ (º)	Θ (rad)	(hkl)	FWHM β(º)	FWHM β(rad)	Tamaño de cristal D (nm)	Densidad de dislocación δ	Tensión ε
1	31.8	0.27751	(1 0 0)	0.36	0.00628	22.96320	0.00190	0.00551
2	34.46	0.30072	(0 0 2)	0.32	0.00559	26.01260	0.00148	0.00450
3	36.28	0.31660	(1 0 1)	0.36	0.00628	23.23970	0.00185	0.00479
4	47.6	0.41539	(0 1 2)	0.4	0.00698	21.72357	0.00212	0.00396
5	56.66	0.49445	(1 1 0)	0.4	0.00698	22.58071	0.00196	0.00324
6	62.92	0.54908	(0 1 3)	0.48	0.00838	19.41782	0.00265	0.00342
7	66.44	0.57980	(2 0 0)	0.44	0.00768	21.59915	0.00214	0.00293
8	68.02	0.59359	(1 1 2)	0.44	0.00768	21.79804	0.00210	0.00285
9	69.14	0.60336	(2 0 1)	0.44	0.00768	21.94380	0.00208	0.00279
10	72.66	0.63408	(0 0 4)	0.44	0.00768	22.42907	0.00199	0.00261
11	77.04	0.67230	(2 0 2)	0.28	0.00489	36.29204	0.00076	0.00153

Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro se pretende dopar los semiconductores obtenidos con platino, con la finalidad de obtener un catalizador para la degradación de compuestos recalcitrantes.

Conclusiones

Se obtuvieron los semiconductores de óxido de zinc en función de dos diferentes agentes precipitantes (KOH y NaOH) de una manera fácil, rápida y económica por el método de precipitación directa, obteniendo mejores rendimientos para el ZnO sintetizado con el agente precipitante KOH, los resultados de la caracterización del ZnO por espectroscopia infrarrojo muestran que la síntesis se realizó de manera correcta ya que cada uno de los componentes que conforman a cada uno de los semiconductores se aprecian en sus bandas características, siendo más pronunciada la banda del ZnO sintetizado con NaOH, los resultados obtenidos del análisis de Difracción de rayos X muestran un tamaño de cristal más pequeño para el semiconductor sintetizado con NaOH

los cuales coinciden con los resultados de la microscopia electrónica de barrido ya que el tamaño de partícula más pequeño se obtuvo con el agente precipitante NaOH, obteniendo formas semi-esféricas predominantes y formas de barra, estas características morfológicas y estructurales podrían favorecer su uso en procesos fotocatalíticos aplicados como nanorods, nanocables y nanotubos para la degradación de contaminantes recalcitrantes.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), así como al Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave y al Consejo Veracruzano de Investigación Científica e Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico COVEICyDET por financiar este proyecto. También agradecemos la valiosa contribución del Dr. Agileo Hernández Gordillo por las facilidades otorgadas para las pruebas de caracterización.

Referencias

[1] L. F. Verdeja González, M. P. García Coque, M. A. Huerta Nosti, “El óxido de zinc: Propiedades y aplicaciones”, *Revista de Minas*, no.7, pp. 87-96, 1992.
[2] L. F. Verdeja González, M. P. García Coque, M. A. Huerta Nosti, “Variación de las propiedades físicas del óxido de zinc con la temperatura”, *Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio*, 32 (4), 267-271, 1993.
[3] J. A. Pérez Taborda, J.L. Gallego, W. S. Román, H. R. Landázuri, “Películas nanoestructuradas de óxido de zinc (ZnO)”, *Scientia et Technica*, Año XIV, No 39, Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701, 2008.
[4] E. Barrón Montes, “Síntesis y caracterización de nanoestructuras de óxido de zinc”, Trabajo de grado, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México. México, 2014.
[5] C. Jaramillo-Páez, J. Navío, M. Hidalgo, M. Macías, “High UV-photocatalytic activity of ZnO and Ag/ZnO synthesized by a facile method”, *Catalysis Today*, vol. 284, 121-128, 2017.
[6] A. Sanz Serrano, “Nanopartículas de óxido de zinc para la mejora de dispositivos de almacenamiento de energía”, Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España, 2016.
[7] O. Rosales- Gonzales, “Síntesis y caracterización de catalizadores Pt/ZnO, Ni/ZnO y Pt-Ni/ZnO 1-D por el método hidrotermal para la generación de H_2 por OSRM”, Trabajo de grado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México, 2017.
[8] H. R. Ghorbani and F. P Mehr, “Synthesis of ZnO Nanoparticles by Precipitation Method”, *Oriental Journal of Chemistry*, Vol 31(2), 1219-1221, 2015.
[9] B. Martinello Savi, L. Rodríguez, A. Michael Bernardin, “Síntesis de nanopartículas de ZnO por el proceso sol-gel”, *Foro del recubrimiento cerámico QUALICER*, 2012.
[10] S. Xu, and Z. Lin- Wang, “One-Dimensional ZnO Nanostructures: Solution Growth and Functional Properties. Nano Res”, 4 (11): 1013–1098, 2011.
[11] L. K. Santos, A. Cestari, “Aluminato de Potássio: Um Catalisador Sintético e Reutilizável para Uso na Produção de Biodiesel”, *Rev. Virtual Quim*, 6 (4), 1021-1032, 2014.
[12] M. Zafar, Q. Dar, F. Nawaz, M. Zafar, M. Iqbal, M. Nazar, “Effective adsorptive removal of azo dyes over spherical ZnO nanoparticles”, *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (1), 713-725, 2018.
[14] P. Aquino, A.M. Osorio, E. Ninána, F. Torres, “Caracterización de nanopartículas de ZnO sintetizadas por el método de precipitación y su evaluación en la incorporación en pinturas esmalte”, *Rev. Soc. Quím. Perú*, 84(1), 2018.
[15] B. Manikandana, K. R. Muralib and R. Johna, “Optical, Morphological and Microstructural Investigation of TiO_2 nanoparticles for Photocatalytic application”, *Iranian Journal of Catalysis*, 11(1), 1-11, 2021.
[16] J.N. Hasnidawani, H.N. Azlina, H. Norita, N.N. Bonnia, S. Ratim and E.S. Ali, “Synthesis of ZnO Nanostructures Using Sol-Gel Method. Procedia Chemistry”, 19211 – 216, 2016.

 ISSN: 2007 8102

Reología de soluciones filmogénicas de biomasa de gránulosde kéfir adicionadas con fructanos de agave

Moreno-Leon, German Rafael[1], Pacheco-Vargas, Glenda[1], Ruiz-Martinez Isidra Guadalupe[1,2], Ávila-ReyesSandra Victoria[1,2] y Solorza-Feria Javier[1]

1. Departamento de Desarrollo Tecnológico, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto PolitécnicoNacional, Carr. Yautepec-Jojutla, Km. 6, Calle CEPROBI #8, Colonia San Isidro, Yautepec C.P. 62731, México
2. 2. CONAHCyT-Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Carretera Yautepec-Jojutla, Km. 6, Calle CEPROBI #8, Colonia San Isidro, Yautepec C.P. 62731, México

gmorenol2100@alumno.ipn.mx

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

La biomasa de microorganismos es una fuente sostenible e innovadora de material bio-base biopolímero, como proteínas y polisacáridos, que son adecuados para el desarrollo de películas biodegradables. El kéfir es una asociación simbiótica de especies de bacterias y levaduras, inmovilizados en una matriz polimérica y proteínas, que interactúan para producir un producto fermentado. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de los fructanos de agave sobre la biomasa de gránulos de kéfir y sus propiedades reológicas. La biomasa de gránulos de kéfir fue fermentada en leche bajo en grasa y adicionada con fructanos deshidratados para obtener un polvo. Se realizó análisis reológico mostrando que los parámetros se ajustaban al modelo de Ostwald-de Waale, las soluciones filmogénicas mostraron valores de n<1, con características de materiales reo-fluidizantes (pseudoplásticos). Los valores de viscosidad vs velocidad de cizallamiento mostraron que conforme aumentó la velocidad de cizallamiento, las soluciones tendían a un comportamiento de fluido no-Newtoniano. De las pruebas dinámicas, los módulos de almacenamiento (G') y perdida (G'') en frecuencias bajas fue G'<G" y en frecuencia alta G'>G''

***Palabras clave**: Fructanos, biomasa, reología y biomaterial*

Abstract

The biomass of microorganisms is a sustainable and innovative source of bio-based biopolymer material, such as proteins and polysaccharides, which are suitable for the development of biodegradable films. Kefir is a symbiotic association of species of bacteria and yeast, immobilized in a polymer matrix and proteins, which interact to produce a fermented product. The objective of this work was to evaluate the effect of agave fructans on the biomass of kefir granules and their rheological properties. The biomass of kefir granules was fermented in low-fat milk and added with dehydrated fructans to obtain a powder. Rheological analysis was performed showing that the parameters fitted to the Ostwald-de Waale model for filmogenic solutions, showing values of n<1, characteristic of shear-thinning (pseudoplastic) materials. The values of viscosity vs shear rate showed that as the shear rate increased, the solutions tended to a non-Newtonian fluid. From the dynamic tests, the storage modulus (G') and loss modulus (G") at low frequencies was G'<G", while at a high frequency G'>G''.

***Key words**: Fructans, biomass, rheology and biomaterials*

Introducción

En México la planta de Agave se utiliza tradicionalmente para elaborar bebidas alcohólicas como tequila (*A. tequilana Weber*), sotol (*Dasylirion spp.*), mezcal y bacarona (*A. angustifolia Haw*, y otras especies). La producción de esta bebida es económicamente importante para México, en el 2017 representó $389 millones de pesos en mezcal y tequila [1]. En los últimos años, la extracción de fructanos de agave o agavina ha llamado la atención debido a su actividad prebiótica, aunque hay un número limitado de reportes de levaduras probióticas que metabolicen fructanos [2]. Los fructanos son polímeros de fructosa derivados del disacárido de glucosa-fructosa (sacarosa), los enlaces, la posición de los residuos y grado de polimerización determinan el tipo de fructanos [3]. Estas características de los fructanos, les permite ser sustratos selectivos para el crecimiento de microorganismos y su capacidad para ser fermentables. El kéfir es una bebida fermentada con probióticos y con compuestos orgánicos funcionales y la adición de probióticos en la leche, originan productos lácteos como: leche líquida, yogurt, queso y suero de leche, además, ha sido útil para mejorar la textura de los alimentos, también para la industria de alimentos funcionales debido a sus componentes bioactivos y beneficios para la

 ISSN: 2007 8102

salud [4,5,6]. El kefirán, es un exopolisacárido, un glucogalactano producido por el consorcio de microorganismos presentes en el kéfir, es un polímero con la capacidad de formar películas que por la naturaleza de su origen, produce materiales biodegradables, pero además de brindar la capacidad de ser estabilizante y emulsionante; sin embargo, es altamente hidrofílico, lo que genera que tenga inadecuadas propiedades barrera, como la alta permeabilidad al vapor de agua, afectando a su vez, las propiedades mecánicas y físicas de la película final. Además de que, el kefirán requiere ser aislado y purificado, lo que ha limitado su aplicación [7,8]. Siendo, la lactosa el sustrato ideal para su fermentación [9,10]. Pese a lo cual, los métodos tradicionales para el aumento de biomasa se han limitado a este tipo de sustrato, impulsando asi el uso de alternativas de sustratos y medios de cultivo sin lactosa que puedan ser una opción para el aumento de biomasa de gránulos de kéfir y obtener metabolitos de interés como biomateriales alternativos. Las propiedades reológicas son útiles para determinar las condiciones de procesamiento de soluciones filmogénicas y proporcionar una comprensión de la microestructura de una película [11,12]. Las soluciones formadoras de películas de alta viscosidad dificultan la eliminación de burbujas de aire y obstaculizan la conformación de capas delgadas, además, para realizar el recubrimiento nivelado sobre superficies sólidas, la viscosidad de las soluciones formadoras de película debe evitar el hundimiento por efectos de la gravedad y permitir la nivelación capilar [8, 13]. Se observa que las propiedades reológicas son sensibles a variaciones en la estructura molecular y son útiles para desarrollar relaciones estructura-función para sistemas de soluciones de polisacáridos y otros componentes. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de fructanos de agave en las propiedades reológicas de las soluciones filmogénicas.

Metodología

Materiales

Para establecer las condiciones de fermentación se utilizó como medio de cultivo leche deslactosada (LD) en polvo bajo en grasa (1 %), (Svelty, Nestlé México S.A de C.V.). Las condiciones del proceso de fermentación optimizado fueron tomadas por lo reportado por Moreno-León et al., [14], los fructanos de *Agave angustifolia Haw.,* fueron obtenidos en CEPROBI-IPN (patente 380041). Como material biológico, los gránulos de kéfir fueron obtenidos en el mercado local de la región de Teziutlán, Puebla.

Activación de gránulos de kéfir

Los gránulos de kéfir se cultivaron en LD polvo al 10 % de sólidos totales a temperatura ambiente (25-30 °C) y el medio de cultivo se cambiaba cada 24 h por LD fresca durante 30 días, realizando subcultivos sucesivos y lavados de acuerdo con la metodología mencionada en el apartado anterior.

Condiciones de cultivo de granulo de kéfir

Para el mantenimiento y continuidad del inóculo durante todo el experimento, los gránulos de kéfir se mantuvieron a -20 °C y se reactivaron mediante subcultivos sucesivos en LD. Para evaluar el efecto de los fructanos de agave en la biomasa de kéfir se realizó un crecimiento de gránulos en un medio de cultivo de leche sin fructanos (que contenía 2 g de gránulos de kéfir en 100 ml de LD) y otro con fructanos. Las fermentaciones se realizaron en un sistema discontinuo (en lote) o sistema cerrado en incubadora en modo estático para monitoreo de temperatura (LAB-LINE, Model R3525, Melrose, IL, USA). La temperatura de incubación fue de 25 °C, sin agitación, y la fermentación discontinua se realizó en condiciones atmosféricas ambientales en todos los casos, hasta las 24 h. En cada cambio de medio de cultivo, los granos de kéfir se filtraron y lavaron con agua estéril en un tamiz plástico previamente higienizado con alcohol etílico al 70 % (v/v) [14,15]. Para cada medio de cultivo se siguió continuamente el aumento de la biomasa de kéfir (con períodos de 24 h) durante 30 días. Los experimentos se llevaron a cabo al menos por triplicado y los datos informados fueron el promedio de las mediciones.

Preparación de soluciones filmogénicas

Para la preparación de las soluciones filmogénicas, primero se obtuvieron los gránulos de kéfir de las fermentaciones por filtración a través de un tamiz plástico, se lavaron tres veces con agua destilada y se prensaron para eliminar el exceso de agua. La cantidad de materia seca de los granos de kéfir lavados y prensados fue de 0.19±0.02 g por g determinado por secado a 100 °C [16]. Se evaluaron las formulaciones con distintas proporciones de sólidos totales de las soluciones de polvo de biomasa de gránulos de kéfir (BK, polvo

 ISSN: 2007 8102

de biomasa de granulos de kefir sin fructanos) y adicionadas con fructanos (BKF), según a lo reportado por Radhouani et al. [12] con modificaciones. Se prepararán soluciones acuosas de 3, 5 y 10 (p/v) de polvo (BK) bajo agitación continua para seleccionar la concentración del biomaterial. Se adicionó como plastificante glicerol sobre las soluciones filogenéticas [7].

Pruebas Reológicas

Se evaluaron las propiedades reológicas siguiendo la metodología de Rivera-Corona et al. [17], con modificaciones, se utilizó una geometría cono y placa con un ángulo de 2 °, con un diámetro de 6 cm. Se determinaron las curvas de flujo, se colocaron 2 mL de la muestra en una placa inferior fija; esta medición reológica se realizó a 25 °C. El intervalo de velocidad de deformación que se utilizó fue de 0 a 300 s^{-1}. A continuación, se realizaron pruebas dinámicas, comenzando con una prueba de amplitud para conocer la región de viscoelástica lineal, se utilizó un barrido de deformación (0- 30 %) a frecuencia constante de 1 Hz. Posteriormente, se realizó un barrido de frecuencia aplicando un intervalo de 0.1 a10 Hz y 3 % de deformación (dentro de la revisión viscoelástica lineal), la temperatura utilizada fue de 25 °C, las respuestas que se obtuvieron fueron el módulo de almacenamiento (G') y de perdida (G''), en un reómetro de TA Instruments, modelo AR1000-N, con el mencionado sistema de cono y placa de 60 mm de diámetro y ángulo de 2°.

Resultados y discusión

Pruebas reológicas

Para evaluar el efecto de fructanos de agave en el comportamiento reológico se realizaron el análisis de curvas de flujo, barridos de esfuerzo y barridos de frecuencia de las soluciones filmogénicas.

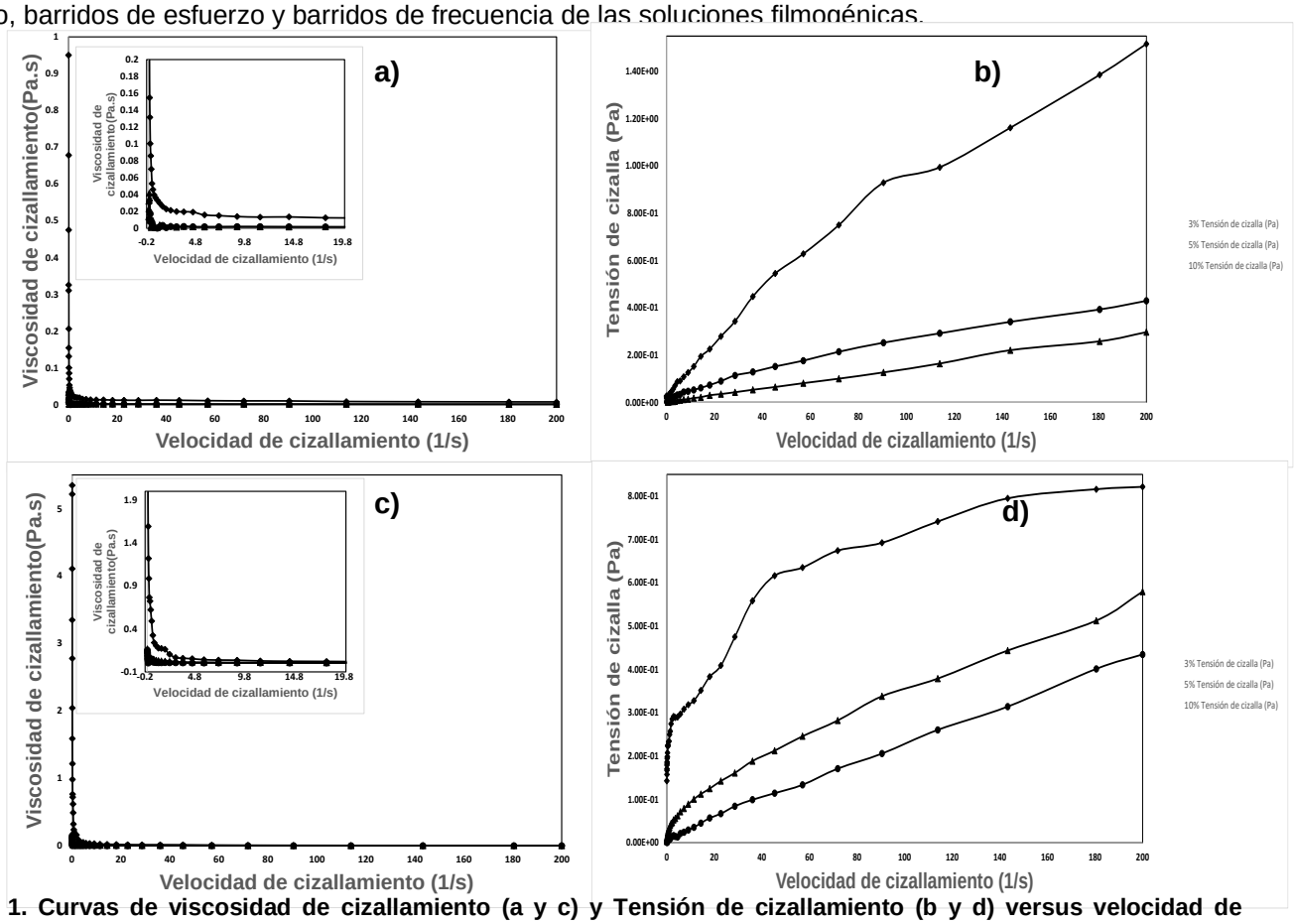


Figura 1. Curvas de viscosidad de cizallamiento (a y c) y Tensión de cizallamiento (b y d) versus velocidad de cizallamiento de muestras de soluciones filmogénicas de polvo de biomasa de kefir. Soluciones filmogénicas de BK, polvo de biomasa de granulos de kefir sin fructanos (a y b) y BKF, polvo de biomasa de granulos de kefir con fructanos (c y d), donde: 3 % de sólidos totales (-●-); 5 % de sólidos totales (-▲-);10 % de sólidos totales (-♦-).

 ISSN: 2007 8102

La solución filmogénica de polvo biomasa de gránulos de kéfir reveló características de un fluido reofluidizante o pseudoplástico no Newtoniano que muestra cambios de viscosidad dependientes de la concentración; cuanto más tiempo se somete el fluido a un esfuerzo cortante, menor es su viscosidad. Las soluciones filmogénicas de biomasa de gránulos de kéfir de BK y BKF mostro un comportamiento reológico de un sólido en suspensión con una relación lineal entre el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación para las concentraciones de 3 y 5 % (p/v), respectivamente (Figura 1). Sin embargo, cuando se realiza el análisis de la concentración de solidos totales para BK, se observó un aumento en la viscosidad al aumentar la concentración de solidos 3, 5 y 10 % (p/v) a 0.00508, 0.01353 y 0.9503 (Pa.s), respectivamente. Además, este mismo comportamiento se observó para BKF, mostrando 0.1507, 0.16729 y 5.346 (Pa.s), respectivamente. Estos resultados concuerdan con los reportados por Pop et al. [18] que establecieron la influencia de las condiciones de extracción y concentración en las propiedades reológicas del exopolisacárido aislado de los gránulos de kéfir, se ha reportado que las soluciones del exopolisacárido tienen un comportamiento Newtoniano en soluciones diluidas, pero a mayores concentraciones tiene un comportamiento pseudoplástico o reo-adelgazamiento. Además, concentraciones de 1 % (p/v) tienen un comportamiento Newtoniano y estas pueden cambiar sus características a reofluidizantes a concentraciones más altas [19]. Por otro lado, las soluciones de biopolímeros con alta viscosidad pueden evitar que burbujas de aire se escapen de la película y formen poros, pero en soluciones con baja viscosidad pueden llevar a la obtención de películas muy delgadas y de las cuales requieren un manejo más cuidadoso y tienen menos aplicaciones debido a sus pobres propiedades mecánicas [18]. Los polímeros de alto peso molecular pueden ocasionar que la viscosidad disminuya al aumentar la velocidad de cizallamiento, en soluciones concentradas la viscosidad cambia debido al entrelazamiento de macromoléculas, las variaciones también se asocian a la separación de moléculas en el fluido, es decir, su deformación y orientación, además, el adelgazamiento por cizallamiento se basa por la reticulación macromolecular, enlaces cruzados y débiles, que desaparecen y en seguida aparecen con el movimiento térmico [20].

Modelos de Ostwald-de Waale

Tabla 1. Parámetros del modelo de Ostwald-de Waale de las soluciones filmogénicas de biomasa de kéfir y adicionada con fructanos en función a la concentración de solidos 3, 5 y10 % (p/v)

Concentración de (%) solidos (p/v)	Índice de consistencia	Índice de comportamiento de flujo	Coeficiente de correlación	Ecuación
BK	K	n	R	
3	0.0096	0.7185	R = 0.989	y = -0.2815x - 2.014
5	0.0064	0.2134	R = 0.978	y = -0.7866x - 2.1901
10	0.0313	0.1751	R = 0.979	y = -0.8249x - 1.5037
BKF				
3	0.0511	0.3734	R = 0.996	y = -0.6266x - 1.2910
5	0.0326	0.5018	R = 0.997	y = -0.4982x - 1.4857
10	0.2447	0.1718	R = 0.995	y = -0.8282x - 0.6112

BK: polvo de biomasa de gránulos de kéfir sin fructanos; BKF: polvo de biomasa de gránulos de kéfir con fructanos.

Los parámetros reológicos mediante el modelo matemático proporcionan información de las condiciones de procesamiento y maquinabilidad para la obtención de películas a escala industrial y determinar la aplicación como recubrimientos en forma líquida sobre productos alimenticios o como biopelículas para empaque de alimentos por lo que se necesitan datos precisos de sus propiedades reológicas [7]. En la Tabla 1 se muestran los parámetros del modelo de Ostwald-de Waale de las soluciones filmogénicas, arrojando un comportamiento de pseudoplásticos, el modelo se ajusta a los datos experimentales, obteniendo un coeficiente de correlación superior a R=0.978. Los valores de los parámetros ajustados del modelo mostraron una disminución en el índice de comportamiento de flujo (n) con el aumento de la concentración de sólidos (3, 5 y 10 % (p/v)) pero el índice de consistencia (k) mostró un aumento solo en la concentración de sólidos de 10 % (p/v) para las soluciones filmogénicas de BK. Por otra parte, las soluciones filmogénicas de BKF, mostraron un comportamiento opuesto en el índice de comportamiento de flujo (n) comparado con BK, porque sus valores aumentaron conforme aumentó la concentración de solidos (3 y 5 % (p/v)) y solo disminuyo al 10 % (p/v). Además, para el índice de consistencia, las soluciones filmogénicas de BKF mostraron la misma tendencia que las de BK. Por lo tanto, para este último parámetro “n” constituye una medida del grado de desviación del comportamiento Newtoniano, ya que n=1; nos indica que la solución es Newtoniana; si el valor de n > 1, se produce un espesamiento y el producto es dilatante; y si n < 1, este se caracteriza por ser un material reoadelgazante o pseudoplástico [21]. Por lo que este resultado indica que, a

 ISSN: 2007 8102

mayores concentraciones de sólidos de biomasa de gránulos de kéfir con o sin fructanos, el comportamiento de las soluciones filmogénicas se aleja más del comportamiento Newtoniano. Ghasemlou, Khodaiyan, & Oromiehie [11], mencionan que soluciones formadoras de películas de kefirán muestran un comportamiento pseudoplástico con valores de n entre 0.64 y 0.6, y no se observan efectos tixotrópicos, además, las soluciones formadoras de películas con plastificantes aumentan su **n** con la incorporación de otros plastificantes, indicando que la estructura e interacciones entre el kefirán y plastificante, requieren mayor tensión de cizallamiento para fluir [8]. Por lo mencionado, las soluciones filmogénicas de BKF entre el 3 y 5 % de solidos (p/v) mostraron valores de n inferiores a 0.6, la que se considera una concentración de referencia para la obtención de biopelículas.

Análisis de barridos de esfuerzo

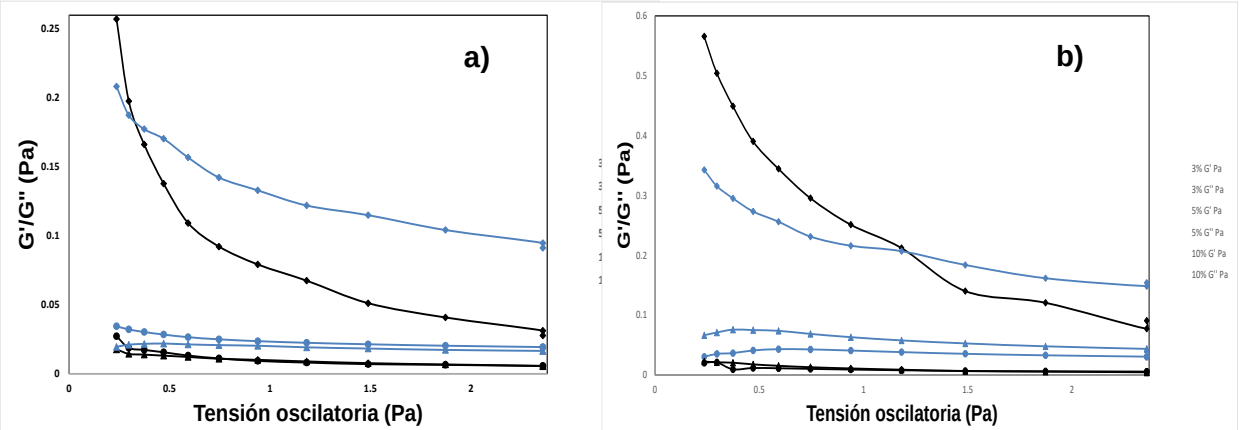


Figura 2. Barrido de esfuerzo de una solución filmogénica de 3, 5 y 10% (p/v) de sólidos totales. Soluciones filmogénicas de BK (a) y BKF (B), donde: 3% de solidos de totales de (G')(-●-); 3% de solidos de totales de (G'')(-●-); 5% de solidos de totales de (G')(-▲-); 5% de solidos de totales de (G'')(-▲-); 10% de solidos de totales de (G')(-♦-); 10% de solidos de totales de (G'')(-♦-).

Los módulos de almacenamiento y pérdida son funciones de la frecuencia y dan una idea de la estructura de las soluciones de polímeros [12]. Se obtuvieron los barridos de esfuerzo de las concentraciones de 3, 5 y 10 % (p/v) de sólidos de las soluciones filmogénicas. El análisis se realizó a 25 °C (Figura 2), se observó que, en todos loscasos, tanto para BK y BKF de las concentraciones evaluadas, mostró una región viscoelástica lineal desde 0.2 hasta aproximadamente 2.4 Pa de esfuerzo. El valor de G' es la medida de energía de deformación almacenadaen la muestra durante el proceso de corte y representa el comportamiento elástico, por otro lado, el valor para G''es la medida de energía de deformación consumida (perdida) durante el corte, lo que representa el comportamiento viscoso de una muestra. Por lo tanto, si G' es mucho mayor que G'', el material se comportará más como un sólido; es decir, las deformaciones serán esencialmente elásticas o recuperables. Si G'' es mucho mayor que G', la energía utilizada para deformar el material se disipa viscosamente y el comportamiento de los materiales es similar al de un líquido, por lo tanto, este último comportamiento corresponde a las muestras analizadas [22].

Análisis de barrido de frecuencia

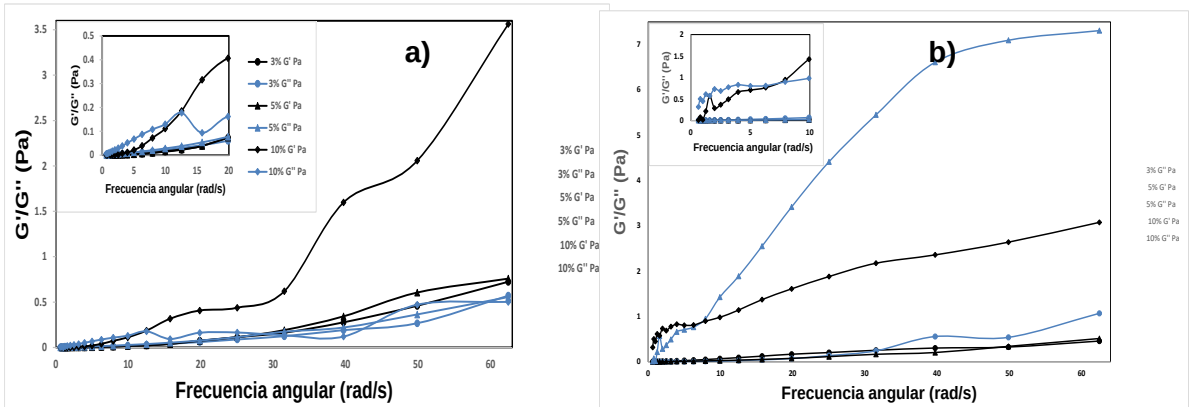


Figura 3. Barrido de frecuencia de soluciones filmogénicas de 3, 5 y 10% (p/v) de sólidos totales. Soluciones filmogénicas de BK (a) y BKF (B), donde: 3% de solidos de totales de (G')(-●-); 3% de solidos de totales de (G'')(-●-); 5% de solidos de totales de (G')(-

▲-); 5% de solidos de totales de (G'')(-▲-); 10% de solidos de totales de (G')(-♦-); 10% de solidos de totales de (G'')(-♦-).

Los resultados señalaron que las soluciones filmogénicas se comportaron como sistemas reofluidizantes (n<1), por otro lado, las muestras se comportaron como geles viscoelásticos con predominio de su carácter viscoso. Los ensayos de barridos de frecuencia se realizaron para evaluar el efecto de las concentraciones de sólidos y el efecto de suministrar como sustrato adicional fructanos en la fermentación para obtener polvo de BKF. Las diferentes concentraciones de soluciones filmogénicas estudiadas (3, 5 y 10% (p/v)) de BK y BKF mostraron comportamientos similares. Los barridos de frecuencia de las soluciones filmogénicas de BK y BKF (Figura 3) iniciaron con un comportamiento viscoso, se observó que los valores del módulo de almacenamiento (G') es menor que el módulo de perdida (G'') pero al aumentar la frecuencia, en ambos casos de muestras, el módulo de G' es mayor que G''. Este comportamiento se ha reportado que consiste en un sistema de red entrelazada: los reordenamientos moleculares son factibles, lo que da como resultado un flujo a bajas frecuencias. A altas frecuencias, los enredos entre cadenas no tienen tiempo suficiente para deslizarse y pueden comportarse como un gel (G'>G'') [19, 22]. Por otro lado, Ghasemlou, Khodaiyan, & Oromiehie, [8] reportaron que valores de G' fueron superiores a los valores de G'', mencionando que son características de materiales sólidos viscoelásticos tipo gel, proponiendo que el comportamiento consistió en un sistema de red entrelazada, los reordenamientos moleculares son factibles, lo que da como resultado un flujo a bajas frecuencias. En altas frecuencias, los entrelazados entre cadenas no tienen tiempo suficiente para deslizarse y pueden comportarse como un gel.

Trabajo a futuro

La propuesta de investigación mostró el efecto que tiene el uso de sustratos alternativos como fructanos de agave sobre el crecimiento de los gránulos de kéfir, además de identificar, más allá del aumento de biomasa, mostrar los cambios reológicos en los gránulos, paralelos al perfil de microorganismos. Además, en las últimas tres décadas las investigaciones sobre gránulos de kéfir se han enfocado en el aislamiento, purificación del kefiran y sus efectos sobre la salud, sin tener en cuenta los efectos del uso de otras fuentes de sustratos. Se desarrollará el uso de biomateriales a partir de la biomasa del kéfir, así mismo, esta innovación se atribuye a la simbiosis de microorganismos que pueden metabolizar los fructanos del agave y transformarlos en materia prima o como biomateriales a partir de la biomasa del kéfir, participando en el estudio y aprovechamiento de biopelículas. Además, lo interesante de esta investigación es que hasta el momento ha demostrado que los fructanos derivados del agave tienen potencial para ser utilizados como medio de cultivo para producir biomasa de gránulos de kéfir, reduciendo el uso de la leche como sustrato principal, considerando que la leche es un alimento básico, lo que ha limitado el uso de kéfir en todo el mundo.

Conclusiones

El análisis reológico mostró un comportamiento de flujo de la biomasa de gránulos de kéfir en solución es, es el de un fluido pseudoplástico a velocidades de cizallamiento bajas, mientras que a velocidades de cizallamiento altas está disminuyendo de forma lineal y mostró un comportamiento de adelgazamiento por cizallamiento. Estas soluciones filmogénicas se comportaron como geles viscoelásticos, con predominio del módulo viscoso a bajas frecuencias, mostrando la tendencia a revertir el comportamiento de los módulos al incrementar la frecuencia. Las propiedades potenciales del polvo de biomasa de kéfir pudieran mostrar tener aplicaciones de un innovador biopolímero, por ejemplo, a través de las propiedades fisicoquímicas y reológicas en ingeniería de tejidos y medicina regenerativa, así como, diversas propiedades enfocadas en lograr obtener estructuras adecuadas según lo requiera, aplicaciones de cartílago articular o defectos óseos. Se hace necesario desarrollar más trabajos para optimizar la ampliación de aplicaciones industriales y comprender su característica in vitro para sus propiedades biológicas y terapéuticas.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la beca del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT), el apoyo financiero y la beca BEIFI del Instituto Politécnico Nacional (IPN) a través del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos y la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP).

Referencias

[1] H. Espinosa-Andrews, J. E. Urías-Silvas and N. Morales-Hernández, ""The role of agave fructans in health and food applications: A review,"," *Trends Food Sci. Technol.,* vol. 114, p. 585–598, 2021.

[2] C. Buitrago-Arias, A. Londoño-Moreno, S. V. Avila-Reyes, M. L. Arenas-Ocampo, L. Alamilla-Beltran, A. R. Jimenez-Aparicio and B. H. Camacho-Diaz, "Evaluation of the fermentation of acetylated agave fructans (agavins), with Saccharomyces boulardii as a probiotic," *Revista Mexicana de IngenieríaQuímica,* vol. 20, no. 3, p. 2533, 2021.

[3] E. Franco-Robles and M. G. Lopez, ""Implication of Fructans in Health: Immunomodulatory and Antioxidant Antioxidant Mechanisms,"," *Sci. World J.,,* 2015.

[4] B. Yilmaz, H. Sharma, E. Melekoglu and F. Ozogul, "Recent developments in dairy kefir-derived lactic acid bacteria and their health benefits.," *Food Bioscience, 46,* p. 101592, 2022.

[5] P. Chand, M. D. Kumar, A. K. Singh, G. K. Deshwal, P. S. Rao, S. K. Tomar and H. Sharma, "Low-calorie synbiotic yoghurt from indigenous probiotic culture and combination of inulin and oligofructose: Improved sensory, rheological, and textural attributes.," *Journal of Food Processing and Preservation, 45(4),,* p. e15322, 2021.

[6] M. R. Prado, L. M. Blandón, L. P. S. Vandenberghe, C. Rodrigues, G. R. Castro, V. Thomaz-Soccol and C. R. Soccol, "Milk kefir: composition, microbial cultures, biological activities, and related products," *Frontiers in microbiology,* p. 1177, 2015.

[7] J. A. Piermaria, A. Pinotti, M. A. Garcia and A. G. Abraham, "Films based on kefiran, an exopolysaccharide obtained from kefir grain : Development and characterization.," *Food Hydrocolloids,* vol. 23, p. 684–690, 2009.

[8] M. Ghasemlou, F. Khodaiyan and A. Oromiehie, "Rheological and structural characterisation of film-forming solutions and biodegradable edible film made from kefiran as affected by various plasticizer types.," *International Journal of Biological Macromolecules, 49(4), ,* pp. 814-821., 2011.

[9] G. Satir and Z. B. Guzel-Seydim, "How kefir fermentation can affect product composition?.," *Small Ruminant Research, 134, ,* pp. 1-7., 2016.

[10] Z. B. Guzel-Seydim, Ç. Gökırmaklı and A. K. Greene, "A comparison of milk kefir and water kefir: Physical, chemical, microbiological and functional properties.," *Trends in Food Science & Technology,,* vol. 113, pp. 42-53, 2021.

[11] G. Moreno-León, S. Avila-Reyes, J. Villalobos-Espinosa, B. Camacho-Díaz, D. Tapia-Maruri, A. Jiménez-Aparicio, M. Arenas-Ocampo and J. Solorza-Feria, "Effect of Agave Fructans on Changes in Chemistry, Morphology and Composition in the Biomass Growth of Milk Kefir Grains.," *Microorganisms,* vol. 11, p. 1570, 2023.

[12] S. V. Avila-Reyes, C. E. Márquez-Morales, G. R. Moreno-León, A. R. Jiménez-Aparicio, M. L. Arenas-Ocampo, J. Solorza-Feria, E. García-Armenta and J. C. Villalobos-Espinosa, "Comparative Analysis of Fermentation Conditions on the Increase of Biomass and Morphology of Milk Kefir Grains.," *Applied Sciences, 12(5),* p. 2459, 2022.

[13] M. E. Coma, M. A. Peltzer, J. F. Delgado and A. G. Salvay, "Water kefir grains as an innovative source of materials : Study of plasticiser content on fi lm properties.," *European Polymer Journal,* vol. 120, p. 109234., 2019.

[14] H. Radhouani, F. R. Maia and J. M. Oliveira, "Kefiran biopolymer: Evaluation of its physicochemical and biological properties.," *Journal of Bioactive and Compatible Polymers,* vol. 33, no. 5, p. 461–478., 2018.

[15] J. L. Rivera-Corona, F. Rodríguez-González, R. Rendón-Villalobos, E. García-Hernández and J. Solorza-Feria, "Thermal, structural and rheological properties of sorghum starch with cactus mucilage addition.," *LWT-Food Science and Technology,* vol. 59, no. 2, pp. 806-812, 2014.

[16] C. R. Pop, L. Salanţă, A. M. Rotar, C. A. Semeniuc, C. Socaciu and M. Sindic, "Influence of extraction conditions on characteristics of microbial polysaccharide kefiran isolated from kefir grains biomass.," *Journal of Food and Nutrition Research,* vol. 55, no. 2, p. 121–130, 2016.

[17] J. A. Piermaria, M. L. D. L. Canal and A. Abraham, "Gelling properties of kefiran a food grade polysaccharide obtained from kefir grain," *Food Hydrocolloids,* vol. 22, p. 1520–1527, 2008.

[18] V. N. Kalashnikov, "Shear-rate dependent viscosity of dilute polymer solutions.," *Journal of Rheology, 38(5), ,* p. 1385–1403, 1994.

[19] M. G. C. Montealvo Mendez , M. C. Santiago Nuñez and J. Feria Solorza, Introducción a la Reología.., Mexico: Instituto Politécnico Nacional., 2010.

[20] M. Ghasemlou, F. Khodaiyan, A. Oromiehie and M. Saeid, "Development and characterisation of a new biodegradable edible film made from kefiran, an exopolysaccharide obtained from kefir grains.," *Food Chemistry,* vol. 127, no. 4, p. 1496–1502, 2011.

[21] G. Tabilo-Munizaga and G. V. & Barbosa-Cánovas, "Rheology for the food industry.," *Journal of food engineering, 67(1-2),* pp. 147-156., 2005.

[22] D. Peressini, B. Bravin, R. Lapasin, C. Rizzotti y A. Sensidoni, «Starch–methylcellulose based edible films: rheological properties of film-forming dispersions.,» *Journal of Food Engineering,* vol. 59, nº 1, pp. 25-32, 2003.

 ISSN: 2007 8102

Caracterización morfológica y estructural de nanocristales de almidón de plátano sintetizados por un método físico-enzimático.

Autores: L. del C. Quevedo Zarate[1], A. Aguirre Cruz*[2], R. Carmona García[2], M. J. Fernández Cueto[2], M. García Muñoz[1]

[1]Instituto de Biotecnología, Universidad del Papaloapan. Circuito Central #200, colonia Parque Industrial, C.P. 68301Tuxtepec, Oax. México.

[2]Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Av. Dr. Víctor Bravo Ahuja s/n, C.P. 68350, Col. 5 de Mayo. Tuxtepec, Oaxaca, México.

**andres.ac@tuxtepec.tecnm.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

El almidón es un polisacárido que puede ser utilizado como materia prima para la obtención nanocristales (Nnc), Los Nnc de almidón han sido extraídas o sintetizados por distintos métodos (físicos, químicos, enzimáticos, mecánico o combinaciones de estos) y tienen una gran gama de aplicaciones en la industria, como por ejemplo sustitutos de grasas, estabilizadores, agentes emulsionantes o como agentes refuerzo en materiales poliméricos de origen natural o sintético. El objetivo del presente trabajo fue obtener Nnc a partir de almidón plátano mediante ultrasonido e hidrólisis enzimática parcial. Al material obtenido después del proceso de hidrólisis enzimática se determinó la distribución de tamaño de partícula (DTP) y se caracterizó por análisis estructural (FTIR-ATR) y morfológico (SEM). La DTP para los Nnc de almidón fue de 80 a 90 nm. Los gránulos de AP presentaron morfologías características (elípticos y poligonales) de su fuente botánica. Los espectros de FTIR del APN y Nnc presentaron cambios importantes en las señales características para cada muestra, indicando un posible reordenamiento estructural diferente al de su estado nativo.

Palabras clave: *Nanocristales de almidón, hidrólisis enzimática y ultrasonido.*

Abstract

Starch is a polysaccharide used as a raw material to obtain nanocrystals (Nnc). The starch Nnc have been extracted by different methods (physical, chemical, enzymatic, mechanical or combined) and have a wide range of applications in industry, such as for example fat substitutes, stabilizers, emulsifying agents or as reinforcing agents in polymeric materials of natural or synthetic origin. The aim of this work was to obtain Nnc from plantain starch by means of ultrasound and partial enzymatic hydrolysis. The particle size distribution (DTP) of the material obtained after the enzymatic hydrolysis process was determined and it was characterized by structural (FTIR-ATR) and morphological (SEM) analysis. The DTP for the starch Nnc was 80 to 90 nm. The AP granules presented characteristic morphologies (elliptical and polygonal) of their botanical source. The FTIR spectra of the APN and Nnc showed significant changes in the characteristic signals for each sample, indicating a possible structural rearrangement different from their native state.

Keywords: *Starch nanocrystals, enzymatic hydrolysis and ultrasound.*

1. Introducción

Hoy en día, nanotecnología es una tecnología con aplicaciones en diversos ámbitos enfocada en el desarrollo, caracterización, fabricación y manipulación de materiales a escala nanométrica (nanopartículas, nanotubos, nanofibras, nanowhiskers, nanocristales, etc.). El campo de las nanopartículas (Nnp) o nanocristales (Nnc) es un área de investigación de rápido crecimiento. Estos términos hacen referencia a elementos cuyas dimensiones se ubican en un intervalo de 0.1 a 100 nm, este simple cambio trae con sigo propiedades y aplicaciones diferentes. Como por ejemplo el

uso como agentes de refuerzo para la formulación de materiales nanoestructurados, que pueden presentar cambios y ventajas importantes en las propiedades mecánicas, térmicas o de barrera en comparación con aquéllos convencionales. El almidón es el segundo biopolímero más abundante después de la celulosa y se produce en algunas plantas o frutos en estado inmaduro, almacenado en forma de gránulos. Su tamaño (5 a 70 μm) puede variar dependiendo de la fuente botánica, este polisacárido puede ser depolimerizado a escala nanométrica por diferentes métodos (químicos, enzimáticos, mecánicos, fiscos o combinaciones de estos). Los nanocristales de polisacáridos han tenido actualmente más aplicaciones en las industrias alimentaria y no alimentaria. Las Nnp y Nnc de almidón han sido utilizadas para la encapsulación de fármacos, empaques, aditivos alimentarios (sustitutos de grasas o estabilizadores), tratamiento de aguas residuales y como agentes refuerzo en nanocompositos. Esta última aplicación es un tema de investigación relevante para la fabricación de nuevos materiales nanoestructurados con aplicaciones tecnológicas, debido a que la incorporación de Nnc mejoran algunas de sus propiedades (optimas, mecánicas, de barrera, térmicas y degradabilidad). Por esta razón, existe un gran interés por la síntesis o extracción de Nnc de almidón, en la última década se han desarrollado diversos métodos para el proceso de síntesis o extracción (químicos, enzimáticos, mecánicos, entre otros). Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el método combinado de sonicación-hidrólisis enzimático parcial para la síntesis de Nnc de almidón y su posteriormente caracterizar morfológica y estructural. Esto podría aportar más al conocimiento básico y síntesis de Nnc a partir de polisacáridos con posibles aplicaciones o para el desarrollo de nuevos materiales nanoestructurados.

2. Desarrollo experimental

2.1 Materiales

La variedad de plátano empleado como materia prima fue *Musa paradisiaca L.* conocida comúnmente como plátano macho, en estado inmaduro (diez días antes de la fecha de corte). El plátano fue proporcionado por productores (Finca Mundo Nuevo) del municipio de Tuxtepec, Oaxaca. Se utilizó α-amilasa, adquirida de la empresa Sigma- Aldrich Co.

2.2 Aislamiento del almidón.

El almidón fue aislado por el método propuesto por Flores-Gorosquera *et al*., [1] con modificaciones propuestas por Vergara-Méndez *et al*., [2]. Los plátanos se pelaron y cortaron en trozos de 5 a 6 cm^3, inmediatamente después fueron sumergidos en una solución de ácido cítrico (0.3 g/L). Posteriormente, fueron molidos en una licuadora tipo industrial (Marca: Waring, modelo CB15), a una velocidad baja (600 g de fruto por litro de solución) durante 2 min. Enseguida el fruto licuado se tamizó consecutivamente en diferentes tamices de acero inoxidable (Marca: Fisher Scientific Company) con mallas del No. 50 (0.30 mm), 100 (0.15 mm), 200 (0.075 mm) y 400 (0.038 mm). hasta que el agua del lavado fue clara. Posteriormente, se dejó sedimentar durante 24 h a 4 °C. Los sedimentos de las mallas 200 y 400 se maceraron, tamizaron y dejaron sedimentar por segunda ocasión. El almidón fue secado en un horno por convección durante 24 h a 50 °C, después de este proceso se molió y tamizó en malla 50 (0.30 mm). Finalmente, el polvo obtenido fue almacenado (bolsas al vacío de ½ kg) para su posterior análisis.

2.3 Síntesis de nanocristales de almidón

Para este proceso de síntesis de Nnc se utilizó el método combinado de sonicación e hidrólisis enzimática (Ver figura 1). El primer paso fue someter a sonicación el almidón utilizando en un equipo de ultrasonido Hielscher UP200St (Hielscher Ultrasonics, Germany) de la siguiente manera; primero se pesó 1 g de muestra y se colocó en un vaso de precipitado con 20 mL de agua destilada, este se dejó en agitación (250 rpm) constante por 20 min, enseguida la suspensión se colocó en una celda de flujo enchaquetada a una temperatura constante (4°C), se utilizó una potencia de 170 W (utilizando un sonotrodo de 2 mm de diámetro), una amplitud del 20% y un tiempo de sonicación de 30 min. El segundo paso consistió en realizar la hidrólisis enzimática de acuerdo a la técnica reportada por Kim *et al*., [3] con algunas modificaciones. Se disolvieron 50 µL de alfa-amilasa en 50 mL de tampón fosfato de sodio 20 mM, y NaCl 6.7 mM (pH 6.9). Se pesó1 g de almidón (con pretratamiento por sonicación) (bs) y se dispersó en 50 mL de la solución de enzima. La dispersión se incubó a 37 °C durante 24 h con agitación a 150 rpm. Se añadieron 240 mL de etanol para inactivar

 ISSN: 2007 8102

la enzima y el almidón hidrolizado se recogió por centrifugación a 2280 *x g* durante 10 min. El residuo de almidón se lavó tres veces con 300 mL de etanol al 50% y por último se secó a 35 °C en un horno de convección durante toda la noche.

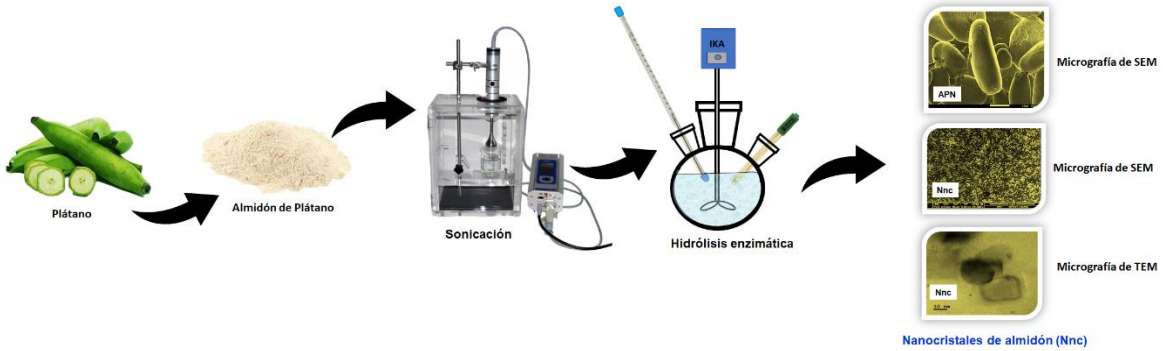


Figura 1. Diagrama esquemático del proceso de síntesis de nanocristales (Nnc) de almidón de plátano.

2.4 Caracterización morfológica y estructural del almidón y Nnc

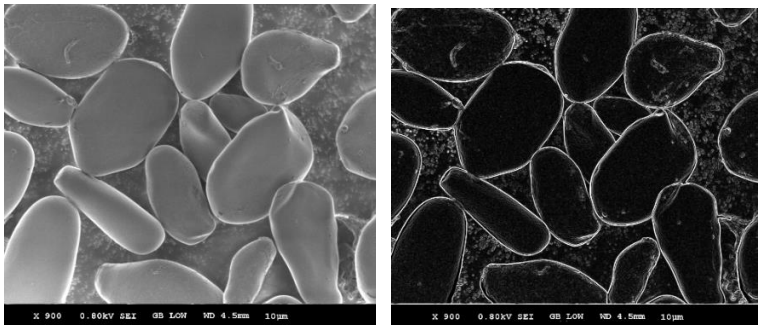
La morfología de las superficies tanto del almidón como de los Nnc, fue observada mediante un microscopio electrónico de barrido Philips, modelo XL30 ESEM. El análisis de tamaño de partícula (DTP) se determinó a temperatura ambiente utilizando un Analizador de difracción Láser Malvern Zeta Sizer (Malvern Instruments, Ltd.) modelo ZS90, con una celda de cuarzo (10 mm) y una unidad de dispersión de muestra de volumen pequeño. El análisis estructural se llevó a cabo en un Espectrómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) marca DYNASCAN modelo Spectrum 100, Perkin Elmer, utilizando un interferómetro de reflectancia total atenuada (ATR). Los espectros fueron obtenidos con una resolución de 4 cm^{-1} y 8 scans en un rango de 600 a 4000 cm^{-1}.

3. Resultados y discusión

3.1. Síntesis de nanocristales de almidón

3.1.1 Análisis Morfológico

En la Figura 2 se muestran las micrografías del almidón de plátano en estado nativo observadas a través de SEM. En ellas se puede observar una morfología característica de esta fuente botánica con gránulos ovalados o elípticos, alargados y planos con superficies lisas. También se pueden observar residuos adheridos en la superficie del gránulo los cuales pueden ser residuos de proteínas y celulosa. Zhang *et al*., [4] reportaron una morfología muy similar en almidón de plátano de la misma variedad.



 ISSN: 2007 8102

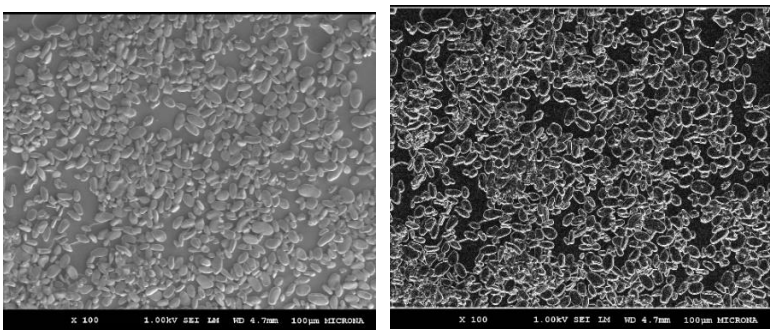


Figura 2. Micrografías vistas por SEM (100x y 900x) del almidón de plátano en estado nativo.

La Figura 3 muestra las imágenes de los nanocristales, los cuales presentan una morfología muy diferente a la de su estado nativo. Se observan gránulos fragmentados con bordes irregulares. Esta forma es atribuida al rompimiento de las regiones amorfas del gránulo por medio de ultrasonido-hidrólisis enzimática. El pre tratamiento con ultrasonido en solución acuosa, provocó fracturas a la pared del gránulo, haciendo más grandes los poros naturales de los gránulos de almidón [5] lo que permitió que la enzima penetrara fácilmente en el gránulo, degradando así las cadenas poliméricas y generando partículas de tamaño más homogéneo.

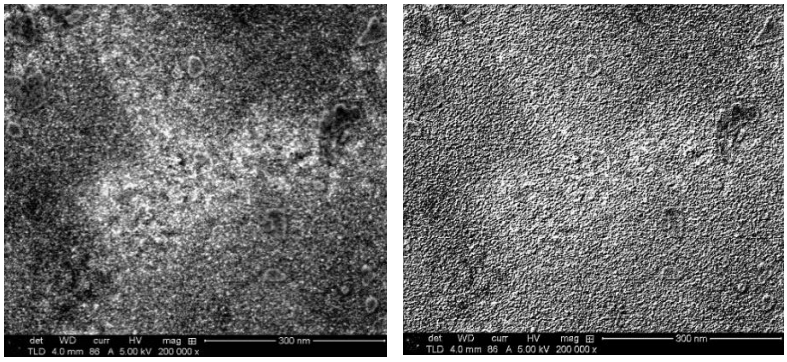


Figura 3. Micrografías vistas por SEM (200000x) de nanocristales (Nnc) de almidón de plátano.
El análisis de distribución de tamaño de partícula (DTP) para la muestra de almidón de plátano nativo presento tamaño promedio 70 μm, mientras que el tamaño de partícula las Nnc de almidón presentaron una DTP de 90 nm.

3.1.2 Análisis estructural

Las muestras de almidón de plátano nativo (APN) y Nnc almidón de plátano fueron caracterizadas por FTIR-ATR, sus espectros de absorción se muestran en la Figura 4. La muestra de APN presentó una banda ancha en el intervalo de 3000-3600 cm^{-1} misma que corresponde a las vibraciones de estiramiento de los grupos hidroxilos (-OH) y al agua libre los cuales contribuyen en las interacciones inter e intra molecular de los OH en la estructura del almidón. Esta es una característica particular que presentan la estructura de los almidones [6]. El pico que aparece alrededor de 2927 cm^{-1} corresponde a la vibración de alargamiento del hidrógeno con respecto al enlace carbono (C-H) asociados con el anillo de la glucopiranosa). La señal de vibración del grupo OH correspondiente al agua absorbida se observa a 1639 cm^{-1}. Las señales de vibración en el intervalo 1300-1400 cm^{-1} que corresponde a los enlaces C-H. En la región conocida como la huella dactilar se observan picos característicos del almidón en 993- 1150 cm^{-1} correspondientes a las vibraciones de las uniones α 1-4 (–C-O-C-) de la glucopiranosa y picos en el intervalo de 571- 926 cm^{-1} atribuidos al enlace α 1-6 y al anillo piranosa.

 ISSN: 2007 8102

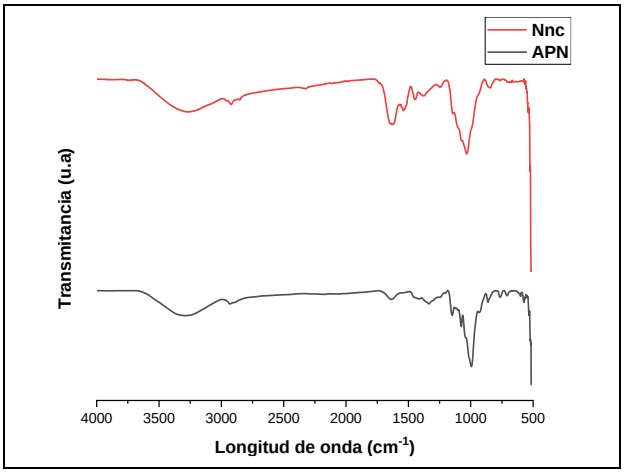


Figura 4. Espectro FTIR-ATR del almidón de plátano en estado nativo (APN) y nanocristales (Nnc) de almidón de plátano.

Estos resultados de infrarrojo son similares a los reportados por otros investigadores [7-9]. Con respecto al espectro de Nnc se pueden apreciar cambios en las señales observadas inicialmente en comparación con el APN. Estas señales son: entre 3000-3300 cm^{-1} corresponde a aminas primarias y secundarias aportadas por la enzima quedando traslapados en este mismo intervalo la señal de vibración de los hidroxilos. La señal en 2927 cm^{-1} correspondiente a los grupos metilenos asociados al anillo de la glucopiranosa disminuye en comparación con respecto al espectro de APN. La señal de vibración 1639 cm^{-1} asociada con el agua, la cual se ve más intensa. Las señales correspondientes al enlace C-O de 993-1150 cm^{-1} también se aprecian con mayor intensidad en comparación con el APN. En la literatura se ha reportado que las bandas a 993 y 1075 cm^{-1} están asociadas a la estructura amorfa y cristalina del almidón, respectivamente [10]. Los resultados de los espectros FTIR sugieren que los Nnc son más más cristalinos como resultado del proceso sonicación e hidrolisis enzimática lo cual provoca primero una depolimerización y posteriormente durante el secado un reordenamiento estructural de las cadenas (amilosa y fragmentos de amilopectina) que generan una estructura más organizada y compacta.

Conclusiones

La combinación de hidrólisis enzimática (parcial) y sonicación controlada, permite obtener Nnc a partir del almidón de plátano. El análisis de FTIR-ATR permitió observar los grupos funcionales característicos con algunos cambios en las regiones características de Nnc. El análisis morfológico realizado por SEM permitió observar el efecto del proceso de hidrólisis enzimática-ultrasonido, reducción de tamaños a escala nanométrica y reordenamiento de estas cadenas depolimerizadas para la formación Nnc de almidón.

Trabajo futuro

Se evaluarán diferentes tiempos de hidrólisis enzimática para mejorar los resultados obtenidos.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para realizar la estancia sabática y lograr estos resultados parciales.

Bibliografía

[1] Flores-Gorosquera, E., García-Suárez, F. J., Flores-Huicochea, E., Nuñez-Santiago, M. C., González-Soto, R. A. and Bello-Pérez, L. A. 2004. Acta Científica Venezolana. 55: 86-90.

 ISSN: 2007 8102

[2] Vergara-Méndez. B. Z. 2012. Efecto de la modificación química dual del almidón de plátano (Musa Paradisiaca L.) sobre las propiedades térmicas, morfológicas y estructurales. Tesis de licenciatura. Universidad del Papaloapan, Tuxtepec, Oaxaca, México. 27.

[3] Kim, H. Y., Lee, J. H., Kim, J-Y., Lim, W-J and Lim, S-T. 2012. Characterization of nanoparticles prepared by acid hydrolysis of various starches. Starch/Starke. 64: 367–373.

[4] Zhang, Pingyi., Whistler, Roy, L., Be Miller, James., Hamaker, Bruce R. 2005. Banana Starch: production, physicochemical properties, and digestibility-a review. Carbohydrate Polymers. 59: 443-458.

[5] Sujka, M., & Jamroz, J. 2013. Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behaviour. Food Hydrocolloids, 31: 413-419.

[6] Fang, J. M., Fowler P. A J. Tomkinson, and C. A. S. Hill. 2002. Ther preparation and characterization of a series of chemically codified potato starches. Carbohydrate Polymers, 47: 245-252.

[7] Mano, J. F., Konoarova, D. and Reis. R. L. 2003. Thermal properties of thermoplastic starch/synthetic polymer blend with potential biomedical applicability. Journal of Materials Science, 14: 127-135.

[8] Lammers, K., Arbuckler-Keil, G., Dighton, J., 2009. FT-IR study of the changes in carbohydrate chemistry of three New Jersey Pine Barrens leaf litters during simulated control burning. Soil Biology Biochemistry.

[9] Kacurakova, M. and Wilson R. 2001. Developments inmid-infrared FT-IR spectroscopy of selected carbohydrates. Carbohydrate Poymers, 44: 291-303.

[10] Sevenou, O., S. E. Hill, I. A. Farhat, and J. R. Mitchell. 2002. Organisation of the external region of the starch granule as determined by infrared spectroscopy. Int. J. Biol. Macrom. 3: 79-85.

Desarrollo de heteroestructuras g-C_3N_4/Sb_2O_3 para evaluación de sus propiedades fotocatalíticas en la degradación de acetaminofén

D. Sánchez-Martínez[1], D.B. Hernández-Uresti[2], I. Juárez-Ramirez[1]*
[1]Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Ecomateriales y Energía, Cd. Universitaria, C.P. 66455, San Nicolás de los Garza, N.L., México.
[2]Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencia Físico Matemáticas, Cd. Universitaria, C.P. 66455, San Nicolás de los Garza, N.L., México

[1]*Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Ecomateriales y Energía, Cd. Universitaria, 66455, San Nicolás de los Garza, NL, México.*
[2]*Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Fisico Matematicas, Cd. Universitaria, 66455, San Nicolás de los Garza, NL, México.*

***Área de participación**: Ingeniería Química (Arial 9)*

Resumen

En este proyecto se desarrollaron heteroestructuras de g-C_3N_4/Sb_2O_3 para evaluar su desempeño fotocatalítico en la reacción de degradación de acetaminofén en medio acuoso bajo luz solar simulada. Las heteroestructuras fueron desarrolladas mediante molienda convencional y posteriormente fueron caracterizadas por diversas técnicas como DRX que nos corrobora la formación de los compuestos, FTIR, SEM donde se obtuvo principalmente una morfología en forma de láminas para g-C_3N_4 y partículas irregulares para Sb_2O_3, DRS para determinación de la banda de energía prohibida (Eg) y Fisisorción de N_2 para determinar el área superficial BET. La actividad fotocatalítica fue evaluada en la degradación de acetaminofén (paracetamol) un fármaco ampliamente utilizado y que ha provocado una fuerte de contaminación. El seguimiento de las pruebas fotocatalíticas fue mediante espectroscopia UV-vis a la longitud de onda de máxima absorción del contaminante, donde se logró observar que la heteroestructuras 80/20 fue la que mostro el mejor comportamiento fotocatalítico.

***Palabras clave**: g-C_3N_4/Sb_2O_3, molienda convencional, acetaminofén, fotocatálisis.*

Abstract (150 *words at most, Arial 10*)

In this work, g-C3N4/Sb2O3 heterostructures were developed to evaluate their photocatalytic performance in the acetaminophen degradation reaction in aqueous medium under simulated sunlight. The heterostructures were developed by conventional grinding and were later characterized by various techniques such as. XRD that corroborates the formation of the compounds, FTIR, SEM where a morphology in the form of sheets was obtained for g-C3N4 and irregular particles for Sb2O3, DRS for determination of the band-gap energy (Eg) and N2 physisorption to determine the BET surface area. The photocatalytic activity was evaluated in the degradation of acetaminophen (paracetamol), a widely used drug that has caused heavy contamination. The follow-up of the photocatalytic tests was by means of UV-vis spectroscopy at the wavelength of maximum absorption of the contaminant, where it was possible to observe that the 80/20 heterostructure was the one that showed the best photocatalytic behavior.

***Key words**: g-C_3N_4/Sb_2O_3, conventional grinding, acetaminophen, photocatalysis*

Introducción

Recientemente, la descarga de contaminantes orgánicos emergentes en ecosistemas acuáticos se ha intensificado, ocasionando una amenaza para el ambiente, presentándose efectos tales como la toxicidad en los organismos y personas que son expuestas a este tipo de contaminantes, un aumento en la pérdida de biodiversidad y amenazas para la salud humana [1].

Entre estos contaminantes se encuentran los productos farmacéuticos y debido a su uso desmedido por la sociedad se han detectado en los ecosistemas acuáticos y terrestres [2]. Por lo tanto, en el presente trabajo se realizó un estudio para la degradación fotocatalítica de paracetamol, el cual es uno de los fármacos más empelados por la sociedad sin prescripción médica y por lo tanto más consumido.

El paracetamol (acetaminofén) es un analgésico, antipirético seguro y eficaz. Entre los efectos tóxicos se presenta hepatoxicidad con dosis de 325 mg que también pueden afectar los riñones, corazón y Sistema Nervioso Central. De igual manera una sobredosis en el embarazo provoca nacimientos prematuros y/o abortos. Además, las emisiones de paracetamol al agua residual son un verdadero problema ya que presenta diferentes transformaciones dando origen a metabolitos tóxicos [1].

Una técnica frecuentemente utilizada en la actualidad es la fotocatálisis heterogénea, ya que ha demostrado ser una potente arma para la degradación de contaminantes emergentes y de colorantes. Dicha técnica requiere de un fotocatalizador (semiconductor) que se activa al recibir radiación en una determinada longitud de onda.

Recientemente, el g-C_3N_4 se ha convertido en uno de los mejores fotocatalizadores con los que se cuenta, debido a su buena eficiencia, alta estabilidad fisicoquímica y bajo costo [3]. Sin embargo, investigaciones han demostrado que, al hacer compositos de este polímero con otros fotocatalizadores, se presenta una sinergia entre ambos para dar lugar a una eficiencia.

Se busca encontrar la mejor relación del composito mezclando g-C_3N_4 con un óxido simple, el Sb_2O_3 para poder “catapultar” las propiedades de cada uno y tener un mejor desempeño fotocatalítico. Investigaciones previas afirman que utilizando solamente Sb_2O_3 presenta una baja actividad fotocatalítica debido a su band gap [4], pero al desarrollarlo en forma de composito busca facilitar la separación de cargas y conducir a un mejor comportamiento fotocatalítico.

Metodología

Preparación de los materiales

Para obtener g-C_3N_4 se calcino Melamina ($C_3H_6N_6$) a 550°C por 4.5 h en un crisol de porcelana. Una vez obtenido el nitruro de carbono (g-C_3N_4) se procedió a preparar los compositos.

Para el caso de Sb_2O_3, se mezcló físicamente con g-C_3N_4 en un mortero de ágata en diversas proporciones en porcentaje en peso (g-C_3N_4 /Sb_2O_3), mediante una molienda vigorosa hasta obtener un material homogéneo.

Caracterización

La caracterización estructural de los compositos fue llevada a cabo por análisis de distracción de rayos x (Bruker D8 advanced difractometer con radiación (λ=1.5418 Å) equipado con un detector de alta velocidad Vantec). Los datos de difracción de rayos X de las muestras fue recolectado en el rango de 2θ de 10-70° con una velocidad de 0.05°s^{-1}.

Los análisis de morfología y de tamaño de partícula de las muestras fueron investigadas por microscopio electrónico de barrido (SEM, JEOL Instruments model JSM 6490).

La energía de banda prohibida (E_g) se determinó por medio de UV-Vis a través de los espectros de reflectancia difusa de las muestras de g-C3N4, Sb2O3 y compositos (UV–Vis NIR espectrofotómetro Cary 500 equipada con una esfera integradora).

 ISSN: 2007 8102

El área superficial BET de los compositos fue calculada utilizando un equipo de fisisorción de N2 BELSORP-mini II. Se utilizó espectroscopia por FTIR para verificar la presencia de g-C_3N_4 en cada composito.

Prueba fotocatalíticas

El reactor fotoquímico empleado en este trabajo consiste en un vaso de borosilicato rodeado por una corriente de agua para mantener la temperatura en 25 °C ± 1°C. Una lámpara 35W Xe fue utilizado para simular la radiación solar.

La fotoactividad del g-C_3N_4, Sb_2O_3 y los compositos fueron evaluados en la degradación de la molécula orgánica acetaminofén en solución acuosa a una concentración de 15 $mg.L^{-1}$. Se utilizó una relación (1:1) entre el fotocatalizador y la solución problema. La solución permaneció 1 h en la oscuridad para asegurar el equilibrio adsorción-desorción del compuesto orgánico sobre la superficie del fotocatalizador. Después de este tiempo, la lámpara fue encendida. Durante la reacción, alícuotas de la solución fueron tomadas para monitorear la degradación del compuesto durante 4 h. Finalmente, la solución filtrada fue evaluada en el espectrofotómetro UV-vis.

Resultados y discusión

La estructura cristalina del g-C_3N_4, Sb_2O_3 y los compositos fueron seguidos por el patrón de difracción de rayos-X. La figura 1 muestra el patrón de difracción de rayos X de g-C_3N_4, Sb_2O_3 y los compositos a diferentes relaciones en peso.

Todos los compositos presentan las reflexiones localizados en 2θ= 14°, 27.69°, 32°, 35°, 45.98°, 54.52°, 57.17°, 59.1°, que correspondes a la presencia del Sb_2O_3. Por el lado, el g-C_3N_4, presenta la reflexión en 2θ=13.12° y 27.2° correspondiente a la obtención de este compuesto de acuerdo a lo reportado en literatura.

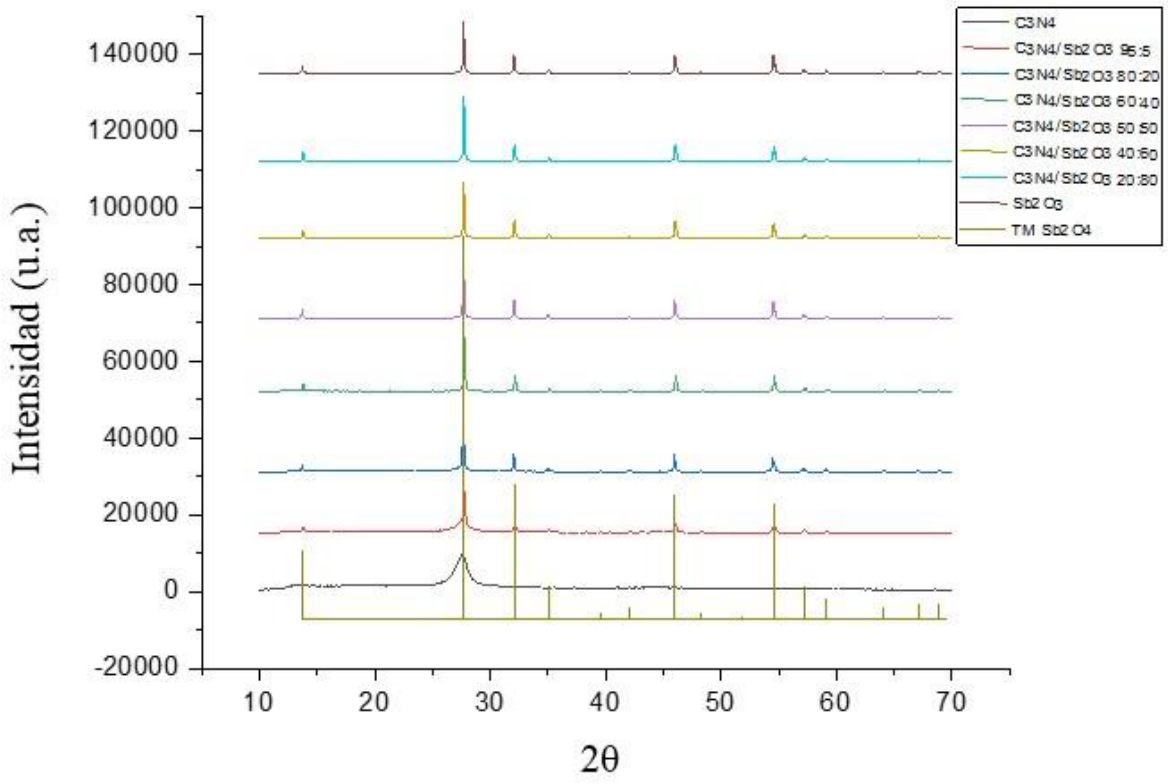


Figura 1. Patrón de difracción de rayos-X de los compositos diferentes relaciones en pesos de g-C_3N_4/Sb_2O_4

 ISSN: 2007 8102

La figura 2 muestra el espectro de IR de las muestras cuyos compositos, tienen por debajo del 90% en peso del g-C_3N_4. Esto se hizo principalmente para verificar que en cada composito exista adecuadamente el nitruro de carbono.

Como se puede apreciar en la parte izquierda de los registros puede observarse como los picos a 3400 and 3100 cm^{-1} que corresponden, respectivamente, a las vibraciones de tensión asimétrica y simétrica de los grupos NH2 [5]. Además, el pico en 1409 cm^{-1} puede corresponder a la elongación (C-N) de los nitrógenos terciarios en medio del anillo de tris-s-triazina, y el situado a 1226 cm^{-1} correspondería a nitrógenos secundarios [6]. De acuerdo a los observado en los espectros de IR podemos confirmar que el g-C_3N_4 está presente en cada composito.

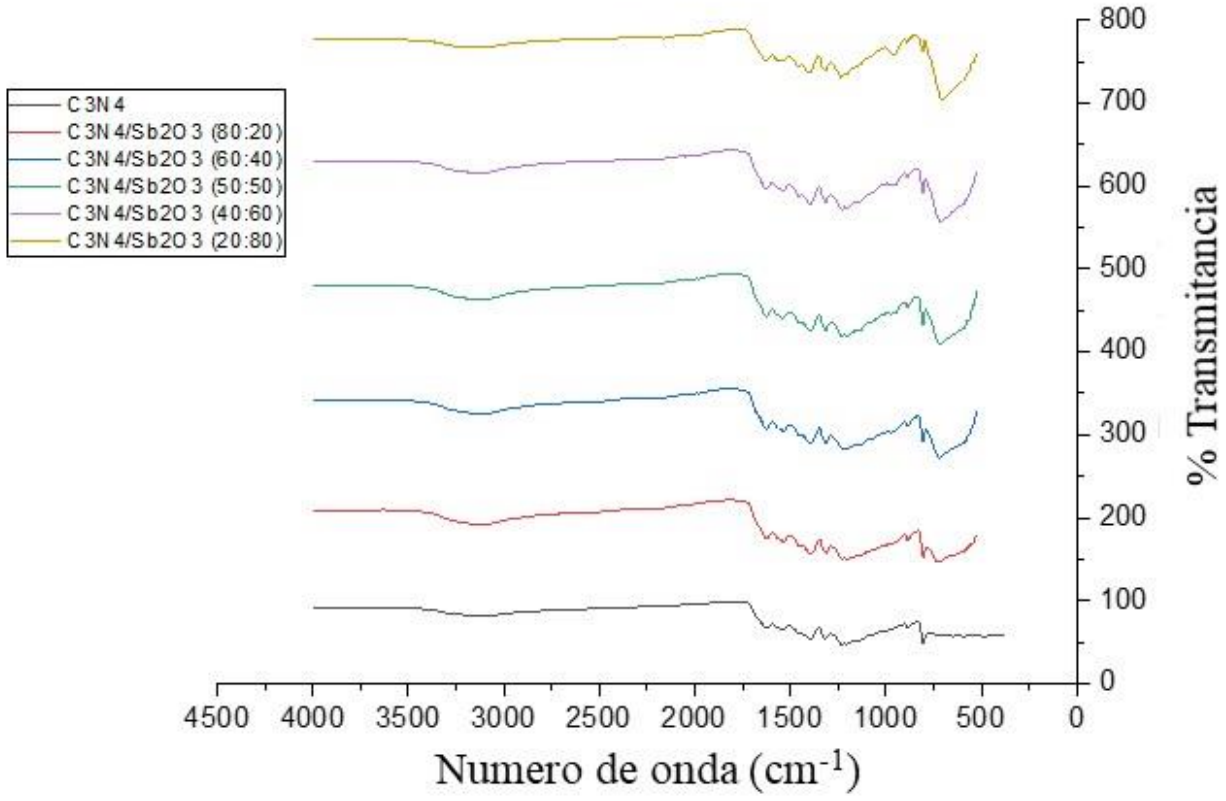


Figura 2. Espectros de IR de los compostios de g-C_3N_4/Sb_2O_3

La morfología fue analizada a través de SEM como se muestra en la figura 3. En las imágenes podemos observar que la morfología del g-C_3N_4 es un poco más homogénea, plana y pura que las demás. Además, se aprecia que el tamaño del g-C_3N_4 es un poco grande comparado con los compositos. Sin embargo, al aumentar la relación del Sb_2O_3 en el composito, el tamaño de partícula predominante se vuelve más pequeño y menos homogéneo.

 ISSN: 2007 8102

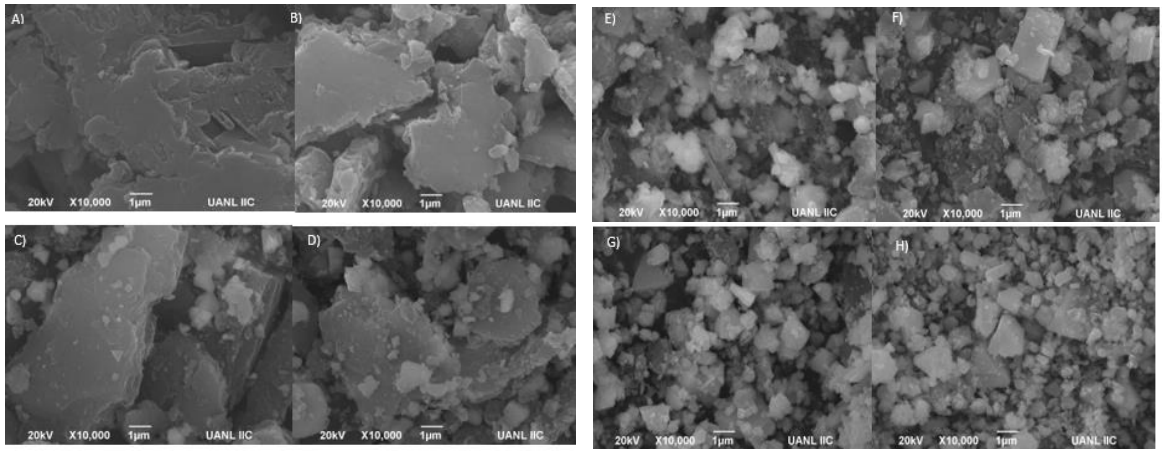


Figura 3. Imágenes de SEM de: a) g-C_3N_4 b) g-C_3N_4 /Sb_2O_3 (95:5) c) g-C_3N_4 /Sb_2O_3 (80:20) d) g-C_3N_4 /Sb_2O_3 (60:40) e) g-C_3N_4 /Sb_2O_3 (50:50) f) g-C_3N_4 /Sb_2O_3 (40:60) g) g-C_3N_4 /Sb_2O_3 (20:80) h) Sb_2O_3

Trabajo a futuro

1. Determinación del Eg

La energía de banda prohibida (E_g) se determinará por medio de los espectros de UV-Vis de reflectancia difusa de las muestras preparadas utilizando un espectrofotómetro UV-Vis NIR Cary 500 equipada con una esfera integradora. El valor de energía de banda prohibida (E_g) se calculará mediante una transición directa por una extrapolación de línea recta a la pendiente del eje "x", utilizando la siguiente ecuación: $E_g=1240/\lambda_g$, donde λ_g es la longitud de onda de máxima absorción [7].

2. Determinación del área superficial BET

El área superficial BET de los compositos será determinada mediante los isotermas de adsorción-desorción a través del método e fisisorción de N_2 utilizando un analizador de superficie y poros JAPAN BELSORP-mini II.

3. Pruebas fotocatalíticas

Para las pruebas fotocatalíticas se utilizará un reactor echo en casa el cual consiste en un recipiente de vidrio rodeado por una chaqueta de enfriamiento para control e la temperatura en 25 °C ± 1°C durante las pruebas. Una lámpara 35W Xe de 6000 K fue utilizado para simular la radiación solar. La fotoactividad de las materiales será evaluada en la degradación de la molécula orgánica acetaminofén en solución acuosa, utilizando una concentración de 15 mg.L^{-1}. Para el desarrollo de las pruebas se utilizará una relación (1:1) entre el fotocatalizador y la solución problema. Durante las pruebas la solución modelo del contaminante se dejará 1 h en la oscuridad para asegurar el equilibrio adsorción-desorción del compuesto orgánico sobre la superficie del fotocatalizador. Después de este tiempo, la lámpara será encendida. Durante la reacción, alícuotas de la solución se tomarán para monitorear la degradación del compuesto durante 4 h. Las muestras serán evaluadas en un espectrofotómetro UV-vis.

Conclusiones

Los compuestos de g-C_3N_4, Sb_2O_3 y compositos fueron obtenidos satisfactoriamente mediante un método de molienda convencional satisfactoriamente. Se determinó una morfología en forma de láminas delgadas por parte del nitruro de carbono y partículas pequeñas por parte del óxido de antimonio.

ISSN: 2007 8102

Agradecimientos

El autor desea agradecer a la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) por su invaluable apoyo.

Referencias

1. Acevedo, R. Severiche, C. Jaimes, J. Efectos tóxicos del paracetamol en la salud humana y el ambiente. Agraria y ambiental (2017) 2-8.
2. Correa, P. Los ríos colombianos también están llenos de acetaminofén. El espectador (2018).
3. Martin, R. Nitruros de carbono grafénicos y composites g-C_3N_4/grafeno como catalizadores para la generación de hidrógeno por fotólisis del agua, Universidad de Valladolid (S.A) 4-7.
4 Hua, G. Preparation of novel Sb_2O_3/WO_3 photocatalysts and their activities under visible light irradiation. Elsevier. (2013) 2-3.
5. Sanchez, D. Facile preparation of $KBiO_3$/g-C_3N_4 composites with microwave irradiation for photocatalytic hydrogen production. Society of Chemical Industry. (2019) 1-3.
6. Hong, Y. Facile fabrication of α-Fe2O_3/porous g-C_3N_4 heterojunction hybrids with enhanced visible-light photocatalytic activity. Materials Chemistry and Physics (2019) 1-4.
7. N. Rungjaroentawon, S. Onsuratoom, S. Chavadej, Hydrogen production from water splitting under visible light irradiation using sensitized mesoporous-assembled TiO_2-SiO_2 mixed oxide photocatalysts, International Journal of Hydrogen Enwrgy 37 (2012) 11061-11071.

 ISSN: 2007 8102

Modificación de ácido poliláctico con nanotubos de TiO_2 para envasado y embalaje de alimentos

Raquel Eunice Hernández Ramírez[1], Lilia A. Ríos Alducin[1], Susana Lezama Álvarez[1],*
[1]Tecnológico Nacional de México-Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco rage_caz@hotmail.com, eunice@tesco.edu.mx; lilia_iam@tesco.edu.mx; susana_subc@tesco.edu.mx

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

Este trabajo fue realizado con la finalidad de crear un nuevo material biodegradable de ácido poliláctico modificado con 2% de nanotubos de dióxido de Titanio para su uso en envases y embalajes para alimentos, como alternativa a los materiales convencionales no biodegradables empleados para este campo.
Se realizaron diversos ensayos para estudiar las propiedades térmicas, mecánicas y barrera del material para determinar la adecuación del mismo en su aplicación.
Para el estudio de las propiedades térmicas se realizaron ensayos de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC METTLER-TOLEDO 823E) y Difracción de Rayos X (DRX A-BRUKER D8), así como para las propiedades mecánicas se realizaron ensayos de tracción (ESTENSOMETER DX 2000MTS) y de microdureza (HXD-1000TM) y por último se realizaron ensayos de permeabilidad dentro de las propiedades barrera.

***Palabras clave**: APL- Nanotubos TiO_2, propiedades térmicas, propiedades mecánicas, propiedades barrera.*

Abstract

This work was conducted in order to create a new biodegradable material polylactic acid modified with 2% titanium dioxide nanotubes for use in food packaging as an alternative to conventional non-biodegradable materials used for this field.
Various tests were performed to study the thermal, mechanical and barrier properties of the material to determine the adequacy of the same in their application.
To study the thermal properties tests Differential Scanning Calorimetry (DSC METTLER-TOLEDO 823E) and X-Ray Diffraction (XRD A-BRUKER D8) were performed and the mechanical properties for tensile tests (ESTENSOMETER DX 2000MTS) were performed and microhardness (HXD-1000TM) and finally permeability tests were performed within barrier properties.

***Key words**: PLA- TiO_2 Nanotubes, thermal properties, mechanical properties, barrier properties.*

Introducción

El uso de polímeros procedentes de fuentes no renovables ha supuesto un gran impulso para el desarrollo humano a nivel mundial, sin embargo, el uso de materiales no degradables para la fabricación de artículos desechables no supone una buena opción, y se hacen necesarias otras alternativas para la gestión de residuos de plástico. El ácido poliláctico (APL) que se obtiene por polimerización del ácido láctico obtenido de fuentes renovables, por fermentación de carbohidratos, es uno de los bioplásticos con mayor potencial para sustituir a los plásticos convencionales porque se biodegrada fácilmente contribuyendo a la disminución de la contaminación y porque puede procesarse mediante los procesos convencionales utilizados para termoplásticos como extrusión o inyección, lo que lo hace apropiado para su empleo en la fabricación de envases y embalajes para alimentos [1-3]
El ácido poliláctico es un termoplástico que se obtiene a partir del almidón, caña de azúcar, mandioca, etc. Su fórmula estructural se muestra en la Figura 1.

 ISSN: 2007 8102

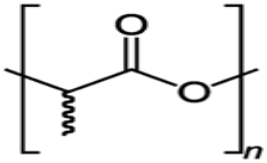


Figura 1 Fórmula estructural del ácido poliláctico

El ácido láctico o acido 2-hidroxipropanoico es el ácido carboxílico más simple con un átomo de carbono asimétrico. La temperatura de transición vítrea del APL está en el rango de 50 a 80 ºC mientras que la temperatura de fusión se encuentra en el rango de 130 a 180 ºC. Se puede obtener en sus formas L (+) o D (-). El ácido láctico tiene tendencia a formar la lactona y a partir de ésta mediante polimerización por apertura de anillo se obtiene el polímero. Las formas PLLA y PDLA son semicristalinas mientras que la forma meso PLDLA es amorfa, por tanto controlando la proporción de L y D, es posible obtener diferentes tipos de polímeros con diferente capacidad de cristalizar, y por tanto, con diferentes propiedades mecánicas[4-7].
En este trabajo se preparó por extrusión tanto APL original apropiado para este proceso, como un material bioplástico a base de APL, modificado con nanotubos de dióxido de Titanio con el objetivo de determinar comparativamente sus propiedades térmicas, mecánicas y barrera, así como el proceso de envejecimiento del mismo para su aplicación en el campo de envases y embalaje de alimentos[8].

Metodología

Materiales

Los materiales empleados son; ácido poliláctico (APL) comercial para extrusión y nanotubos de dióxido de Titanio.

Preparación

Ácido Poliláctico

El PLA (biopolymer Ingeo™ 2003D) suministrado por NatureWorks LLC producto. Es un polímero termoplástico derivado de recursos renovables y diseñado específicamente para su uso en el envasado de alimentos frescos y utensilios para su uso en contacto con alimentos. El biopolymer Ingeo™2003D tiene un contenido en isómero D de 6%, se expende en forma de granza transparente y se utiliza como homopolímero, formando mezclas con otros polímeros y/o materiales compuestos con diferentes tipos de cargas.

Este es un biopolímero de alto peso molecular, grado que se procesa fácilmente en un equipo de extrusión convencional.

Nanotubos de dióxido de titanio

El precursor de los nanotubos fueron nanoesferas de TiO_2 sintetizadas por el método sol-gel en la Universidad de Santiago de Chile, Chile. Los nanotubos se obtuvieron por el método hidrotérmico. Nanoesferas de TiO_2 (2,5 g) se mezclaron con 125 mL de NaOH (10M), y la mezcla se colocó en un recipiente de teflón cerrado a 110 ºC durante 24 h, agitando cada hora. Después, la suspensión obtenida se lavó varias veces con agua destilada (4 L) y se filtró para separar el polvo. A continuación, 150 mL de 0,1 M HNO_3 se añadieron al polvo y se mezclaron durante 24 h. La suspensión formada se lavó con 1 L de agua destilada. Finalmente, las nanopartículas filtradas se calcinaron a 200 ºC durante 4 h [9].

Desarrollo

El ácido poliláctico (APL) y los nanotubos de dióxido de titanio fueron secados en una estufa de vacío, posteriormente se procesó en una extrusora ácido poliláctico (PLA) y ácido poliláctico (APL) modificado con un 2% en peso de nanotubos de dióxido de Titanio, una vez obtenido el material, se enrolló en un cilindro y se dejó secar a temperatura ambiente y finalmente se cortó con pinzas en trozos menores a 1 cm de longitud.

ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Análisis de transiciones térmicas en APL original, APL extruido y APL modificado con nanotubos de dióxido de Titanio.

La figura 2 muestra el comportamiento en el proceso de calentamiento de las muestras, el APL seco, corresponde al APL original, presentó en torno a 60 °C la temperatura de transición vítrea, acompañada de una pequeña endoterma debido al fenómeno de envejecimiento. Comportamiento similar muestran el APL extruido y el APLTiO_2. En estos dos últimos la T_g no presenta el fenómeno de envejecimiento asociado a la T_g, como consecuencia probablemente del menor tiempo de estos a temperatura ambiente.
Este tratamiento térmico conduce a muestras que cristalizan y por tanto presentan una endoterma asociada a la fusión de los cristales formados. (Ver datos en Tabla 1). Previamente a la fusión principal hay una pequeña endoterma asociada a una forma inestable que funde y recristaliza en otra más perfecta, esta pequeña endoterma se asocia a cristales imperfectos denominados α' que se generan a temperaturas de cristalización bajas (en torno a 90 o 100 °C) y al seguir calentando se transformaron en su forma más ordenada denominada α. Esta temperatura es la utilizada para secar las muestras.

En la Figura 3 se muestran los resultados del segundo proceso de fusión de las muestras que fueron enfriadas desde el fundido a 5 °C/min. En primer lugar, se detectó la temperatura de transición vítrea en torno a 60 ºC, al seguir calentando, se pudo apreciar un proceso de cristalización en frío, T_{cc}, indicando que el polímero no cristalizó en el proceso de enfriamiento desde el fundido. Al seguir calentando, los cristales que se formaron durante el calentamiento fundieron a temperatura de 145 a 155 °C (ver Tabla 2). La muestra de APL extruido en la segunda fusión presenta un comportamiento bimodal, debido a procesos de fusión recristalización o a la transformación de la forma α`a α. El APL con nanotubos de dióxido de titanio presentó un comportamiento intermedio al APL.

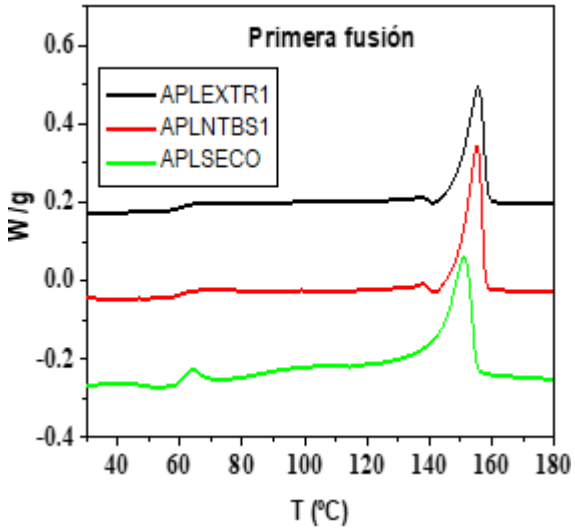


Figura 2. Primera fusión de ensayo de análisis de transiciones térmicas.

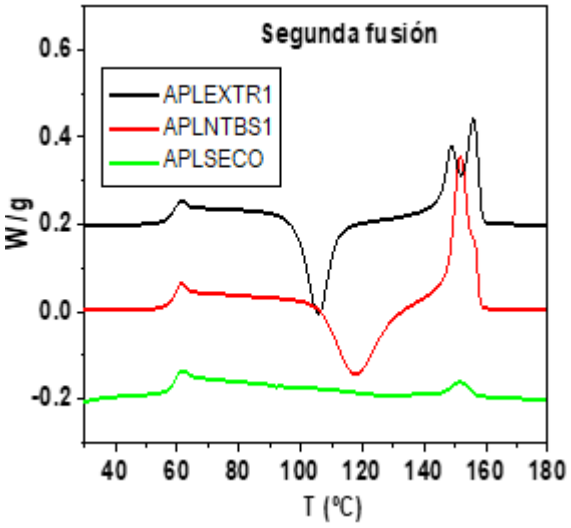


Figura 3. Segunda fusión de ensayo de análisis de transiciones térmicas.

Tabla 1. Tabla de datos correspondientes a la primera fusión del ensayo de análisis transiciones térmicas.

Muestra	T_g (°C)	ΔH (J/g)	f_c	T_{m1} (°C)	T_{m2} (°C)
APL SECO	60	61.68	0.68	140.0	151
APL EXTRUIDO	59	28.32	0.32	138.0	155.4
APL NTBS TIO_2	60	29.04	0.32	138.0	155.1

 ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Tabla de datos correspondientes a la segunda fusión del ensayo de análisis de transiciones térmicas.

Muestra	T_g (°C)	ΔH (J/g)	f_c	T_{m1} (°C)	T_{m2} (°C)
APL SECO	59	19.01	0.20	151.31	-
APL EXTRUIDO	58	23.90	0.26	148.87	155.7
APL NTBS TIO_2	58	21.65	0.23	151.86	156.2

Difracción de rayos X (DRX)

El difractográma (Figura 4) que se muestra a continuación confirma los resultados de los termográmas analizados anteriormente, que revelan que el APL extruido y el APL con nanotubos de dióxido de Titanio, ambos con tratamiento térmico Q son amorfos, así mismo el difractómetro de rayos X muestra el halo amorfo en ambos materiales. Sin embargo no se observa el halo perteneciente a los nanotubos de TiO_2, ambos halos parecen ser semejantes, esto pudiera deberse a que la parte del material de APL con nanotubos de TiO_2 donde se realizó el ensayo no tuviera los nanotubos.

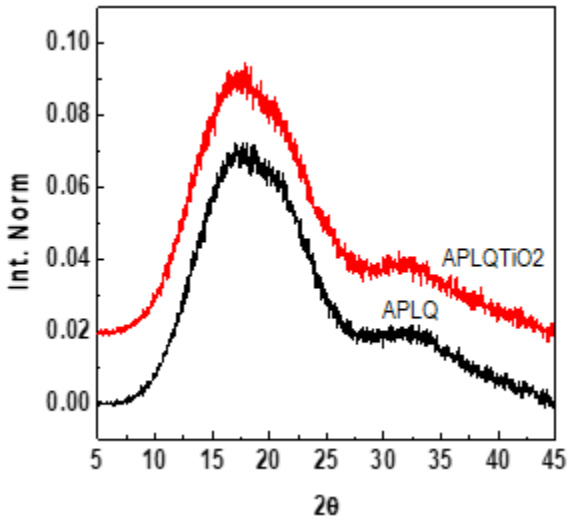


Figura 4. Difractográma de APL Q y APL con nanotubos de dióxido de Titanio.

Ensayo esfuerzo deformación

Las propiedades mecánicas del APL se estudiaron mediante ensayos esfuerzo-deformación a una velocidad de estirado, Ve, de 10 mm/min o velocidad de deformación de 0.67 min^{-1}. Los procesos de tracción son función de la velocidad de deformación que es la velocidad de estirado dividido de la distancia inicial entre mordazas, Ve/Li. En estos ensayos la Li=15 mm. Dichos ensayos se muestran en las Figuras 5 y 6 para el APL extruido y el APL con nanotubos de dióxido de titanio, estos con tratamiento térmico Q, y los resultados se muestran en la tabla 3.

De la pendiente de las gráficas se determinó el módulo elástico o módulo de Young a bajas deformaciones (~ al 2% de deformación), es una medida de la resistencia del material a ser deformado. Posteriormente se determinó el esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo donde el material pasa de un comportamiento elástico a plástico. Es decir pasado dicho punto, si cesa la fuerza que produce la deformación, el material no recupera su forma inicial.

 ISSN: 2007 8102

Aunque como los materiales poliméricos son viscoelásticos siempre hay una pequeña recuperación. En este punto se formó un estrechamiento o cuello (Figura 6) posteriormente se propaga el cuello, el esfuerzo se mantuvo constante y finalmente se alcanzó la rotura de la muestra. En el caso del APL con nanotubos de dióxido de titanio las muestras rompen, en el esfuerzo de fluencia no hubo propagación del cuello. Esto puede ser debido a una mayor rigidez de la muestra o mala interacción entre la matriz y las partículas.

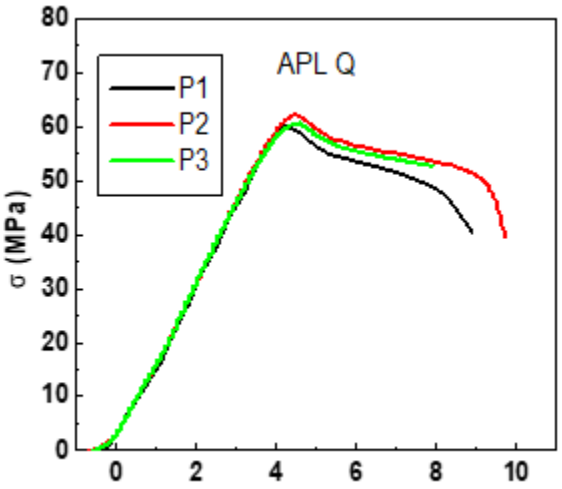


Figura 5. Ensayo de tracción de diversas muestras de APL Q.

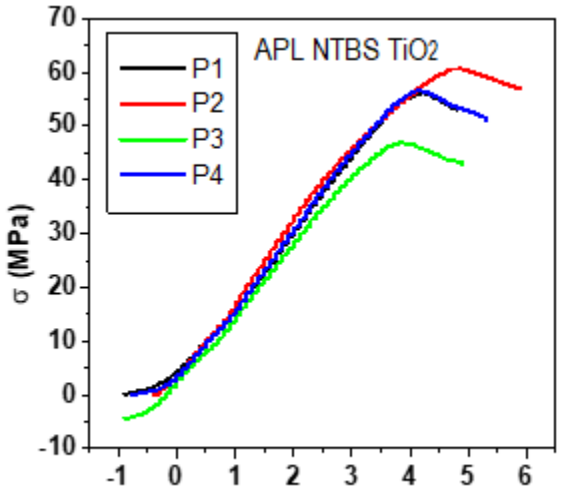


Figura 6. Ensayo de tracción de diversas muestras de APL con nanotubos de dióxido de titanio.

Tabla 3. Resultados de ensayo de tracción correspondientes a la gráfica de la Figura 5

Muestra	E (MPa)	σ_y (MPa)	ε_y (%)	σ_B (MPa)	ε_f	Tenacidad
p1	1,453	60.23	4.38	34.24	180	969.82
p2	1,503	62.06	4.50	37.88	9.96	122.72
p3	1,510	60.70	4.52	52.71	7.90	52.20

De acuerdo a los resultados mecánicos de tracción, la modificación del APL con nanotubos de TiO_2, aumentó la rigidez del APL original [10]. Asimismo, se observó una disminución en el valor del módulo de Young en el caso del APL modificado, lo que mostró un material de menor dureza con respecto al APL sin modificar (tabla 4).

Tabla 4. Resultados de ensayo de tracción correspondientes al gráfica de la Figura 6.

Muestra	E (MPa)	σ_y (MPa)	ε_y (%)	σ_B (MPa)	ε_f	Tenacidad
p1	1,470	56.1	4.2	53.1	4.7	25.54
p2	1,481	60.7	4.8	56.8	6.0	36.76
p3	1,362	46.9	3.8	42.7	4.9	23.22
p4	1,492	56.5	4.1	50.9	5.4	29.60

ISSN: 2007 8102

Microdureza en probeta de tensión

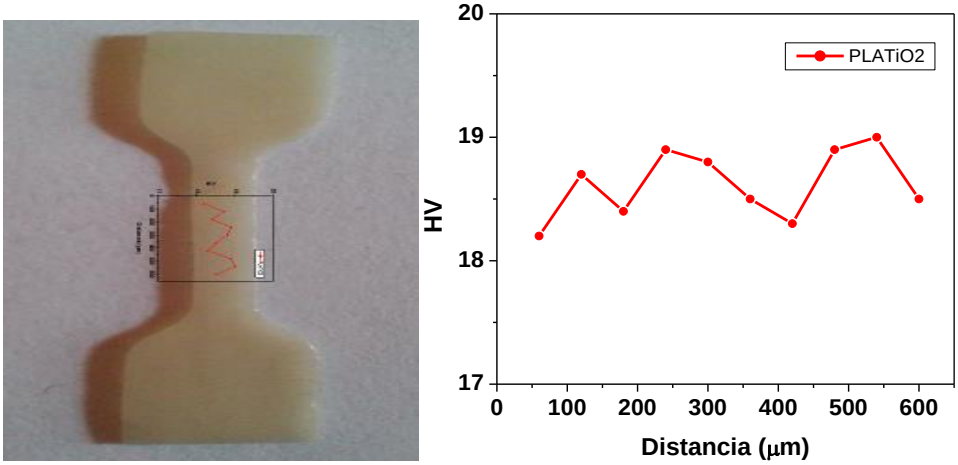


Figura 7. Perfil de microdureza en probeta para ensayo de tracción

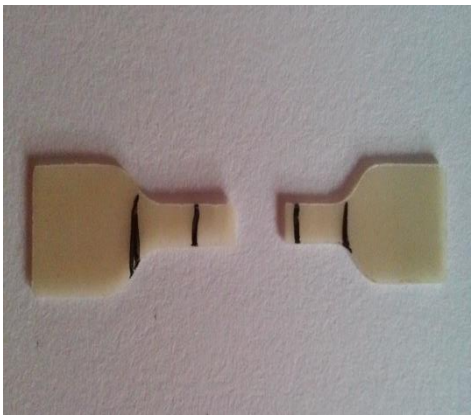


Figura 8. Probeta después de ensayo de tracción

En la figura 7 se puede observar el perfil de microdureza aplicado a la probeta de tracción, antes del ensayo y en la figura 8 se ve la rotura de la probeta después del ensayo de tracción. La rotura ocurrió, precisamente en la zona donde la microdureza fue mayor, ya que hay mayor fragilidad en esta zona. En el APL con nanotubos de TiO_2 la dureza oscila entre 18 y 19 HV, por lo tanto la rotura de la probeta es uniforme.

En la siguiente gráfica (Figura 9) se muestran los resultados de la microdureza, donde se tomó un perfil de medidas de cada material, estos resultados muestran que la modificación de PLA con nanotubos de TiO_2 hace al material más deformable bajo el esfuerzo del indentador; puesto que estos resultados de microdureza están relacionados con la respuesta plástica del material y considerando los resultados de las curvas esfuerzo-deformación, la modificación del APL con nanotubos de dióxido de Titanio, mejoró la deformación plástica del APL.

 ISSN: 2007 8102

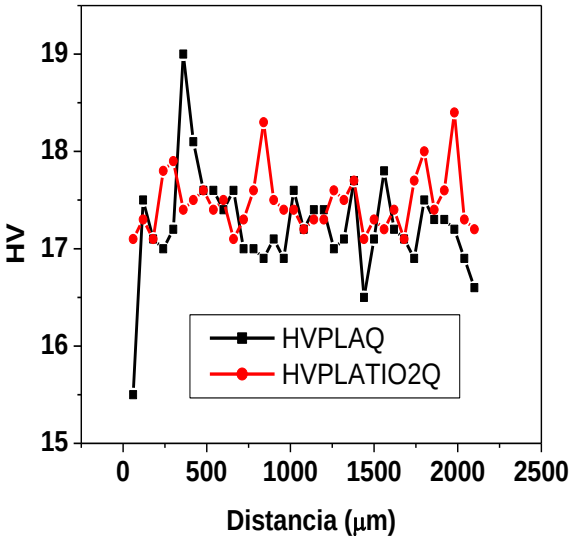


Figura 9. Grafica de microdureza del APL Q y APL con nanotubos de dióxido de titanio Q

Propiedades barrera

Se prepararon filmes de APL extruido y APL con nanotubos de dióxido de Titanio con un espesor de 100 a 200 µm en una prensa hidráulica a 80 ºC y 80 bares de presión, enfriados rápidamente desde el fundido (Q), entre platos de agua fría bajo presión en la prensa. Con los filmes obtenidos se cortaron membranas de 47 mm de diámetro y se realizaron ensayos de permeabilidad a 30, 40 y 50 °C. Los ensayos de permeación muestraron que la permeabilidad, P, el coeficiente de difusión, D, y la solubilidad, S, de las muestras de APL modificado con un 2% de nanotubos de TiO_2 es ligeramente mayor que la del APL. No parecen apreciarse diferencias importantes en la selectividad (tablas 5-10).

Tabla 5. Permeabilidad del APL a 30°C

		APL		T= 30 °C
Gas	**Presión (bar)**	**D (m^2/s)**	**S ($mol/Pa.m^3$)**	**P (Barrer)**
N_2	1.94	1.81 E-12	1.91 E-05	0.10
O_2	1.94	2.08 E-12	4.43 E-05	0.28
CO_2	1.95	3.82 E-13	4.28 E-04	0.49

Tabla 6. Permeabilidad del APL a 40°C

		APL		T= 40 °C
Gas	**Presión (bar)**	**D (m^2/s)**	**S ($mol/Pa.m^3$)**	**P (Barrer)**
N_2	1.95	2.35 E-12	2.20 E-05	0.15
O_2	1.95	2.47 E-12	5.03 E-05	0.36
CO_2	1.95	4.02 E-13	5.91 E-04	0.69

 ISSN: 2007 8102

Tabla 7. Permeabilidad del APL a 50°C

APL T= 50 °C				
Gas	**Presión (bar)**	**D (m^2/s)**	**S ($mol/Pa.m^3$)**	**P (Barrer)**
N_2	1.95	2.53 E-12	2.59	0.19
O_2	1.95	2.71 E-12	6.49	0.51
CO_2	1.95	4.17 E-12	6.75	0.82

Tabla 8. Permeabilidad del APL modificado con nanotubos de TiO_2 a 30°C

APL NTBS TIO_2 T= 30 °C				
Gas	**Presión (bar)**	**D (m^2/s)**	**S ($mol/Pa.m^3$)**	**P (Barrer)**
N_2	1.95	2.03 E-12	1.70 E-05	0.11
O_2	1.95	2.50 E-12	3.67 E-05	0.28
CO_2	1.95	4.10 E-13	4.94 E-04	0.60

Tabla 9. Permeabilidad del APL modificado con nanotubos de TiO_2 a 40°C

APL NTBS TIO_2 T= 40 °C				
Gas	**Presión (bar)**	**D (m^2/s)**	**S ($mol/Pa.m^3$)**	**P (Barrer)**
N_2	1.95	2.48 E-12	2.50 E-05	0.18
O_2	1.95	3.04 E-12	4.54 E-05	0.40
CO_2	1.95	4.97 E-12	4.93 E-05	0.71

Tabla 10. Permeabilidad del APL modificado con nanotubos de TiO_2 a 50°C

APL NTBS TIO_2 T= 50 °C				
Gas	**Presión (bar)**	**D (m^2/s)**	**S ($mol/Pa.m^3$)**	**P (Barrer)**
N_2	1.95	2.84	2.91 E-29	0.24
O_2	1.95	3.51 E-12	6.09 E-05	0.62
CO_2	1.95	5.81 E-12	6.07 E-05	1.02

Trabajo a futuro

Realizar pruebas de biodegradabilidad e inhibición bacteriana.

Conclusiones

- El proceso de envejecimiento entálpico favorece la cristalinidad del APL modificado con nanotubos de TiO_2
- A medida que se aumenta la velocidad de calentamiento, las regiones cristalinas disminuyen su estabilidad térmica, esto puede ser debido a la disminución de la longitud de las cadenas poliméricas, ocasionada por el procesado mecánico. También puede indicar un empaquetamiento cristalino diferente, causado por la rotura de cadenas o por una recristalización que origine zonas menos empaquetadas.

- Se comprobó que por debajo de T_g el polímero no cristaliza, solo por encima de T_g alrededor de 90 °C.
- El secado de los materiales por encima de 80 °C favorece las propiedades ópticas y la tenacidad del material, ya que este se muestra amorfo.
- El polímero es capaz de cristalizar cuando se inicia un calentamiento a una temperatura por debajo o encima de T_g, mostrando picos de cristalización y fusión recristalización semejantes ya que las fuerzas intermoleculares entre cadenas poliméricas son relativamente débiles y pueden vencerse térmicamente.
- El APL muestra un valor muy bajo de cristalización, lo que indica que la presencia de la forma D inhibe el proceso de cristalización.
- La modificación del APL con nanotubos de dióxido de titanio, disminuye el módulo elástico o módulo de Young y disminuye la tenacidad.
- La adición de nanotubos de dióxido de titanio mejora la deformación plástica del APL.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento con los proyectos 642.18-PD y 8487.20-PD.

Referencias

[1] Auras R., Harte B., Selke S. “An overview of polylactides as packaging materials”, Macromol Biosci 4, 835–64 (2004).

[2] Fonseca C., García B., Martín L., Ochoa A., Flores A., Ania F. “Thermal and mechanical properties of recycled poly(lactic acid)”, XIII Congreso GEP, 7-10 Septiembre Gerona (2014).

[3] Fonseca C., Saez M., Ochoa A., Ulloa M.T., Zapata P.A. “Preparations and Characterizations of Polylactic Acid (PLA) / TiO2 Composites”, Macro 7-11 Julio, Tailandia (2014).

[4] Jamshidian M., Arab E., Imran M., Jacquot M., Desobry S. “Poly-LacticAcid:Production, Applications, Nanocomposites and Release Studies” Institute of food technologist (2010).

[5] Pan P., Yoshio I. “Polymorphism and isomorphism in biodegradable polyesters”, Progress in Polymer Science 34, 605–640 (2009).

[6] Paul M.A., Delcourt C., Alexandre M., Degée Ph., Monteverde F., Dubois Ph. “Polylactide/montmorillonite nanocomposites: study of the hydrolytic degradation”, Polymer Degradation and Stability 87, 5 35–42 (2005).

[7] Rasal R.M., Janorkar A.V., Hirta D.E. “Poly(lactic acid) modifications” .Progress in Polymer Science 35, 338–356 (2010).

[8] Yasuniwa M., Sakamo K., Ono Y., Kawahara W. “Melting behavior of poly(L-lactic acid): X-ray and DSC. Analyses of the melting process” Polymer 49, 1943-1951 (2008).

[9] Yañez D., Guerreroc S., Lieberwirthd I., Ulloa M-T., Gomez T., Rabagliati F.M., Zapata P.A. “Photocatalytic inhibition of bacteria by TiO2 nanotubes-doped polyethylene composites”. Applied Catalysis A: General 489, 255–261 (2015).

ISSN: 2007 8102

[10] Flores A., Ania F., Balta–Calleja F.J. “From the glassy state to ordered polymer structures: A microhardness study”, Polymer 50, 729–746 (2009).

 ISSN: 2007 8102

Comparativa de metabolitos secundarios entre kiwi (*Actinidia deliciosa*) producido en Huatusco Veracruz y especies comerciales

María Elizabeth Márquez-López[1], Odón Castañeda-Castro[1], Miriam Cristina Pastelín-Solano[1], Marina Guevara-Valencia[1], Tania Marín-Garza[1]*,*
Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Prolongación de Oriente 6 No. 1009. Orizaba, Veracruz, México. C. P. 94340.
**Autor de correspondencia *tamarin@uv.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

El kiwi es una fruta con alto consumo en México. Actualmente todo el kiwi que se consume en México es de importación, por ello el interés de cultivarlo en zonas de México. El objetivo de este estudio fue evaluar el contenido de metabolitos secundarios por medio de un perfil por Cromatografía de Gases acoplado a Masas (GC/MS), pH y contenido de humedad del kiwi Tropical Highland acondicionado a la zona de Huatusco, Ver., y dos variedades comerciales. Se identificaron 27 metabolitos en los frutos de las variedades de kiwi. se observó que los picos de los metabolitos en el Tropical Highland proveniente de Huatusco, fueron mayores que en las variedades comerciales, al igual que el pH y % de humedad fue mayor en esta variedad. El Kiwi Tropical Highland, *Actinidia chinensis* var. Deliciosa podría considerarse como un cultivo con posibilidades en las zonas montañosas de Veracruz.

***Palabras clave**: Cromatografía de gases, Polifenoles, Tropical Highland, Actinidia chinensis var. Deliciosa*

Abstract

Kiwifruit is a highly consumed fruit in Mexico. Currently, all the kiwifruit consumed in Mexico is imported, thus the interest of cultivating it in areas of Mexico. The objective of this study was to evaluate the content of secondary metabolites by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC/MS), pH, and moisture content of Tropical Highland kiwifruit grown in Huatusco, Ver., and two commercial varieties. Twenty-seven metabolites were identified in the fruits of the kiwifruit varieties. It was observed that the metabolite peaks in the Tropical Highland kiwifruit from Huatusco were higher than in the commercial varieties, as well as the pH and % moisture content were higher in this variety. It was observed that the Tropical Highland Kiwi, Actinidia chinensis var. Deliciosa could be considered a crop with possibilities in the mountainous areas of Veracruz

***Key words**: Gas chromatography, Polyphenols, Tropical Highland, Actinidia chinensis var. Deliciosa*

Introducción

El kiwi es fuente de betacaroteno y carotenoides, como luteína y zeaxantina, además de vitamina E, destaca su elevado contenido en vitamina C, asi como folatos y minerales entre los que se encuentran potasio, magnesio y cobre [1]. De acuerdo a una revisión general el consumo de la fruta se ha asociado a un menor riesgo de enfermedad cardiovascular y a una posible protección contra el cáncer de colon, la depresión y la enfermedad pancreática [2]. Se ha demostrado que el consumo de kiwi, debido al contenido de nutrientes, vitaminas C, E y K, ácido fólico, carotenoides, potasio y polifenoles así como fitoquímicos son benéficos al sistema respiratorio, reforzando el sistema inmunitario, los compuestos del kiwi, aumentan la fagocitosis y los niveles de inmunoglobulina, la actividad de las células asesinas naturales (NK), la activación de las células T y la producción de citoquinas [3].

 ISSN: 2007 8102

Italia, Nueva Zelanda, Chile y Grecia, son los principales productores, estos se encargan de reunir 82% de la producción mundial [1]. El fruto de kiwi verde (Actinidia chinensis var. deliciosa) que se consume en México es en su mayoría importado, se cultiva en países templados, y su cultivo en las tierras altas tropicales ha sido poco estudiado [4].

Uno de los principales problemas durante producción de kiwi, es el deterioro de la calidad del fruto, causado por la pérdida de firmeza y la presencia de pudriciones postcosecha que surgen durante el almacenamiento afectando su calidad, generando pérdidas económicas y aumentando el costo de venta del kiwi [1].

La producción comercial de kiwi en zonas tropicales de altura en países de Mesoamérica donde la producción de kiwi es inexistente, diversificaría el rendimiento frutícola de México, reduciría las importaciones de este fruto, seria accesible su consumo a personas de bajos recursos económicos. Por ello el objetivo de este trabajo fue evaluar los contenidos de los metabolitos secundarios por medio de un perfil obtenido por Cromatografía de Gases acoplado a un detector Masas (GC/MS), pH y el contenido de humedad del kiwi Tropical Highland acondicionado a la zona de Huatusco, Ver., y dos variedades del kiwi comercial (provenientes de Italia y de Chile) con la finalidad de comparar la calidad del fruto producido en la zona de Huatusco, Veracruz con variedades comerciales y su factibilidad de cultivo.

Metodología

Material vegetal

Se analizaron frutos maduros kiwis (*A. deliciosa*, variedad Hayward) comercial procedente de la región de Lazio, Italia (KI), de la región de O´Higgins, Chile, (KC) adquirido en un mercado local y frutos procedentes de un huerto experimental de la ciudad de Huatusco Veracruz (KH), generado en Veracruz, a partir de segregantes desarrollados por semillas del cv. Hayward (*Actinidia deliciosa*). La huerta se localizó en Huatusco, Veracruz, México (19º 11' 12.48" N, 97º 11' 13.75'' W), a una elevación de 1950 msnm.

Cuantificación de metabolitos secundarios

A 50 mg de pulpa triturada se añadieron 2 mL de disolvente acetona o metanol, el cual fue filtrado con discos para jeringa de 40 micras de poro para su posterior inyección en un cromatógrafo de gases acoplado a masas.

Parámetros instrumentales

Para la determinación de metabolitos secundarios se utilizó un cromatógrafo de gases (Thermo Fisher Scientific, Trace 1310, Rodano-Milan, Italia) acoplado a un espectrómetro de masas (Thermo Fisher Scientific, ISQ 7000 Osterode am Harz, Alemania), equipado con inyector automático (Thermo Fisher Scientific, TriPlus RSH, Rodano-Milan, Italia) y una columna TR-WAX 30 m x 0.32 mm x 0.50 µm (Thermo Fisher Scientific TRACE™ TR-Wax, Dreieich Alemania). Utilizando gas helio a un flujo de 1.5 mL-1 min., con una temperatura de 250 °C en el inyector y 230 °C, temperatura del horno 45 °C durante 5 minutos, hasta 250 °C con una razón de 3 °C/min, y se mantuvo allí durante 5 min. Volumen de inyección 2 µL, modo de inyección de splitless, modo flujo velocidad lineal, flujo en la columna 1.5 mL/min, velocidad lineal del gas 37,2 cm/s, gas de arrastre helio, temperatura de fuente de iones 260 °C, temperatura de interfase 280 °C, tiempo de inicio 3 min, tiempo de corrida 90 min, m/z inicial 30, m/z final 500.

Determinación de pH

Se realizó en un potenciómetro (Oakton, PC700, Massachusetts USA) con las soluciones reguladoras de pH 7.00 y 4.01. de acuerdo a la metodología descrita por Ma, (2021) [5].

Determinación de humedad

Se realizó de acuerdo al método de la AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 2005 [6], en donde de la muestra fresca, Se pesaron 5 g en papel de aluminio y se pusieron a secar a 105ºC hasta peso constante.

 ISSN: 2007 8102

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza con prueba de comparación de Tukey con el paquete estadístico SAS [7]

Resultados y discusión

Primeros resultados

Se encontraron principalmente derivados de polifenoles totales, al igual que vitaminas y ácidos orgánicos característicos del kiwi *Actinidia chinensis* var. Deliciosa., tras la detección analítica, los resultados de los principales componentes se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Compuestos identificados por cromatografía acoplado a masas en kiwi procedentes de tres lugares distintos.

N°	Compuesto	Categoría	Huatusco	Italia	Chile
1	Quercetina-3- O- rutinósido	Flavonoide	√	√	√
2	L-epicatequina	Flavonoide	√	√	√
3	Ácido clorogénico	Flavonoide	√	√	X
4	Eugenol	Flavonoide	√	√	√
5	Ácido protocatéquico	Fenólico	√	√	√
6	Fenol,2,2-metilenbis(6-(1,1-dimetiletil)-4-metil	Fenólico	√	√	√
7	Ácido cumárico	Fenólico	√	X	√
8	Ácido cafeíco	Fenólico	√	√	√
9	Salicilato de metilo	Fenólico	√	√	√
10	Alcohol 2,4-dimetilfenílico	Fenólico	√	√	√
11	Kaempferol 3-rutinoside	Fenólico	√	√	√
12	3-amino-2-oxazolidinona	Amina	√	√	√
13	Ácido piridínico-3-carboxílico	Vitamina	√	√	√
14	Ácido ascórbico	Vitamina	√	√	√
15	Ácido retinoico	Vitamina	√	√	√
16	Folato	Vitamina	√	√	√
17	Ácido piridínico-3-carboxílico	Vitamina	√	√	√
18	Ácido dehidroascórbico	Vitamina	√	√	√
19	5-metil-2-furancarboxaldehído	Acido derivado	√	√	√
20	Disulfuro de dimetilo	Acido derivado	√	√	√
21	Ácido málico	Ácido Orgánico	√	√	√
22	Ácido oxálico	Ácido Orgánico	√	√	√
23	Ácido cítrico	Ácido orgánico	√	√	√
24	Ácido quínico	Ácido Orgánico	√	√	√
25	2-deoxi-d-galactosa	Carbohidrato	√	√	√
26	4-hidroxi-4-metil-2-pentanona	Compuesto volátil	√	√	√
27	4-Hidroxi-4-metilpentan-2-ona	Compuestos de carbonilo	√	√	√

 ISSN: 2007 8102

Se observó que los resultados muestran ácidos orgánicos, polifenoles totales y diversas vitaminas en la composición de los kiwis.

Entre los principales componentes en los kiwis, los más abundantes son los ácidos orgánicos como el ácido ascórbico (Vitamina C), ácido retinoico (Vitamina E), ácido piridínico-3-carboxílico y ácido quínico. Esto concuerda con lo reportado por Chen [8], donde obtuvieron concentraciones altas de estos ácidos, cuya importancia radica en que el contenido de ácidos orgánicos como el ácido cítrico impacta en el sabor y la calidad de los frutos [9].

Los principales compuestos en el kiwi de variedad verde, son polifenoles totales como ácidos clorogénicos y Quercetina-3-O-rutinósido, que se derivada del ácido protaquetico [10], además de flavonoides como L-epicatequina, ácido cafeíco y Eugenol, así como diferentes fenoles y ácido málico [11].

Los polifenoles en el kiwi, son responsables de diversas actividades biológicas, como antioxidantes, y propiedades antiinflamatorias [12],

En la comparación de los perfiles de los metabolitos secundarios (Figura 1), se observan variaciones en las concentraciones de cada metabolito por especie. Puede ser debido a las diferencias entre los manejos o condiciones agroclimáticas de cada plantación y región, ejemplo de ello es el ácido ascórbico (pico 10), que tiene un comportamiento similar al descrito por McGhie [13], quien observó que el contenido de vitamina C, variaba en frutos de la misma especie cultivados en diferentes condiciones o con un manejo diferente de cultivo.

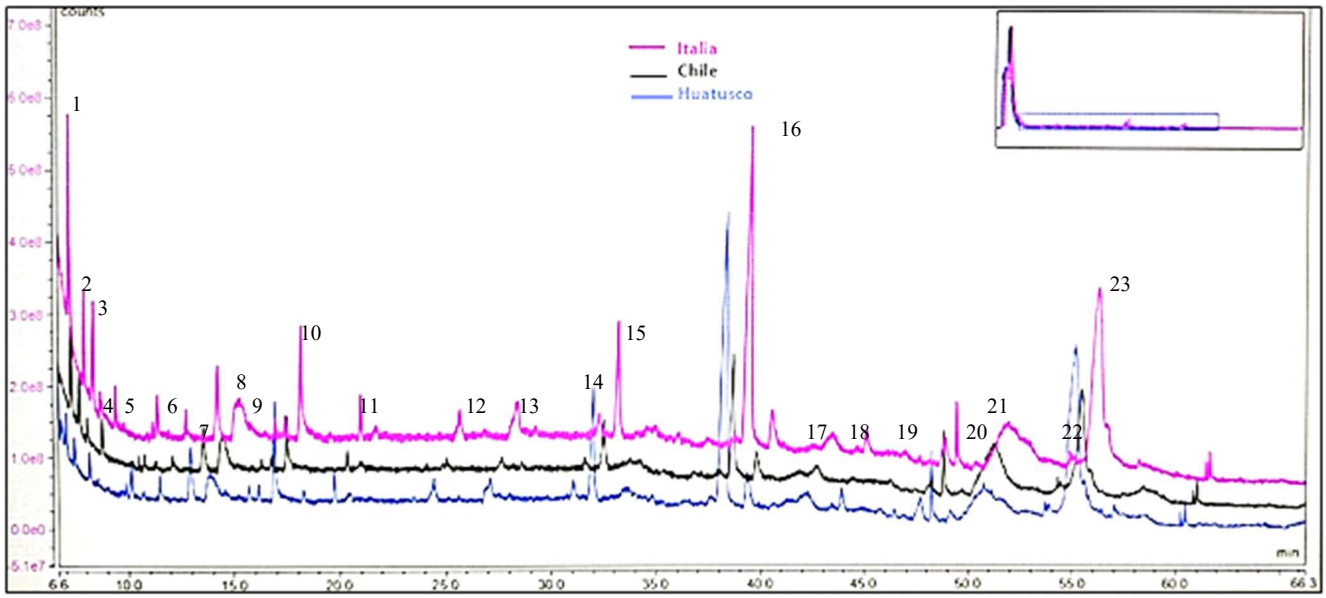


Figura 1. Comparativa de los tres cromatogramas en GC-MS de las tres variedades de kiwi (*Actinia deliciosa*) analizadas, en donde los números de los picos corresponden a: 1. ácido málico, 2. ácido oxálico, 3. ácido cafeíco, 4. l-epicatequina, 5. 5-metil-2-furancarboxaldehído, 6. 2-pentanona, 4-hidroxi-4-metil, 7. disulfuro de dimetilo, 8. ácido piridínico-3-carboxílico, 9. ácido clorogénico, 10. ácido ascórbico, 11. fenol,2,2-metilenbis(6-(1,1-dimetiletil)-4-metil, 12. ácido citrico, 13. 4-hidroxi-4-metilpentan-2-ona, 14. salicilato de metilo, 15. ácido retinoico, 16. ácido piridínico-3-carboxílico, 17. eugenol, 18. alcohol 2,4-dimetilfenílico, 19. kaempferol 3-rutinoside, 20. ácido dehidroascórbico, 21. folato, 22. ácido quínico, 23. 2-deoxi-d-galactosa

Durante los últimos años se ha demostrado que el contenido de metabolitos secundarios incluyendo compuestos aromáticos volátiles, vitaminas, flavonoides y diversos componentes bioactivos en el kiwi, se asocia con el sabor y contenido nutrimental, por lo que su determinación y cuantificación ha tomado importancia como parámetro de calidad organoléptica y nutracéutica de los frutos, siendo la principal forma de identificación la cromatografía de masas acoplado a masas, de acuerdo a la cantidad y tipo de metabolitos secundarios es la calidad del fruto, los esteres por ejemplo aumentan drásticamente el aroma de los frutos, mientras los ácidos orgánicos incrementan la acidez [11, 14].

 ISSN: 2007 8102

pH

De forma frecuente, existen dos formas de analizar el contenido de ácido en muestras de frutas, las cuales son la acidez titulable y la determinación del pH inicial [15].

Se observó diferencias estadísticas significativas (Figura 2) donde el kiwi proveniente de Chile tuvo mayor índice de acidez (pH 3.45), seguida de las variedades provenientes de Italia (pH 4.47) y Huatusco (pH 4.54).

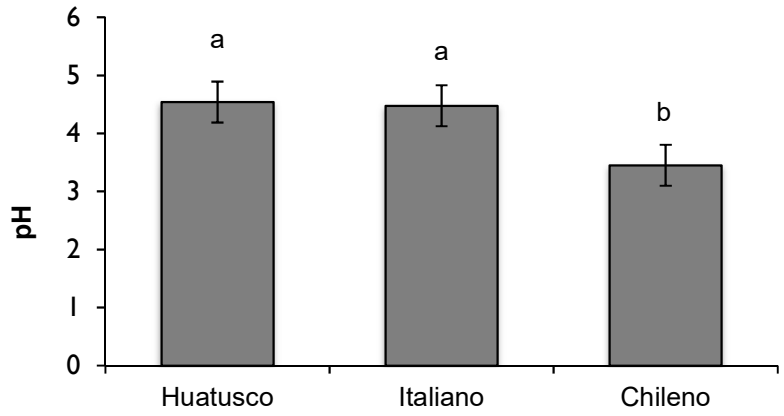


Figura 2. pH de frutos de Kiwi de diferente procedencia. Medias ± DE con letra distinta en cada columna indican diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.05).

Las condiciones climáticas de las regiones de cultivo (Tabla 2) difieren entre sí en cuanto a factores como la cantidad de humedad disponible, días de lluvia, horas de sol y temperatura. Estudios recientes indican que el pH en los frutos de kiwi, depende de estos factores porque influyen en la concentración de ácidos orgánicos, azúcares y contenido de agua en los frutos, valores más altos de pH, hacen al fruto más atractivo para el consumo, pues su acidez disminuye [16].

Tabla 2. Comparación de climas de las tres regiones de origen de los frutos de kiwi durante el 2022 [Fuentes: 17, 18, 19]

Factores climáticos	O´Higgins Chile	Lazio Italia	Huatusco México
Temperatura máxima diaria (°C)	21.70	20.70	26.00
Temperatura mínima diaria (°C)	7.3	12.40	10.30 °C
Precipitación anual (mm)	583.6	924	872
Días de lluvia	39.6	70.8	97.2
Horas de sol	2,592	2,482	2,665

Además de que influyen en el momento en que el kiwi alcanza la madurez fisiológica, por ello incluso, dentro de una misma región, sólo algunas plantaciones, están en condiciones de ser cosechadas anticipadamente y no todos los frutos alcanzan la madurez fisiológica al mismo tiempo, situación que varía año con año [20].

El pH, está directamente relacionado a la maduración del fruto, durante la cosecha el pH tiende a aumentar inicialmente, para mantenerse constante a partir de la última semana, por lo que se puede utilizar como un parámetro de calidad durante el índice de cosecha para kiwis de plena temporada [21].

Humedad

El contenido de humedad fue similarmente mayor en las variedades provenientes de Huatusco (75.74%) e Italia (74.37%), seguido de la variedad cultivada en Chile (71.37%). No se mostraron diferencias estadísticas

 ISSN: 2007 8102

significativas entre las frutas provenientes de Huatusco e Italia (% respectivamente), sin embargo, si se obtuvieron diferencias estadísticas significativas con la fruta cultivada en Chile (Figura 3).

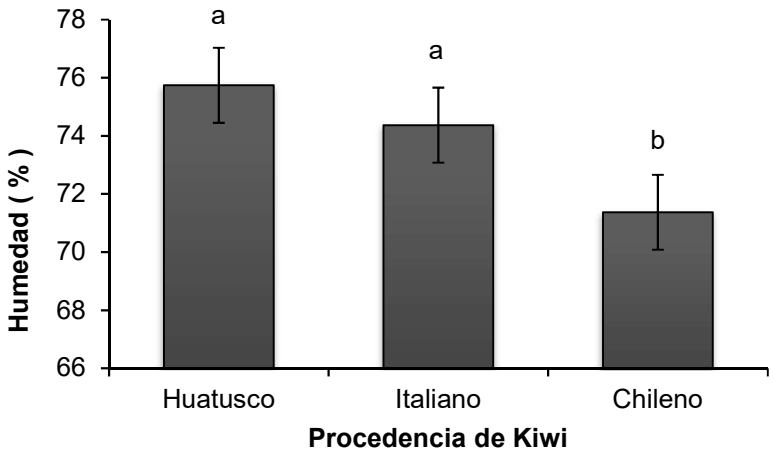


Figura 3. Porcentaje de Humedad de frutos de Kiwi de diferente procedencia. Medias ± DE con letra distinta en cada columna indican diferencias estadísticas significativas (P ≤ 0.05).

La capacidad de agua en los alimentos (ligada o libre), asi como la forma molecular y su localización dentro del alimento, son factores que afectan de modo significativo características específicas tales como apariencia, textura, color, entre otros [1].

El contenido de humedad es uno de los parámetros que influye en la textura y firmeza de la fruta, a mayor contenido de esta, menor firmeza [22], el kiwi procedente de Chile mostro menos contenido de humedad por lo que sugiere mayor firmeza.

En cuanto a los efectos nutracéuticos, el contenido de humedad de una fruta, es una medida para calcular algunas propiedades como el potencial de hidratación, debido al rol que desempeña el agua en los procesos biológicos del ser humano, la ingesta de alimentos ricos en agua contribuye en el desarrollo de estos procesos e incentiva una recuperación más rápida causada por la deshidratación [23]

La cantidad de agua disponible durante el desarrollo de las plantas (Tabla 2), influye no solo en el crecimiento de la planta, también influye en la cantidad de metabolitos primarios y secundarios en los frutos y el contenido de humedad en el fruto [24].

Trabajo a futuro

Analizar el contenido nutrimental, organoléptico y perfil de volátiles aromáticos del fruto de kiwi cultivado en Huatusco, Veracruz en comparación de otras variedades comerciales.

Conclusiones

Los resultados sugieren que el kiwi *Actinia deliciosa* cv Hayward, cultivada en la zona montañosa de Huatusco, Veracruz, tiene un contenido de metabolitos secundarios muy parecido a otras variedades, por lo que podría considerarse con propiedades benéficas similar a las variedades comúnmente comercializadas en el país.

Los análisis de tres variedades de kiwi diferentes mostraron que se pueden detectar 20 picos de metabolitos secundarios y algunos compuestos volátiles, entre ellos polifenoles, vitaminas y ácidos orgánicos, con el presente método simple en cromatografía de gases, utilizado en este trabajo.

 ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] D. Satpal, J. Kaur, v. Bhadariya, and K. Sharma, "*Actinidia deliciosa* (Kiwi fruit): A comprehensive review on the nutritional composition, health benefits, traditional utilization, and commercialization," *Journal of Food processing and Preservation*, vol. 45, no. 6, pp. e15588, 2021

[2] D. Angelino, J. Godos, F, Ghelfi, M. Tieri, L. Titta, A. Lafranconi, S. Marventano, E. Alonzo, A. Gambera, S. Sciacca, S.Busceni, S. Ray, F. Galvano, D. Del Río and G. Grosso; "Fruit and vegetable consumption and health outcomes: An umbrella review of observational studies", *International Journal of Food Sciencies and Nutrition*. Vol. 70, no 6, pp.652–667, 2019.

[3] K. Li, L. Liu, D. J. McClements, Z. Liu, X. Liu, and F. Liu, "A Review of the Bioactive Compounds of Kiwifruit: Bioactivity, Extraction, Processing and Challenges," *Food Reviews International*, vol. 31 no. 1 pp. 1-32, 2023.

[4] D. Guerra-Ramírez, M. Galicia-Lucas, I. Salgado-Escobar, and J. G. Cruz-Castillo, "Características Físico-Químicas y funcionales de la fruta kiwi en una zona tropical de altura en México," *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 44, no. 1, pp. 103-106, https://doi.org/10.35196/rfm.2021.1.103, 2022.

[5] T. Ma, Y. Xia, T. Inagaki, and S. Tsuchikawa, " Non-destructive and fast method of mapping the distribution of the soluble solids content and pH in kiwifruit using object rotation near-infrared hyperspectral imaging approach," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 174, no. 1, pp. 111440-111448, 2021.

[6] AOAC (2005). Official Method of Analysis of the Association of Analytical Chemists. 18th Edition. Washington DC: AOAC.Determination of Moisture, Ash, Protein and Fat.

[7] SAS Institute. "SAS/STAT® 9.3 User's Guide. SAS," *Institute Inc. Cary, NC, EEUU*, pp 178, 2011

[8] Y. Chen, X. Feng, H. Ren, H. Yang, Y. Liu, Z. Gao, and F. Long, "Changes in Physicochemical Properties and Volatiles of Kiwifruit Pulp Beverage Treated with High Hydrostatic Pressure," *Foods Journal*, vol. 9 no. 4, pp. 485-502, https://doi.org/10.3390/foods9040485, 2020.

[9] X. Zhang, X. Wei, M. M. Ali, H. M. Rizwan, B. Li, H. Li, K. Jia, X. Yang, S. Ma, S. Li, and F. Chen, "Changes in the content of organic acids and expression analysis of citric acid accumulation-related genes during fruit development of yellow (*Passiflora edulis* f. flavicarpa) and purple (*Passiflora edulis* f. edulis) passion fruits," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 22 no. 11, pp. 5765-5778, 2021.

[10] C. Zhu, O. Chou, F. Y. Lee, Z. Wang, C. J. Barrow, F. R. Dunshea, and H. A. Suleria, "Characterization of phenolics in rejected kiwifruit and their antioxidant potential," *Processes*, vol. 9, no. 5, pp. 781-804, 2021.

[11] Y. M. Kim, F. Abas, Y. S. Park, Y. K. Park, K. S. Ham, S. G. Kang, M. Lubinska-Szczygeł, A. Ezra, and S. Gorinstein, "Bioactivities of phenolic compounds from kiwifruit and persimmon," *Molecules*, vol. 26, no. 15, pp. 4405-4425, 2021.

[12] Y. Wang, C. Zhao, J. Li, Y. Liang, R. Yang, J. Liu, Z. Ma, and L. Wu, "Evaluation of biochemical components and antioxidant capacity of different kiwifruit (Actinidia spp.) genotypes grown in China," *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, vol. 32, no. 3, pp. 558-565, 10.1080/13102818.2018.1443400, 2018.

[13] T. K. McGhie, "Secondary metabolite components of kiwifruit," *Advances in Food and Nutrition Research*, vol. 68, pp.101–124, 10.1016/B978-0-12-394294-4.00006-7, 2013.

[14] A. Zhang, Q. Zhang, J. Li, H. Gong, X. Fan, Y. Yang, X. Liu, and X. Yin, "Transcriptome co-expression network analysis identifies key genes and regulators of ripening kiwifruit ester biosynthesis*", BMC Plant Biology*, vol. 20 no. 103 pp.1–12, 2020.

[15] R. S. Pal, V. A. Kumar, S. Arora, A. K. Sharma, V. Kumar, and S. Agrawal, "Physicochemical and Antioxidant Properties of Kiwifruit as a Function of Cultivar and Fruit Harvested Month," *Brazilian archives of biology and technology*, vol. 58, pp. 262–271, 2015.

[16] D. Guerra-Ramírez, M. Galicia-Lucas, I. Salgado-Escobar, and J. G. Cruz-Castillo, J. G. "Características Físico-Químicas y funcionales de la fruta kiwi en una zona tropical de altura en México," *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 44, no. 1, pp.103-106, 2022.

[17] Dirección Meteorológica de Chile 2022. https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/diario/boletinClimatologicoDiario/actual

[18] Servicio Meteorológico Nacional. 2022. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias

[19] Fuerza Aérea Italiana - Departamento de Meteorología. 2022 https://wwis.aemet.es/es/country.html?countryCode=176

[20] H. R. Choi, M. W. Baek, L. H. Cheol, C. S. Jeong, and S. Tilahun, "Changes in metabolites and antioxidant activities of green 'Hayward'and gold 'Haegeum'kiwifruits during ripening with ethylene treatment, " *Food Chemistry*, vol. 384, pp.132490, 2022.

[21] D. Pinto, C. Delerue-Matos, and F. Rodrigues, “Bioactivity, phytochemical profile and pro-healthy properties of Actinidia arguta: A Review,” *Food Research International*, vol. 136, pp. 109449, 10.1016/j.foodres.2020.109449, 2020.

[22] I A. Ibrahim, A. Alghannam, A. Eissa, F. Firtha, T. Kaszab, Z. Kovacs, and L. Helyes, “Preliminary study for inspecting moisture content, dry matter content, and firmness parameters of two date cultivars using an NIR hyperspectral imaging system,” *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 9, pp. 720630, 2021.

[23] D. D. Peng, D. G. Chen, K. W. Xu, P. Penttinen, H. Y. You, H. P. Liao, R. Yang and Y. X. Chen, “Optimal Substrate Moisture Content for Kiwifruit (*Actinidia valvata* Dunn) Seedling Growth Based on Analyses of Biomass, Antioxidant Defense, and Photosynthetic Response,” *Agronomy*, vol. 13 no. 7, pp. 1858, 2023.

[24] M. L. Montero, C. Rojas-Garbanzo, J. Usaga, and A. M. Pérez, “Composición nutricional, contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante hidrofílica de frutas costarricenses seleccionadas,” *Agronomía Mesoamericana*, vol. 33, no. 2, pp. 46175-46175, 2022

 ISSN: 2007 8102

Producción de ácido láctico, vía fermentación microbiana, a partir de los residuos de la agroindustria piloncillera

Itzel Gonzalez-del Rosario[1], José Manuel Hernández-Martínez[1], Eusebio Bolaños-Reynoso[1], Juan Manuel Méndez-Contreras[1]*
[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba, Av. Oriente 9 No. 852, Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Veracruz, México.
** juan.mc@orizaba.tecnm.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

La producción de piloncillo a partir del jugo de caña de azúcar es una de las principales actividades económicas en la región centro del estado de Veracruz, no obstante, esta actividad enfrenta diferentes problemáticas, destacando las relacionadas con el manejo y disposición de residuos, principalmente la cachaza piloncillera (CP) y el agua de lavado de moldes (ALM). En el presente trabajo, se estudió el proceso de fermentación microbiana de estos residuos para la producción de ácido láctico (AL) utilizando 5%, 10% y 15% de inóculo de la cepa *Lactobacillus acidophilus*. En base al análisis estadístico, en la fermentación de la solución de CP el mayor rendimiento de AL se obtuvo con el 10% y 15% de inóculo (0.60 g AL/g CC), en tanto que para el ALM fue con el 15% (0.57 g AL/g CC). De acuerdo a estos resultados, la CP y el ALM son sustratos viables para la producción de AL, vía fermentación microbiana, y este proceso es una alternativa para el aprovechamiento de los mismos.

***Palabras clave**: Ácido Láctico, Fermentación Microbiana, Agroindustria Piloncillera*

Abstract

The production of non-centrifugal cane sugar from sugarcane juice is one of the main economic activities in the central region of the state of Veracruz, however, this activity faces different problems, especially those related to the management and disposal of waste, mainly sugarcane scum (SCS) and mold wash water (MWW). In the present work, the microbial fermentation process of these wastes was studied for the production of lactic acid (LA) using 5%, 10% and 15% inoculum of the *Lactobacillus acidophilus* strain. Based on statistical analysis, in the fermentation of CP solution the highest AL yield was obtained with 10% and 15% inoculum (0.60 g LA/g CC), while for ALM it was with 15% (0.57 g LA/g CC). According to these results, SCS and MWW are viable substrates for the LA production, via microbial fermentation, and this process is an alternative for the valorization of these wastes.

***Key words**: Lactic Acid, Microbial Fermentation, Non-Centrifugal Cane Sugar Agroindustry*

Introducción

El AL es una biomolécula ampliamente utilizada en diferentes industrias para la producción de alimentos, medicamentos, cosméticos, ácido poliláctico (biopolímero), entre otros [1]. Este compuesto puede ser sintetizado por vía química y biotecnológica, esta última presenta varias ventajas como la obtención de un producto de mayor pureza, una operación más sencilla, el uso de materias primas de bajo costo, condiciones moderadas de operación (presión y temperatura), reducción del riesgo de contaminación, bajo consumo de energía y un menor impacto ambiental [2,3].

Los principales microorganismos utilizados en la ruta biotecnológica son hongos, principalmente del género *Rhizopus*, y bacterias como *Corynebacterium glutamicum*, *Eschericia coli*, cepas del género *Bacillus* y Acido Lácticas (BAL) [4]. Las BAL son los microorganismos más utilizados para la producción de AL a nivel industrial y éste se obtiene por la ruta de la glucólisis de hexosas y pentosas bajo condiciones anaerobias, y la productividad y rendimiento depende del pH (3.5 – 9.6), temperatura (5 – 45°C), el contenido de nutrientes y la cepa utilizada

 ISSN: 2007 8102

(*Leuconostoc, Lactococcus, Lactobacillus, Pediococcus, Enterococcus, Streptococcus, Vagococcus, Aerococcus, Carnobacterium, Tetragenococcus, Oenococcus* y *Weissella*) [5].

En la actualidad, la producción a nivel industrial de AL mediante fermentación microbiana se lleva a cabo utilizando azúcares puros, lo cual incrementa los costos además de entrar en competencia con la industria alimentaria, entonces para que el proceso sea económicamente viable, se requiere del uso de materias primas rentables, con baja toxicidad, que requieran un pretratamiento mínimo, con altas tasas de producción y poca generación de subproductos [6].

Ante este escenario, se ha propuesto el uso de sustratos que tengan un bajo costo y que no generen competencia con otros sectores, entre los que destacan las biomasas lignocelulósicas y de microalgas, residuos de alimentos y residuos agroindustriales [7]. Estos últimos, son los que en mayor cantidad de producen, y la mayor parte no reciben ningún tratamiento, por lo que se depositan en suelos, rellenos sanitaros o se incineran, provocando efectos adversos al medio ambiente como la contaminación de suelo, cuerpos de agua y la emisión de gases de efecto invernadero [8].

En México, el estado de Veracruz es el mayor proveedor de productos agroindustriales, mismos que durante su procesamiento generan una cantidad de 7 millones de toneladas anuales de residuos, siendo el cultivo de caña de azúcar el que genera la mayor cantidad con 5.3 millones de toneladas anuales [9]. La mayor parte de la producción se destina a los ingenios azucareros, y el resto se procesa para la producción de piloncillo, el cual es un edulcorante y se fabrica en pequeñas agroindustrias denominadas trapiches, este sector enfrenta diferentes problemáticas sociales, económicas, productivas y ambientales, además la vinculación, desarrollo, transferencia y adopción de tecnologías con los centros de investigación de la región es marginal [10].

El proceso típico de producción de piloncillo incluye una etapa de clarificación del jugo en la que se genera un residuo líquido coloidal de color negro, llamado cachaza y con el que tradicionalmente se tienen pobres o nulas prácticas en su manejo, generando malos olores y riesgo ecológico [11]. Además, se generan aproximadamente 500 L de aguas residuales por tonelada de piloncillo durante el lavado de moldes, mesas y pisos del cuarto de batido y moldeo, estas aguas contienen cerca del 0.5% de sólidos disueltos, en su mayoría azúcares que favorecen el crecimiento de microorganismos que provocan la eutrofización de cuerpos de agua [12]. Así, en el presente trabajo se realizó el estudio de la fermentación microbiana de los residuos generados en la agroindustria piloncillera, CP y ALM, para evaluar su potencial como sustratos para la producción de ácido láctico.

Metodología

Obtención de los residuos

La CP y el ALM se recolectaron de un trapiche ubicado en la localidad de Zentla (19°05'24.9"N 96°48'04.3"W), municipio de Zentla, Veracruz. Posteriormente, con la CP se preparó una solución con una concentración de 100 g CP/L, utilizando agua potable como diluyente, esto con el fin de ajustar el contenido de Sólidos Totales en un rango de 3 a 6 %. Enseguida, la solución se mantuvo en refrigeración a 4°C hasta su uso.

Caracterización fisicoquímica de los residuos

Para la CP, el ALM y la solución de 100 g CP/L se determinó el pH utilizando un potenciómetro Science Med modelo SM-3BW, Sólidos Totales (ST) y Sólidos Totales Volátiles (STV) de acuerdo a los Standards Methods [13], carbohidratos por el método colorimétrico de antrona-sulfúrico con un espectrofotómetro Thermo Scientific modelo Genesys 20 a una longitud de onda de 620 nm, nitrógeno total y proteínas por el método micro Kjeldahl utilizando un factor de conversión de 6.25.

Propagación de la cepa *Lactobacillus acidophilus* en medio sintético

La cepa de la bacteria *Lactobacillus acidophilus* se obtuvo a partir de un producto comercial denominado Lyofast LA 3 (SACCO System), esta cepa se encuentra en estado liofilizado. Se pesó 1 g del producto y se agregó a un matraz con 100 mL de caldo MRS (Man, Rogosa y Sharpe) previamente esterilizado a 121 °C por 15 min y se incubó a 37 ± 0.5°C por 24 horas.

 ISSN: 2007 8102

Cinéticas de fermentación microbiana

Para cada residuo se llevaron a cabo cinéticas de fermentación microbiana por duplicado a diferentes concentraciones de inóculo (5%, 10% y 15% v/v). Para esto, se realizó el montaje de matraces Erlenmeyer de 250 mL, con un volumen útil de 150 mL. Los matraces fueron colocados en una incubadora modelo ZHWY-100B, manteniendo una temperatura constante de 36 ± 0.5°C y una velocidad de agitación de 120 rpm, durante 48 h y tomando muestra cada 2 h durante las primeras 12 h del proceso, y posteriormente cada 4 h. Para cada muestra se determinaron pH, carbohidratos, densidad celular mediante la técnica de placa vertida en agar MRS [14] y acidez titulable de acuerdo a la metodología descrita en la norma mexicana [15].

Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza de un solo factor (ANOVA) seguido de una prueba de Fisher ($p<0.05$) para determinar si las diferencias en las mediciones realizadas fueron significativas. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software Minitab 19.

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica de los residuos

La composición fisicoquímica de los residuos utilizados en el presente estudio se muestra en la Tabla 1. Se observa que ambos residuos son ricos en carbohidratos, sobre todo la CP, que presenta un contenido de 172.42 g/L, y el ALM presenta un contenido de 12.48 g/L. Estas diferencias se deben a que, durante el proceso de clarificación del jugo de caña, parte de éste se va junto con las impurezas separadas por los agentes floculantes provocando que la CP tenga un mayor contenido de carbohidratos. En cuanto al contenido de nitrógeno y proteínas, la CP tiene bajo contenido, 1.33% y 8.35% respectivamente, y para el ALM no se tiene presencia de estos compuestos, lo cual se debe a que se utiliza agua potable para realizar las operaciones de lavado y ésta debe tener bajo contenido de nitritos y nitratos. En base a estos resultados, se observa que los residuos tienen el potencial para ser utilizados como sustrato para la producción de ácido láctico vía fermentación microbiana, ya que ambientes ricos en carbohidratos son ideales para el desarrollo de las LAB [16]. Sin embargo, el contenido de nitrógeno es bajo por lo cual podría ser una limitante, sobre todo en el ALM, ya que en el metabolismo microbiano éste actúa como el principal componente de los procesos catabólicos y anabólicos [6].

Tabla 1: Caracterización fisicoquímica de la CP, ALM y solución de 100 g CP/L.

Parámetro [Unidad]	CP	ALM	Solución de 100 g CP/L
pH	6.80	5.60	6.62
Sólidos Totales [%]	29.81	1.93	3.95
Sólidos Totales Volátiles [%]	90.85	74.6	86.13
Carbohidratos [g/L]	172.42	12.48	36.6
Nitrógeno Total [%]	1.33	NP	0.84
Proteínas [%]	8.35	NP	5.25

NP=No presente

Cinéticas de fermentación microbiana

Fermentación microbiana de CP

Durante la fermentación microbiana de la solución de CP (Fig. 1) es posible observar que el pH disminuyó durante las primeras 11 h del proceso, a 4.45, 4.75 y 4.99 para las concentraciones de inóculo de 5%, 10% y 15% respectivamente, manteniéndose sin cambios hasta el final de las cinéticas. Esto se debe principalmente a que,

 ISSN: 2007 8102

durante el consumo de los carbohidratos, el *L. acidophilus* tiene la habilidad de producir AL y otros subproductos, que contribuyen al decremento del pH [17]. Para el consumo de sustrato, este fue mayor para la concentración del 5% de inóculo, siendo de 23.25 g, para el 10% de inóculo se alcanzó un consumo de 12.33 g, y para el 15% se consumieron 17.51 g. En las tres cinéticas se puede observar que hubo producción de AL, siendo mayor en la que se utilizó 15% de inóculo, con una producción de 10.8 g AL/L, seguida de la producción con el 10% de inóculo que fue de 8.1 g AL/L, y 5.4 g AL/L para el 5% de inóculo. Los rendimientos de AL fueron de 0.23 g AL/g carbohidratos consumidos (CC) con el 5% de inóculo, 0.60 g AL/g CC para el 10% y 15%. A pesar de que en la cinética con el 5% de inóculo se presentó un mayor consumo de sustrato, la producción de AL fue menor, ya que el metabolismo del microorganismo se direcciono hacia la creación de nuevas células y otros subproductos, y no hacia la generación de AL. En lo que respecta a la densidad celular, se observa que en la cinética con el 10% de inóculo hubo un incremento de 7.1 a 7.5 Log UFC/mL en las primeras 10 h, así mismo, con el 15% de inóculo el incremento fue de 6.7 a 7.2 Log UFC/mL en el mismo lapso de tiempo, indicando que el microorganismo se adapto al sustrato alimentado. Con el 5% de inóculo, el comportamiento fue distinto, ya que la densidad celular disminuyó de 7.8 a 7.1 Log UFC/mL, atribuyéndose a un rápido consumo del sustrato y la consiguiente disminución de nutrientes.

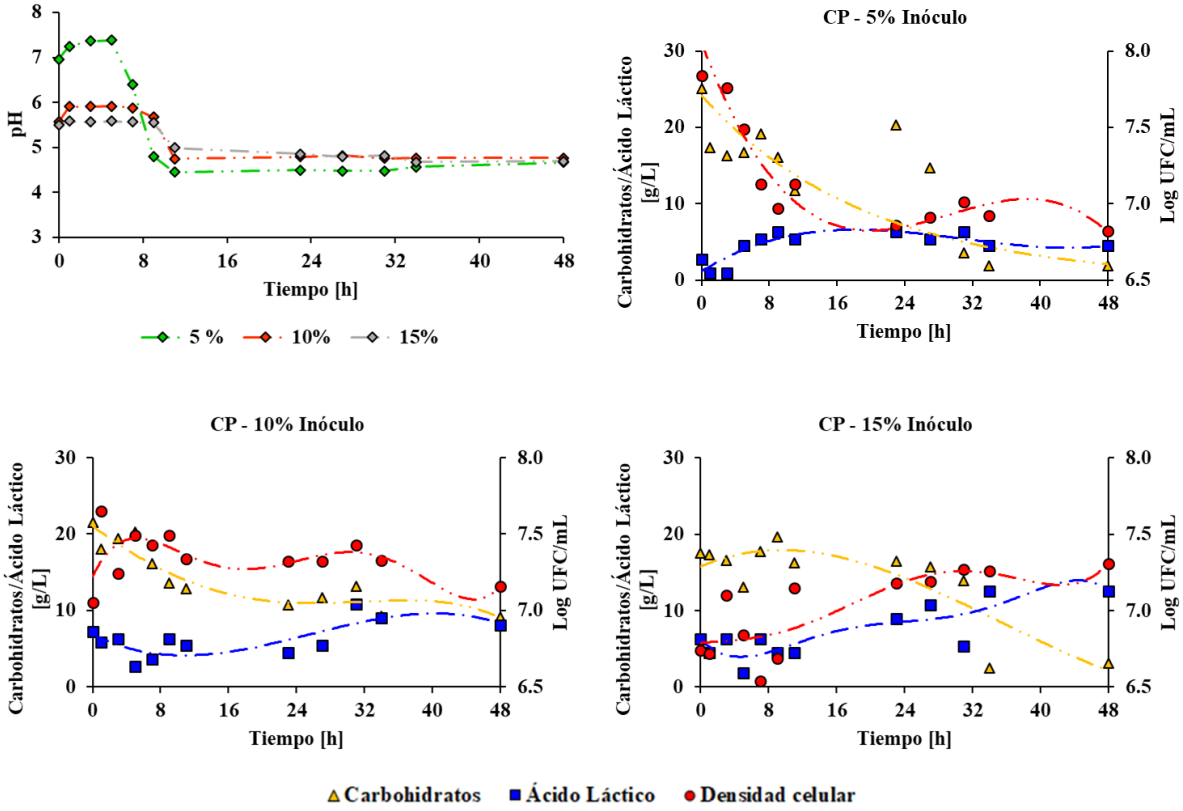


Figura 1: pH, consumo de sustrato, producción de ácido láctico y densidad celular durante la fermentación microbiana de la solución de 100 g CP/L con 5%, 10% y 15% de inóculo.

Fermentación microbiana de ALM

En la Figura 2 se muestran los resultados de la fermentación del ALM. Se observa que para las tres cinéticas el pH comenzó a incrementarse a partir de las 24 h, para alcanzar valores finales de 8.18, 7.72 y 7.66 para las concentraciones de 5%, 10% y 15% de inóculo respectivamente. Este comportamiento se atribuye a que el ALM tiene un menor contenido de carbohidratos por lo que estos se consumieron rápidamente, provocando una disminución en la densidad celular por la muerte de microorganismos, aumentando el contenido proteico y por ende el aumento del pH, sobre todo en la cinética con el 5% de inóculo. El mayor consumo de sustrato se presentó en las fermentaciones con el 5% y 10% de inóculo, consumiéndose 6.04 g en el primer caso y 7.65 g en el segundo, en lo que respecta a la cinética con el 15% de inóculo solo se consumieron 2.61 g de carbohidratos. La producción de AL fue de 1.8 g AL/L en los tres casos, con un rendimiento de 0.32 g AL/g CC con el 5% de inóculo, 0.34 g AL/g CC para el 10% y 0.57 g AL/g CC con el 15%. Respecto a la densidad celular, para la cinética con el

 ISSN: 2007 8102

5% de inóculo en las primeras 4 h del proceso se presentó una disminución de 7.1 a 6.7 Log UFC/mL, con el 10% hubo una disminución en las primeras 10 h de 7.6 a 6.8 Log UFC/mL, incrementando nuevamente hasta llegar 7.3 Log UFC/mL a las 48 h, finalmente, en la cinética con el 15% de inóculo existió un comportamiento similar, donde hubo una disminución en las primeras 8 h de 7.7 a 6.7 Log UFC/mL, para incrementar hasta llegar a 7.9 Log UFC/mL al final del proceso.

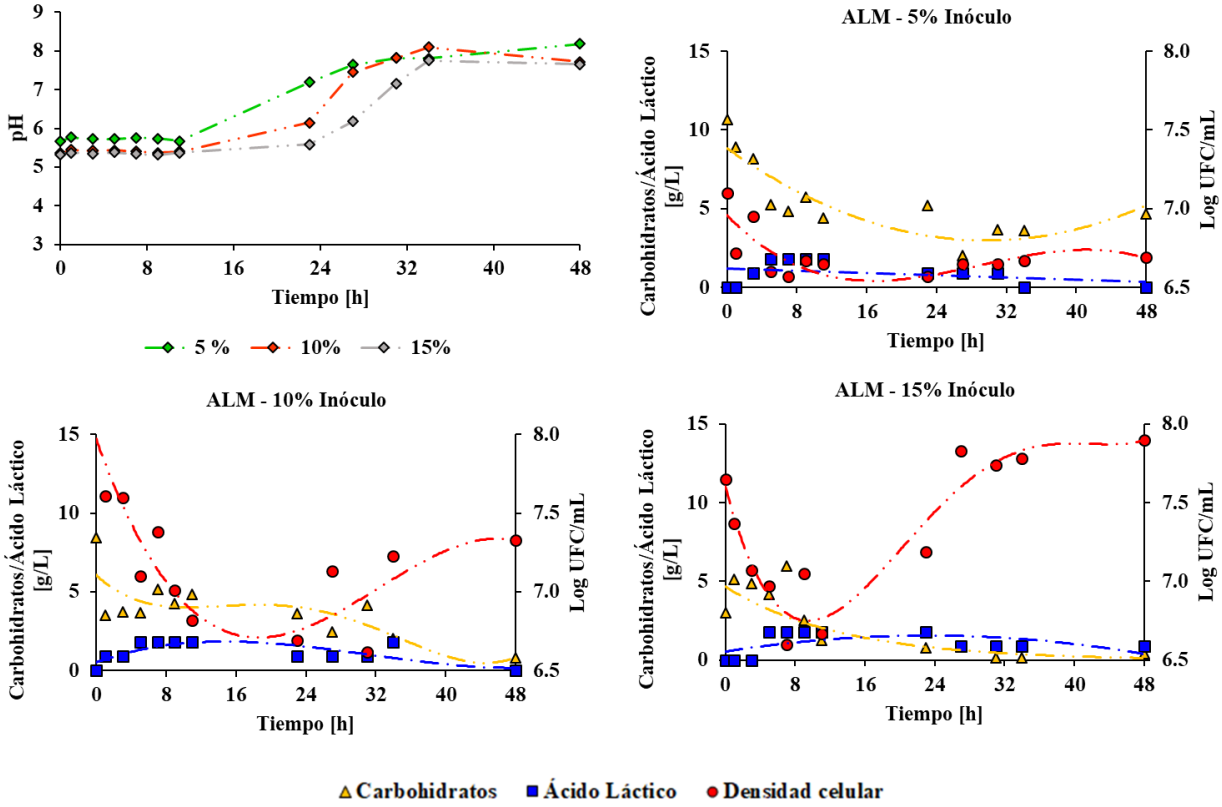


Figura 2: pH, consumo de sustrato, producción de ácido láctico y densidad celular durante la fermentación microbiana del ALM con 5%, 10% y 15% de inóculo.

A pesar de que hay producción de AL, sobre todo durante la fermentación de la solución de CP, los valores obtenidos en el presente estudio se encuentran ligeramente debajo de las productividades de otras cepas del género *Lactobacillus* [5]. Lo anterior puede deberse al bajo contenido de nitrógeno presente en los sustratos, afectando el metabolismo de la bacteria *L. acidophilus*, ya que requiere cantidades significativas de aminoácidos, ya que la ruta vía pentosa – fosfato no es totalmente funcional y se obtienen otros subproductos [17]. En el caso del ALM, la fermentación se da rápidamente por el bajo contenido de carbohidratos, por lo que el metabolismo del microorganismo se direcciono hacia otra ruta metabólica.

Análisis Estadístico

En base al ANOVA realizado, existen diferencias significativas en el rendimiento de AL durante la fermentación de la solución de CP (valor p=0.001), siendo mayor para las concentraciones de inóculo del 10% y 15%, con un valor de 0.60 g AL/g CC. En tanto, para la fermentación del ALM, también hay diferencias significativas para este parámetro (valor p=0.001), siendo mayor con el inóculo al 15%.

Trabajo a futuro

Realizar el estudio de la fermentación microbiana de la CP y el ALM con otra bacteria ácido láctica y comparar las producciones y rendimientos de AL con los obtenidos en el presente estudio. Por otra parte, se analizará el efecto del aumento de la concentración de CP en los parámetros del proceso.

Conclusiones

En base a la caracterización fisicoquímica de la CP y el ALM, principales residuos generados durante la producción de piloncillo, se observó que presentan un alto contenido de carbohidratos, 172.42 g/L para la CP y 12.48 g/L para el ALM, lo que los convierte en un sustrato con potencial para la producción de AL a partir de la fermentación microbiana. En la fermentación de la solución de CP, el mayor consumo de sustrato se dio con el 5% de inóculo, consumiéndose 23.25 g, mientras que la mayor producción de AL fue con el 15% de inóculo, con un rendimiento de 0.60 g AL/g CC. Para la fermentación del ALM, la fermentación con el 10% de inóculo fue en la que mayor consumo de sustrato existió con 7.65 g, en tanto que con el 15% de inóculo de tuvo la mayor producción de AL con 1.8 g AL/L con un rendimiento de 0.57 g AL/g CC. Los resultados obtenidos muestran que los residuos generados en la agroindustria piloncillera, son un sustrato viable para utilizarse como materia prima para la producción de AL, vía fermentación microbiana, de igual forma, este proceso es una alternativa para implementarse como nueva estrategia para la reducción del impacto al medio ambiente por la mala disposición de estos residuos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al TecNM por el financiamiento recibido con el proyecto 17205.23-P que forma parte de la convocatoria Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2023. También se agradece a las familias Castelán Córdoba y Córdoba Huerta por las facilidades otorgadas para la obtención de los residuos y la información técnica referente a la producción de piloncillo.

Referencias

[1] Nwamba, M. C., Sun, F., Mukasekuru, M. R., Song, G., Harindintwali, J. D., Boyi, S. A., and Sun, H., “Trends and hassles in the microbial production of lactic acid from lignocellulosic biomass”, *Environmental Technology & Innovation*, vol. 21, pp. 101337, Febrero 2021.

[2] Alvarado-Morales, M., Kuglarz, M., Tsapekos, P., and Angelidaki, I., “Municipal biopulp as substrate for lactic acid production focusing on downstream processing”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 105136, Abril 2021.

[3] Singhvi, M., Zendo, T., and Sonomoto, K., “Free lactic acid production under acidic conditions by lactic acid bacteria strains: challenges and future prospects”, *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 102, pp. 5911-5924, Julio 2018.

[4] Grewal, J., Sadaf, A., Yadav, N., and Khare, S. K., “Agroindustrial waste based biorefineries for sustainable production of lactic acid”, In *Waste biorefinery,* Elsevier B.V., 2020, pp. 125-153.

[5] Abedi, E., and Hashemi, S. M. B., “Lactic acid production–producing microorganisms and substrates sources-state of art”, *Heliyon*, vol. 6, no. 10, pp. e04974, Octubre 2020.

[6] Rawoof, S. A. A., Kumar, P. S., Vo, D. V. N., Devaraj, K., Mani, Y., Devaraj, T., and Subramanian, S., “Production of optically pure lactic acid by microbial fermentation: A review”, *Environmental Chemistry Letters*, vol. 19, pp. 539-556, Febrero 2021.

[7] Ahmad, A., Banat, F., and Taher, H., “A review on the lactic acid fermentation from low-cost renewable materials: Recent developments and challenges”, *Environmental Technology & Innovation*, vol. 20, pp. 101138, Noviembre 2020.

[8] Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., and Varjani, S., “Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery process and circular bioeconomy: A critical review”, *Bioresource Technology*, vol. 343, pp. 126126, Junio 2022.

[9] Nava-Pacheco, D., Juárez-García, I. A., Landeta-Escamilla, O., Del Moral, S., and Rosas-Mendoza, E. S., “Potencial bioenergético a partir de residuos agroindustriales del estado de Veracruz”, *Renewable Energy, Biomass and Sustainability,* vol.1, no. 1, pp. 53-64, Noviembre 2019.

[10] Cabrera Martínez, H., and Aguilar Rivera, N., “Competitiveness of the piloncillo agribusiness in the central region of Veracruz”, *Textual*, no. 73, pp. 297-328, Mayo 2019.

[11] Mendieta, O., Madrigal, G., Castro, L., Rodríguez, J., and Escalante, H., “Sugarcane scum as a novel substrate for rapid biogas production from the non-centrifugal cane sugar agribusiness sector in developing countries”, *Bioresource Technology*, vol. 297, pp. 122364, Febrero 2020.

 ISSN: 2007 8102

[12] García, H. R., Albarracín, L. C., Toscano LaTorre, A., Santana, N., and Insuasty, O., *Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera*, Bogotá, Colombia, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), 2007.

[13] APHA, WPCF, AWWA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd ed., American Public Health Association (APHA), 2017.

[14] Peng, W., Meng, D., Yue, T., Wang, Z., and Gao, Z., "Effect of the apple cultivar on cloudy apple juice fermented by a mixture of *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum*, and *Lactobacillus fermentum*", *Food Chemistry*, vol. 340, pp. 127922, Marzo 2021.

[15] NMX-F-716-COFOCALEC-2014, "Sistema producto leche – Alimentos lácteos determinación de acidez en leche fluida – Métodos de prueba", Diario Oficial de la Federación.

[16] Vinicius De Melo Pereira, G., De Carvalho Neto, D. P., Junqueira, A. C. D. O., Karp, S. G., Letti, L. A., Magalhães Júnior, A. I., and Soccol, C. R., "A review of selection criteria for starter culture development in the food fermentation industry", *Food Reviews International*, vol. 36, no. 2, pp. 135-167, 2020.

[17] Solval, K. M., Chouljenko, A., Chotiko, A., and Sathivel, S., "Growth kinetics and lactic acid production of *Lactobacillus plantarum* NRRL B-4496, *L. acidophilus* NRRL B-4495, and *L. reuteri* B-14171 in media containing egg white hydrolysates", *LWT*, vol. 105, pp. 393-399, Mayo 2019.

 ISSN: 2007 8102

Enfriamiento radiativo pasivo de superficies mediante materiales opacificantes de la radiación infrarroja

*Giovanni González-Párez**1,* Mario Cesar Osorio-Abraham[1], Dalia A Mazon-Montijo[1], Luis Hernández-García[1], *Gethzemani M Estrada-Villegas*[2]

1Tecnologico Nacional de México/IT Nuevo León, 2 CONAHCyT-Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), Unidad Monterrey, Alianza Sur 204, PIIT, Apodaca, Nuevo León, C.P. 66628, México.

Área de participación: Ingeniería Química (Energía y medio ambiente)

Resumen

Los materiales emisores de radiación infrarroja (IR) pueden absorber la luz proveniente del sol en las longitudes de onda visibles y del infrarrojo cercano (n-IR), esto promueve que los materiales se calientan rápidamente al absorber radiación en estas longitudes de onda. El enfriamiento radiativo nocturno se usa comúnmente en el enfriamiento de edificios en climas cálidos, sin embargo, el principal reto consiste en el enfriamiento radiativo diurno. Para el enfriamiento radiativo diurno se requieren materiales que emitan la radiación de las ondas largas y que reflejen las longitudes de onda menores a 4 μm. En este trabajo se sintetizan nanofibras por la técnica de electrohilado, las cuales, se modifican con nanomateriales opacificantes a la radiación infrarroja para evaluar su eficiencia en el enfriamiento pasivo diurno.

Palabras clave*: radiación infrarroja, materiales opacificantes, nanofibras*

Abstract

Infrared (IR) radiation-emitting materials can absorb light from the sun at visible and near-infrared (n-IR) wavelengths, this promotes materials to heat up rapidly by absorbing radiation at these wavelengths. Nighttime radiative cooling is conveniently used in building cooling in hot climates; however, the main challenge is presented in daytime radiative cooling. For daytime radiative cooling, materials are required that emit long-wave radiation and reflect wavelengths shorter than 4 μm. In this work, nanofibers are synthesized by the electrospinning technique, which are modified with opacifying nanomaterials to infrared radiation to evaluate their efficiency in daytime passive cooling.

Key words*: infrared radiation, opacifying materials, nanofibers*

Introducción

Los sistemas de enfriamiento radiativo se han utilizado como una alternativa de bajo costo en diversos sectores industriales. La mayoría de los sistemas se basan en pinturas y revestimientos que pueden disipar la energía durante la noche [1]. En cuanto a los dispositivos fotónicos, involucran materiales dieléctricos con propiedades espectrales específicas (estas estructuras podrían reflejar la mayor parte de la radiación visible y ser altamente emisivas a la radiación infrarroja IR). Algunas estructuras fotónicas se han diseñado para enfriamiento radiativo pasivo nocturno y diurno [2-3], sin embargo, el rendimiento depende de los materiales dieléctricos. Los dispositivos fotónicos pueden enfriarse durante el día por debajo de la temperatura ambiente y no necesitan energía eléctrica ni refrigerantes para funcionar.

Los dispositivos fotónicos tienen propiedades apropiadas para ser sistemas de enfriamiento pasivos nocturnos y diurnos, sin embargo, los arreglos fotónicos son complejos debido a que requieren precisión nanométrica para su fabricación. Este factor inhibe la producción masiva por lo que los dispositivos fotónicos con propiedades espectrales no resultan atractivos en varias aplicaciones como refrigeración de edificios o automóviles. Recientemente, Zhai y sus colaboradores han diseñado un metamaterial de polímero de vidrio utilizando una matriz de polímero transparente modificada con la incorporación de microesferas de vidrio. El dispositivo de polímero de vidrio emitía la radiación infrarroja cercana y reflejaba la mayor parte de la energía solar, convirtiéndolo en un material de enfriamiento pasivo [4].

 ISSN: 2007 8102

Los materiales polímero-fotónicos se han venido utilizado debido a sus propiedades mecánicas, ópticas y químicas, además de su bajo costo y la posibilidad de ser modificados con varios tipos de materiales (cerámica, polímero y metales) [5-8]. Las nanofibras mediante técnicas de electrohilado se han utilizado en varias áreas, como electrolitos sólidos para electrónica, filtración, dispositivos farmacéuticos, ingeniería de tejidos entre otros [9-11].
Los polímeros pueden ser modificados con nanocomposites para almacenamiento y generación de energía [12]. Por otra parte, el electrohilado es una técnica fácil para recolectar nanofibras de soluciones poliméricas que se hacen pasar a través de un campo eléctrico. Se ha demostrado una alta relación de superficie/volumen y afinidad para ser funcionalizadas con materiales “inteligentes”, incorporar grafeno, tierras raras, materiales fluorescentes y otros [13]. Las nanofibras se han usado para reducir significativamente el peso de diversos dispositivos [14], la configuración entretejida en las nanofibras presenta una mayor cantidad de poros que brindan resistencia a la penetración de varios fluidos [15]. El enfriamiento radiativo pasivo tiene muchas áreas de oportunidad por explorar, esto involucra polímeros fotónicos como matrices de soporte, nanopartículas con propiedades de radiopacidad y métodos de síntesis para promover una aplicación real en el enfriamiento de edificios y automóviles que ayude en la reducción de sistemas de refrigeración activos. En este trabajo se busca aportar el desarrollo de estructuras modificadas con partículas core-shell aplicadas al enfriamiento pasivo de superficies. El poliacrilo nitrilo (PAN) es a menudo usado y estudiado para producir fibras de carbono. Las fibras de este material tienen una alta temperatura de fusión (310-335 °C) y su temperatura de transición vítrea se encuentra entre 85 y 95°C. El polímero de acrilo nitrilo tiene 34% de polímero termoplástico no soluble cristalino. Los polímeros con regiones cristalinas tienen conductividades térmicas más altas que las regiones amorfas, por lo que la energía térmica se transfiere a lo largo de las cadenas poliméricas aumentando con el peso molecular [16]. Usando estos materiales se pretende disminuir o hacer más eficiente el uso de sistemas de enfriamiento activo.

Metodología

Materiales

Se utilizó ácido palmítico (PA), titanato de tetrabutilo (TBOT) de Sigma Aldrich para la realización del encapsulamiento. Etanol anhidro grado reactivo, acetona y agua destilada como solventes de CTR-Cientific. Se usó ácido clorhídrico para ajustar el pH del core-shell (MerK). Para fabricar las nanofibras se usó Poliacrilonitrilo (PAN) de Sigma-Aldrich PM:150,000 g/mol y N,N-dimetilformamida (DMF) como disolvente de Sigma Aldrich.

Preparación

Nanopartículas Core-Shell.

Las nanopartículas de ácido palmítico/dióxido de titanio PA/TiO_2 se prepararán mediante el método sol-gel para formar una estructura tipo core-shell [17]. Se dispersó una solución de 10 mg de titanato de tetrabutilo (TBOT) y 25 mL de etanol en un vaso de precipitado y se mezcló a 150 rpm a 40 °C durante 15 min. En otro vaso de precipitados de etanol se mezclaron 100 mg de ácido palmítico y 25 mL de etanol durante 35 min a 150 rpm. Posteriormente se incorporó lentamente gota a gota la solución de PA/etanol en la solución de TBOT/etanol. La solución final se agita durante 15 h para formar TiO_2/PA. Después de 15 h la solución final, se lava tres veces con etanol y acetona. Finalmente, las nanopartículas se secan a 50°C en estufa de vacío durante 8h.

Solución de electrohilado.

Se agrega el compuesto de (TiO_2/PA) a la siguiente solución de electrohilado. Se disuelve previamente el polímero de acrilo-nitrilo (PAN) en N,N-dimetilformamida (DMF) en diferentes concentraciones (10 al 20% en peso). Una vez disuelto el polímero se agregan 100 mg de nanopartículas previamente preparadas a la solución de polímero y se agita por 10 min a 100 rpm hasta homogenizar la solución.

Proceso de electrohilado.

En el proceso de electrohilado se usó un equipo Nanospinner™ NS24 marca Inovenso® con control de alta precisión de voltaje, distancia al colector, flujo de polímero, diferentes tipos de colector, temperatura y humedad. La solución de polímero modificada con las nanopartículas tipo core-shell se coloca en una jeringa con aguja metálica, a la cual, se conecta a una fuente de alimentación de alto voltaje (20 kV) en el polo positivo. El polo

 ISSN: 2007 8102

negativo se conecta a un colector conductor giratorio para formar un campo eléctrico (Figura1). El colector se coloca a una distancia de 12 cm respecto a la aguja. La solución es bombeada desde la jeringa hasta la aguja metálica a un flujo de 0.5 mL/h durante 5h a temperatura (23°C) y humedad controlada (10%). Se usa una aguja del número G22 (0.7mm), un voltaje de 15kV a 300 rpm. Los materiales poliméricos electrohilados fueron previamente analizados con un microscopio óptico VELAB® modelo Siedentopf VE-B6 utilizando resoluciones 4,10 y 40X, esto con el fin de observar la formación de fibras electrohiladas y optimizar los parámetros de electrohilado. Las nanofibras son caracterizadas por análisis termogravimétrico (TGA), calorimetría diferencial de barrido (DSC), microscopía infrarroja (FTIR), microscopía electrónica de barrido SEM.

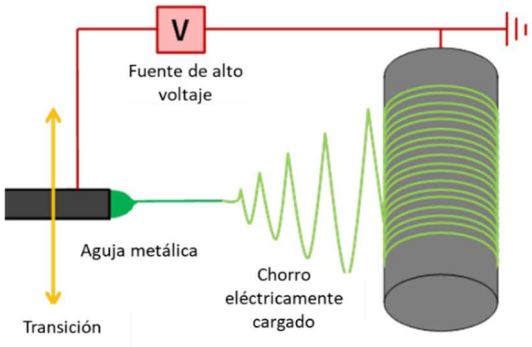
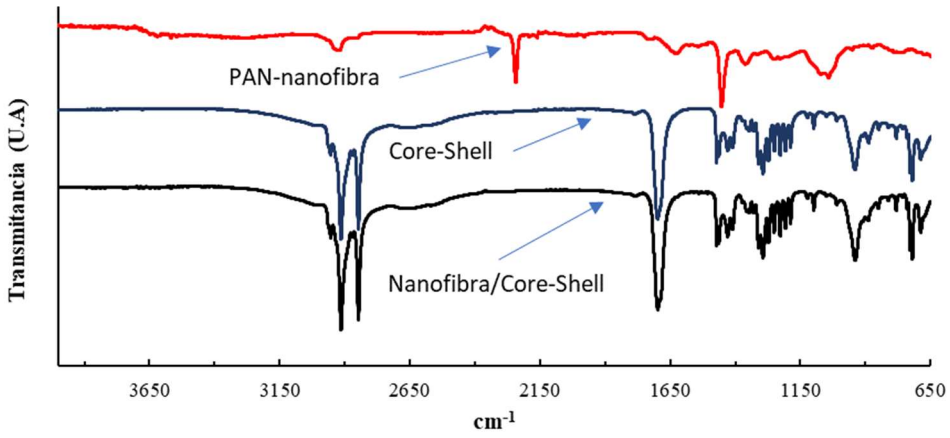


Figura 1. Esquema simplificado del proceso de electrohilado.

Resultados y discusión

Análisis FTIR

Las nanofibras de poli (acrilonitrilo) sin modificar y modificadas con las nanopartículas Core-Shell fueron analizadas mediante la técnica de espectroscopía de infrarrojo (FTIR) (Figura 2), usando un equipo FT-IR Nicolet™ iS™ 5 (ThermoScientific®) con cristal de diamante a 32 escaneos por muestra. Se muestran las bandas características del polímero PAN, la banda ubicada en 2242 cm^{-1} corresponde al grupo nitrilo (C≡N). Las vibraciones de los grupos CH alifáticos (CH, CH_2 y CH_3) corresponden a las bandas ubicadas en 2928, 1450, 1354 cm^{-1} y 1246 cm^{-1} respectivamente. La banda mostrada en 1623 cm^{-1} se asignó al grupo amida. Como se muestra en la Figura. 2, todos los picos característicos del PA y TiO_2 se pueden encontrar en la estructura core-shell y en la incorporación con la nanofibra. Se presentan dos bandas de absorción en 2913 y 2846 cm^{-1} correspondientes a las vibraciones de estiramiento del grupo -CH_2. Se presentan dos bandas de absorción débiles en 2954 y 2871 cm^{-1} correspondientes a las vibraciones de estiramiento del grupo -CH_3 del ácido palmítico (PA). La banda localizada en 936 cm^{-1} corresponde a la vibración fuera del plano del grupo -OH. Las bandas de absorción alrededor de 3200 cm-1 y 1672 cm^{-1} pertenecen al estiramiento y deformación grupo funcional -OH en H_2O, mientras que los picos de absorción característicos de TiO_2 son alrededor de la región del infrarrojo lejano.

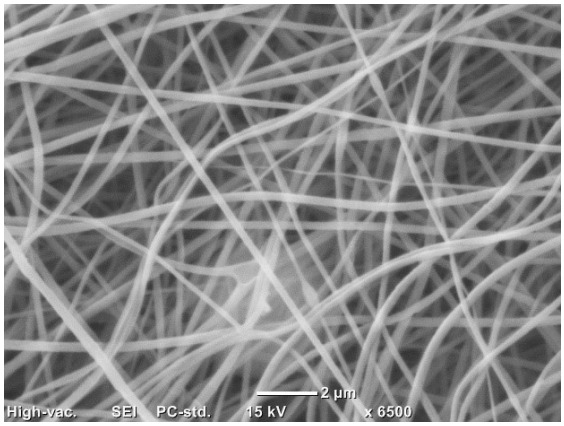


 ISSN: 2007 8102

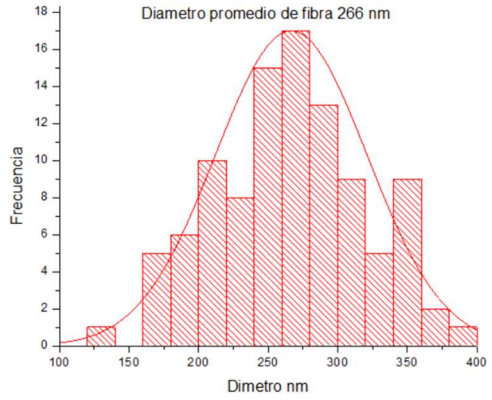
Figura 2. Comparación de los espectros de nanofibra modificada con el Core-Shell.

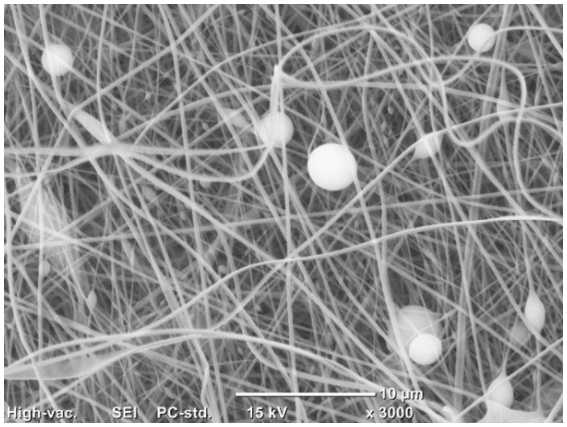
Análisis SEM.

La morfología de las nanofibras fue observada en un microscopio electrónico de barrido (SEM) (JEOL JSM-6390LV, Akishima, Japón). Las fibras fueron previamente montadas en un colector de aluminio con cinta conductora de cobre y recubiertas con una capa de Au. Se usó el software de análisis de imágenes imageJ® para determinar la distribución de diámetros de las fibras. En la figura 3a. Se muestra la nanofibra de PAN sin las nanopartículas con un tamaño promedio de 266 nm de diámetro. En la micrografía se puede apreciar la morfología de las fibras de tamaño relativamente uniforme, tubular, algunas aplanadas y sin poros. En la figura 3b. se muestra las nanofibras modificadas con el core-shell de tamaño promedio de 304 nm de estructura tubular si poros, las cuales presentan algunas estructuras tipo “beds”. Se muestran las estructuras core-shell presentes en las nanofibras con diferentes tamaños de diámetro entre 2 y 3.5 µm. Se observa que se requiere aumentar la concentración de nanopartículas para mejora el comportamiento de las fibras ante la radiación de infrarrojo y obtener una distribución más homogénea en las nanofibras.



a)





b)

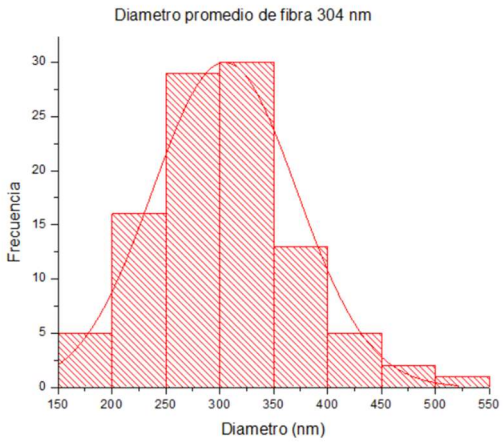


Figura 3. Microscopía electrónica de barrido. a) nanofibras de PAN, b) nanofibras modificadas con el Core-Shell.

Análisis de DSC

En la Figura 4, se muestra el análisis de la calorimetría diferencial de barrido (DSC equipo TA Instruments modelo 2010) de las fibras sin modificar y modificadas con la estructura core-shell. Se muestra que las nanofibras sin modificar presentan una aparente temperatura de transición vítrea (T_g) a 48 °C. Cuando las nanofibras son modificadas con la estructura core-shell estas presentan una temperatura de fusión (T_m) a 157 °C, esto debido al

 ISSN: 2007 8102

efecto de las nanopartículas. Este tipo de nanopartículas pertenecen a un grupo de materiales denominado: materiales de cambio de fase (PCM), los cuales presentan alta densidad de almacenamiento de energía calorífica, además, pueden liberan lentamente el calor latente, lo que los hace atractivos para sistemas de refrigeración pasiva. Los eventos de la transición térmica de fusión en la fibra modificada con la estructura core-shell indica un aumento en los dominios cristalinos de este sistema mostrando que la distribución de las nanopartículas en la fibra tiende a ser homogénea.

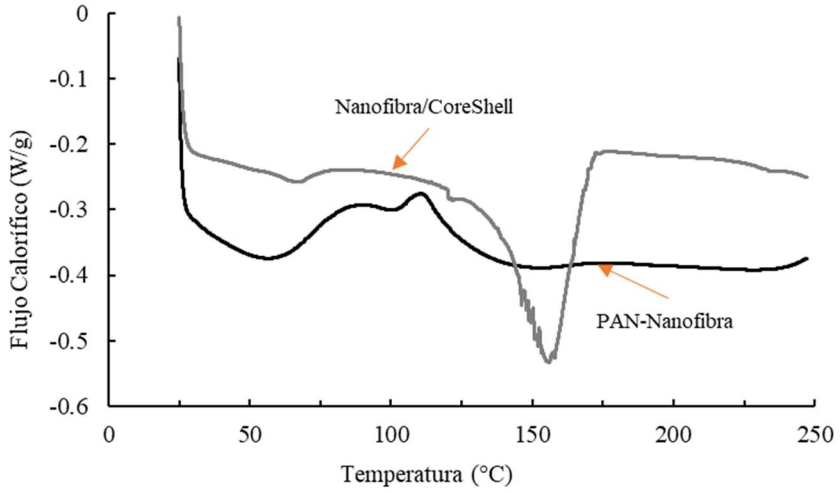


Figura 4. Se muestra la calorimetría diferencial de barrido de las fibras sin modificar y modificadas con el core-shell.

Análisis termogravimétrico (TGA).

En la Figura 5, se muestra el análisis termogravimétrico de las fibras sin modificar y modificadas con la estructura core-shell (se utilizó el equipo TGA Q50 (TA Instruments, New Castle, DE). El análisis termogravimétrico se realizó en atmósfera de nitrógeno a 10 °C min^{-1}. En esta figura se observa la descomposición térmica y la pérdida del 10% en masa para las fibras presentadas. En el caso de la nanofibra se presenta la descomposición del 10% a 291°C. Para la nanofibra modificada con el core-shell la pérdida del 10% en peso se incrementa con el incremento de la temperatura mostrando un valor de 435°C, este incremento se debe a la mayor resistencia térmica del sistema core-shell, almacenando o disipando la energía térmica a la cual está sometido. Este comportamiento puede dar lugar a la formación de un sistema de nanofibra de cambio de fase (PCN) muy útil en sistemas de almacenamiento de energía o bien refrigeración.

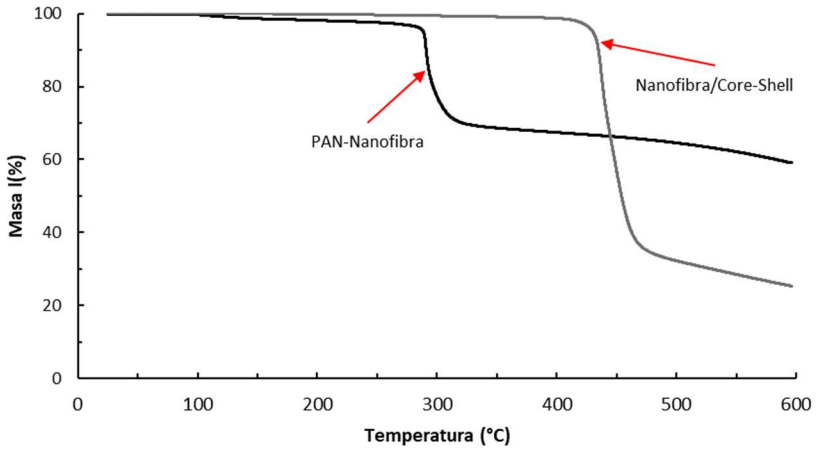


Figura 5. Análisis termogravimétrico de las diferentes nanofibras.

Trabajo a futuro

 ISSN: 2007 8102

Se pretende realizar la modificación con los agentes radiopacificantes de la radiación infrarroja en polímeros transparentes mediante la técnica de electrohilado y principalmente mediante el encapsulado en dos películas de polímero previamente procesado. Se pretende usar otros compuestos nanométricos con características opacificantes de la radiación de infrarrojo. La finalidad de este modelo es poderlo aplicar a ventanas de casas y oficinas o parabrisas de autos para disminuir la temperatura interna y hacer más eficiente el uso de dispositivos de enfriamiento activo. Se pretende realizar los estudios de emisión y transmisión de energía de los diversos sistemas estudiados para complementar la investigación de los materiales como opacificantes de la radiación de infrarrojo.

Conclusiones

En este proyecto se encontraron las condiciones para la obtención de las nanofibras de PAN/coreshell de un tamaño nanométrico homogéneo y con el menor número de defectos posibles (beds), usando una concentración final del 12% en N,N dimetilformamida, adicionando 100 mg del compuesto PA/TIO_2, el cual no altero la morfología de las nanofibras, pero si aumento el tamaño debido a una mayor interacción electrostática entre el colector y la solución durante su síntesis. Los materiales empleados como el core-shell tienen propiedades de reflectancia de la radiación infrarroja lo que permitirá enfriar las superficies. Sin embargo, quedan pendientes estudios de irradiación solar controlada de superficies para demostrar su efecto. En este trabajo se obtuvieron en promedio nanofibras de 266 nm de PAN y aumento a 304 nm con la incorporación de la estructura Core-Shell. Las esferas de material opacificante PA/TIO_2 tienen un tamaño entre 2 y 3.5 µm con una distribución aceptable en el interior de las fibras según se pudo comprobar con el análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC) y termogravimétrico. El análisis de IFTR mostró la incorporación del core-shell a la estructura interna de las nanofibras. El análisis térmico mostro el comportamiento funcional como radiopacificante del sistema nanofibra-core-shell al presentar transiciones térmicas para el almacenamiento y emisión de energía calorífica. Este método de síntesis de materiales opacificantes tiene el potencial para ser utilizado en la fabricación de sistemas de refrigeración pasiva a bajo costo en comparación con sistemas fotónicos o bien de refrigeración activa.
.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México/IT Nuevo León por su apoyo para participar en este congreso, así como el apoyo de la convocatoria PROYECTOS DE INVESTIGACIÒN CIENTIFICA 2021-1 clave

Referencias

[1] Family, R., Mengüç, M.P., 2017. Materials for Radiative Cooling: A Review. Proced. Environm. Sci. 38, 752-759.
[2] Meijie, Chen., Dan, Pang., Xingyu, Chen., Hongjie, Yan., Yuan, Yang., 2021. Passive daytime radiative cooling: Fundamentals, materialdesigns, and applications. EcoMat. 4, 1-18.
[3] Hossain, M.M., Gu, M., 2016. Radiative cooling: Principles, progress, and potentials. Adv. Sci. 3, 1500360.
[4] Zhai, Y., Ma, Y., David, S.N., Zhao, D., Lou, R., Tan, G., Yang, R., Yin, X., 2017. Scalable-manufactured randomized glass-polymer hybrid metamaterial for daytime radiative cooling. Sci. 355, 1062-1066.
[5] Wang, Q., Gu K.H., Zhang, Z., Hou, P., Shen, Z., Fan, X.H., 2018. Morphologies and photonic properties of an asymmetric brush block copolymer with polystyrene and polydimethylsiloxane side chains. Polym. 156, 169-178.
[6] Andrea, Lanfranchi., Andrea, Lanfranchi., Heba, Megahd., Paola, Lova., Davide, Comoretto., 2022. Multilayer Polymer Photonic Aegises Against Near-Infrared Solar Irradiation Heating. ACS Applied Materials & Interfaces. 14, 13991-14836.
[7] Yu, W., Shen, L., Long, Y., Shen, P., Guo, W., Chen, W., Ruan, S., 2014. Highly efficient and high transmittance semitransparent polymer solar cells with one-dimensional photonic crystals as distributed Bragg reflectors. Org. Electron. 15, 470-477.
[8] Mahajan, L.H., Ndaya, D., Deshmukh, P., Ahn, S., Kasi, R.M., 2017. 1D Photonics Materials Through Self-Assembly of Polymers. Compre. Supramol. Chem. II. 321-327.
[9] Alay, S., Göde, F., Alkan, S., 2010. Preparation and characterization of poly(methylmethacrylate-coglycidyl

 ISSN: 2007 8102

methacrylate)/n-hexadecane nanocapsules as a fiber additive for thermal energy storage, Fiber. Polym. 11 1089-1093.

[10] Mengxia, Duan., Jishuai, Sun., Yequn, Huang., Haixin, Jiang., Yaqin, Hu., Jie, Pang., Chunhua, Wu., 2023. Electrospun gelatin/chitosan nanofibers containing curcumin for multifunctional food packaging. Food Science and Human Wellness. 12, 614-621.

[11] Da Silva, G.R., Lim, T.H., Fernandes-Cunha, G.M., Oréfice, R.L., Da Silva-Cunha A., Zhao, M., Behar-Cohen, F., 2019. Ocular biocompatibility of dexamethasone acetate loaded poly(n-caprolactone) nanofibers. Europ. J. Pharm. Biopharm. 142, 20-30.

[12] Li, S., Cui, Z., Li, D., Yue, G., Liu, J., Ding, H., Gao, S., Zhao, Y., Wang, N., Zhao, Y., 2019. Hierarchically structured electrospinning nanofibers for catalysis and energy storage. Compos. Commun. 13, 1-11.

[13] Yang, L., Yang, P., Wang, J., Hao, Y., Li, Y Lin, H., Xiaochong, Z., 2019. Low-temperature preparation of crystallized graphite nanofibers for high performance perovskite solar cells. Sol. Energy. 193, 205-211.

[14] Daniela, Lubasova., Anil. N, Netravali., 2020. A Novel Method for Electrospinning Nanofibrous 3-D Structures. Fibers. 8, 27

[15] Ko, F., Wan, Y. Introduction to Nanofiber Materials; Cambridge University Press: Cambridge, 2014.

[16] Nawaf. N, Hamadneh., Waseem. S, Khan., Waqar. A, Khan., 2019. Prediction of thermal conductivities of polyacrylonitrile electrospun nanocomposite fibers using artificial neural network and prey predator algorithm. Journal of King Saud University – Science. 31, 618-627

[17] Xiankui, Xu., Lei, Zhang., Shihua, Zhang., Yanpeng, Wang., Baoying, Liu., and Yanrong, Ren., 2020. Core–Shell Structured Phenolic Polymer@TiO2 Nanosphere with Enhanced Visible-Light Photocatalytic Efficiency. Nanomaterials. 10, 467.

 ISSN: 2007 8102

Evaluación de los rendimientos de biomasa probiótica a partir de BSG utilizando *L. acidophilus* y *L. casei*

I. Díaz-González[1], J. Estrada-Garcia[1], E. Hernández-Aguilar[2], V. Rodríguez-Rivera[1], J. M. Méndez-Contreras[1]*
[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba, Oriente 9 852, Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, México,
*[2]Universidad Veracruzana Facultad de Ciencias Químicas, Prol. Avenida Oriente 6 1009, Rafael Alvarado C.P. 94340, Orizaba, México * juan.mc@orizaba.tecnm.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

La valorización de los granos gastados de cerveza (BSG) mediante la transformación de sus componentes en subproductos beneficiosos puede tener implicaciones significativas tanto desde el punto de vista ambiental como económico. El presente estudio resalta la relevancia de aprovechar los subproductos de la producción de cerveza artesanal mediante procesos fermentativos que involucren las cepas probióticas *L. acidophilus* y *L. casei*. El objetivo principal de esta investigación es analizar cómo evolucionan los parámetros de ST, STV, pH y consumo de carbohidratos durante este proceso, para esto, se utilizó el 10% v/v de inóculo de las cepas probióticas y 4% p/p de BSG, el proceso tuvo un periodo de 72 h donde se alcanzó una reducción de STV de 79.33% y una disminución de 2.60% de STV para *L. acidophilus* y una disminución de 100% y 2.33% para *L. casei* respectivamente, en cuanto a los rendimientos de Biomasa, *L. acidophilus* demostró ser más eficiente en cuanto a producción, con un valor de 0.4777 g de biomasa/g de carbohidratos en comparación con *L. casei* que tuvo un rendimiento de 0.2387 g de biomasa/g de carbohidratos, sin embargo, ambas cepas logran disminuir la carga de materia orgánica y aumentar significativamente el porcentaje de proteínas y nitrógeno, lo que hace viable este proceso fermentativo para la valorización de BSG mediante el proceso fermentativo.

***Palabras clave**: Granos gastados de cervecería, Biomasa, Probióticos*

Abstract

The valorization of brewers' spent grains (BSG) by transforming its components into beneficial byproducts can have significant implications from both an environmental and economic point of view. This study highlights the relevance of taking advantage of the byproducts of craft beer production through fermentative processes that involve the probiotic strains L. acidophilus and L. casei. The main objective of this research is to analyze how the parameters of ST, STV, pH and carbohydrate consumption evolve during this process. For this, 10% v/v inoculum of the probiotic strains and 4% w/w BSG, the process had a period of 72 h where a reduction of TVS of 79.33% and a decrease of 2.60% of TVS for L. acidophilus and a decrease of 100% and 2.33% for L. casei, respectively, were reached in terms of yields. For biomass, L. acidophilus proved to be more efficient in terms of production, with a value of 0.4777 g of biomass/g of carbohydrates, compared to L. casei, which had a yield of 0.2387 g of biomass/g of carbohydrates; however, both strains managed to reduce the load of organic matter and significantly increase the percentage of proteins and nitrogen, which makes this fermentation process viable for the valorization of BSG through the fermentation process.

***Key words**: Brewer's spent grains, Biomass, Probiotics*

Introducción

La valorización de subproductos agroindustriales se ha convertido en una alternativa atractiva debido a sus efectos en la reducción de residuos e impactos ambientales, particularmente cuando se utilizan para la alimentación mundial [1]. Diversos residuos agroindustriales han sido estudiados debido a sus propiedades,

 ISSN: 2007 8102

componentes nutricionales y perspectivas biotecnológicas para el desarrollo y obtención de nuevos productos, como biodiesel, bioetanol, biomasas, ácidos grasos, entre otros [2].

Los granos gastados de cervecería o brewers' spent grain (BSG, por sus siglas en inglés) son el mayor subproducto de la elaboración de cerveza el cual representa el 85% de todos los subproductos, siendo las fracciones restantes levadura y lúpulo gastados [3]. Los BSG son producidos en la etapa de maceración donde se separa el mosto (líquido rico en azúcar) que procederá a producir cerveza siendo expulsada la fracción sólida remanente (BSG) como subproducto. Siendo generados aproximadamente 20 kg de granos gastados por cada 100 L de cerveza producida [4]. Este residuo se caracteriza por contener fibra (> 70%), además de celulosa, hemicelulosa y lignina, y un contenido en proteínas de 25 a 30% [5].

El BSG es considerado como un sustrato viable para el crecimiento microbiano debido a su composición lignocelulósica que pueden ser fuentes importantes de generación de biomasa [6]. La fermentación microbiana es utilizada ampliamente para convertir diversas fuentes de carbono en productos de valor añadido a través la actividad fermentativa de las BAL [7] logrando así un aumento en el valor nutricional de las proteínas del subproducto obtenido.

Lactobacillus acidophilus es una de las especies más conocidas de la familia de las bacterias acido lácticas (BAL), las cuales tienen la característica de producir biomasa con un alto valor probiótico y ácido láctico (AL). se encuentra tanto en el tracto gastrointestinal como en el vaginal de humanos y animales. Es capaz de impedir la invasión de patógenos, alterar la respuesta del sistema inmunitario tanto in vitro como in vivo y producir compuestos bacterio-estimulantes similares a la bacteriocina, así como ácidos reductores del pH intestinal [8]. Crece de manera óptima a temperaturas de 35-40 °C y pH de 5.5-6.0, tiene gran capacidad de absorber y catabolizar carbohidratos complejos que son difíciles de digerir [8].

Lactobacillus casei es un probiótico que ha sido estudiado y se ha demostrado que mejora la salud gastrointestinal estimulando la inmunidad del huésped e inhibiendo la adherencia de patógenos a las células intestinales y a la mucosa, es una bacteria Gram-positiva y heterofermentativa, esta se distribuye en una gran variedad de hábitats como productos lácteos, vegetales y cereales fermentados, así como el tracto gastrointestinal de humanos y animales [9].

El contenido de materia orgánica normalmente es representado por los sólidos volátiles que a su vez es hidrolizada para formar ácidos grasos volátiles y otros componentes [10], lo que hace que estos parámetros cobren mayor importancia en el estudio de procesos de biotransformación. De modo que en este estudio se evaluó el comportamiento de sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV), pH y carbohidratos durante el proceso fermentativo de BSG utilizando dos bacterias probióticas *L. casei* y *L. acidophilus* durante 72 h, a 37 °C y agitación constante, con el fin de establecer una relación entre la materia orgánica degradada con la producción de biomasa probiótica (la cual fue caracterizada al término del proceso) y sus rendimientos.

Metodología

Caracterización y acondicionamiento de los residuos

Se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica de los BSG para conocer su composición, propiedades y niveles nutricionales, para ello se determinaron los sólidos totales (ST), los sólidos totales volátiles (STV), el pH con potenciómetro Science MED SM-3BW, el nitrógeno total (4500-NTK C SM), las proteínas indicadas por el método Micro Kjeldahl [11] y los carbohidratos determinados por el método antrona-sulfúrico [12].

Proceso de fermentación probiótica

Para el proceso de fermentación se prepararon matraces Erlenmeyer de 250 mL, con un volumen de 100 mL, el inóculo de bacterias probióticas (*L. casei* y *L. acidophilus*) y sustrato con una concentración de 10% y 4% respectivamente. Este proceso se supervisó en tres bloques durante tres días a una temperatura de 36° C y una agitación de 110 rpm como se ilustra en la Figura 1, se monitoreó el proceso cada 18 h hasta el término del

 ISSN: 2007 8102

periodo de incubación. Durante el proceso fermentativo se determinaron los parámetros de ST, STV y pH, se centrifugó la biomasa obtenida y se realizó una caracterización donde se determinó el contenido de proteínas y nitrógeno total.

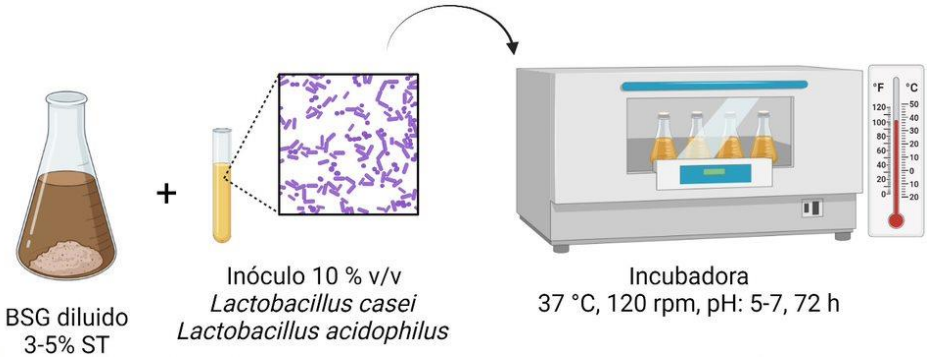


Figura 1. Metodología del proceso de biotransformación de residuos BSG utilizando *Lactobacillus casei* y *Lactobacillus acidophilus*.

Se realizó una tinción de Gram para cada especie probiótica (*L. casei y L. acidophilus*) esto con el objetivo de poder visualizar este grupo de bacterias Gram que se presentaron a lo largo del proceso de fermentación [13]. Finalmente se determinó el rendimiento de biomasa al finalizar el proceso fermentativo de ambas cepas probióticas utilizando las Ecuaciones 1 y 2 que se presentan a continuación.

$$Rendimiento\ de\ Biomasa = \frac{concentración\ de\ biomasa\ (g/L)}{consumo\ de\ carbohidratos\ (g/L)} \quad (1)$$

$$\%\ Consumo\ de\ carbohidratos = \frac{carbohidratos\ iniciales\ -\ carbohidratos\ finales}{carbohidratos\ iniciales} * 100 \quad (2)$$

Resultados y discusión

Parámetros fisicoquímicos del residuo

De acuerdo con lo observado en la Tabla 1 Se obtuvieron los valores de los parámetros de ST con un valor de 4.43%, STV de 92.83%, equivalente a lo reportado por otros autores [14] quienes obtuvieron un valor para STV de 92.10% según el caso estudiado para el BSG, un valor de pH de 5.00, similar a otros que obtuvieron un valor de pH similar para este mismo tipo de residuo [15]. Como elemento de la caracterización química se obtuvieron los valores para los tres principales componentes de la materia orgánica siendo carbohidratos, proteínas y nitrógeno. Se obtuvo una concentración de carbohidratos de 14.80 g/L, seguidos de proteínas con un 11.29% y nitrógeno con 1.80 mg/kg ST, el cual se encuentra dentro del rango reportado por otros autores que realizaron una caracterización de subproductos lignocelulósicos [16].

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica del residuo BSG en base seca.

Parámetro	Unidad	Residuo BSG
Sólidos totales	% m/m	4.43
Sólidos totales volátiles	% m/m	92.83
Carbohidratos	g/L	14.80
Proteínas	%	11.29
Nitrógeno	mg/kg ST	1.80
pH	----	5.00

 ISSN: 2007 8102

Comportamiento de ST, STV y Ph durante el proceso fermentativo

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 2 durante el proceso fermentativo utilizando *L. acidophilus* se presentó un decremento de los ST y STV a la hora 36, esto debido a que, tuvo lugar una descomposición biológica por los microrganismos en este debido al contenido lignocelulósico del sustrato, teniendo un periodo similar a lo reportado por otros autores [17], los microrganismo hidrolizaron las paredes celulares del sustrato solubilizando la materia orgánica y rompiendo enlaces específicos, sin embargo, estos son considerados como materia orgánica [18], es por ello que en la hora 48 se observó un incremento en los ST y STV, así mismo estos microorganismos continuaron con su metabolismo sintetizando a las proteínas y aminoácidos [19], por esta razón en el último periodo de este proceso fermentativo se observó la disminución de los ST . En cuanto al pH presentó un incremento al final del proceso debido a los ácidos orgánicos que se producen durante el proceso fermentativo.

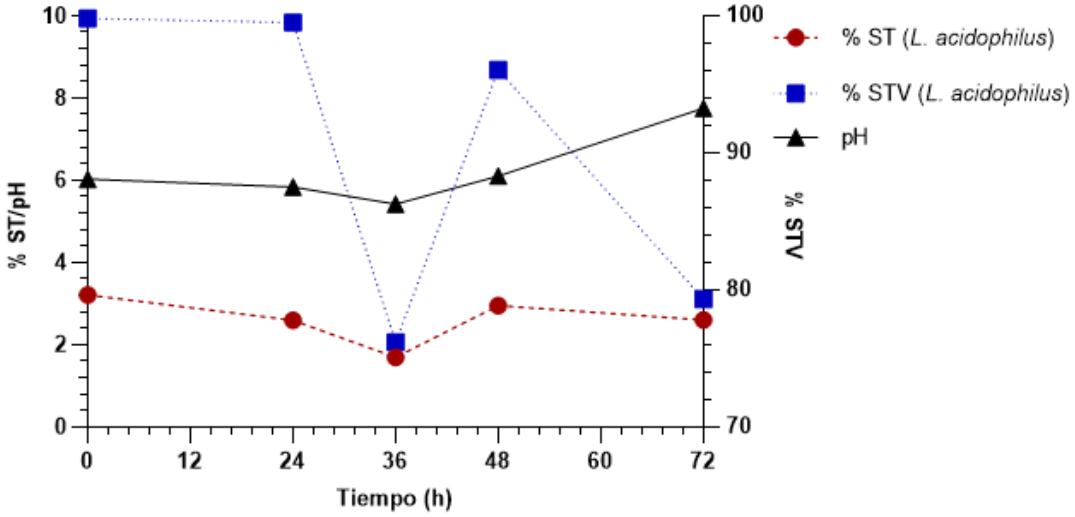


Figura 2. Curvas de ST, STV y pH para *L. acidophilus*

La Figura 3 muestra la gráfica representante del proceso fermentativo utilizando *L. casei*, inicialmente, al comienzo del proceso, se observa una disminución en la concentración de ST y STV, ya que *L. casei* está utilizando la materia orgánica que contiene el sustrato como fuente de energía para su desarrollo y actividad metabólica, sin embargo, al término del proceso fermentativo, se produjo un aumento en los STV, a causa de las síntesis de metabolitos o la formación de productos secundarios, siendo una actividad característica de este tipo de BAL [20], en consideración a los ST estos presentaron un ligero decremento al final del proceso fermentativo, debido a la acción metabólica de *L. casei*, lo que llevó a la degradación continua de los componentes orgánicos. Respecto a la curva del pH, esta incrementó ya que el medio se volvió más alcalino a medida que el proceso fermentativo progresó, esto se relaciona con la producción de subproductos como son los ácidos orgánicos entre otros metabolitos [21].

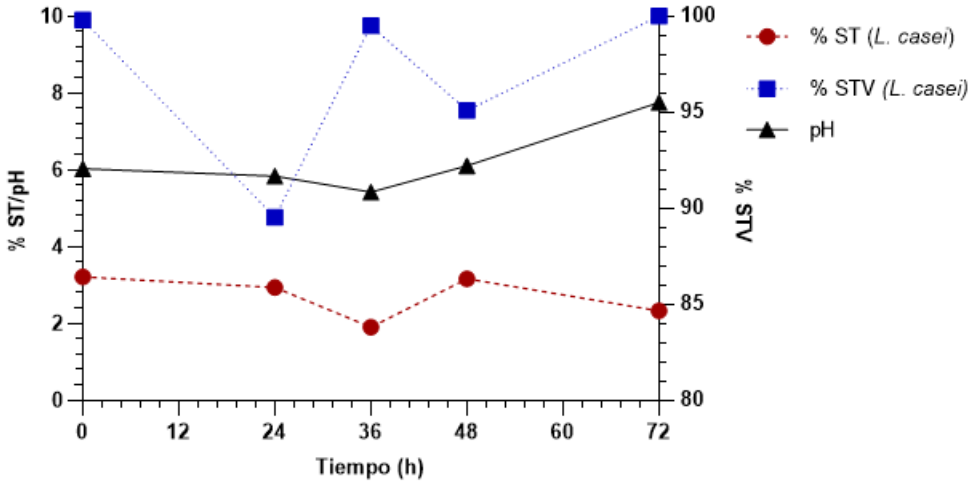
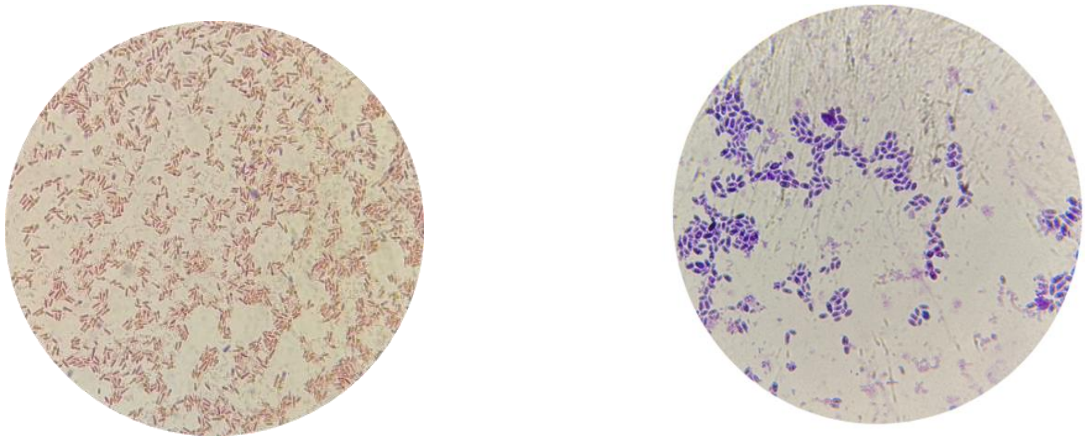


Figura 3. Curvas de ST, STV y pH para *L. casei*

 ISSN: 2007 8102

En la Figura 4 se presenta el resultado bajo la tinción de Gram de las especies probióticas *L. casei* y *L. acidophilus,* donde ambas son bacterias Gram positivas, estas bacterias probióticas presentan una coloración violeta. Del mismo modo, la forma de estas bacterias asemeja a la de bastones, en este caso cortas y gruesas para *L. casei* (Figura 4a) [22] y formas de bastones largos y delgados que forman ramificaciones para *L. acidophilus* (Figura 4b) [23]. Cabe destacar que para la Figura 4(a), se realizó la tinción con la muestra del proceso fermentativo, y debido a la materia orgánica presente se observó una tonalidad distinta a la figura b, la cual es una cepa pura que se obtuvo al aislar *L. acidphilus*, por esta razón, la figura a no presenta un color intenso violeta.



(a) **(b)**

Figura 4. Tinción de Gram de las especies (a) *L. casei* (Grampositiva) y (b) *L. acidophilus*

Caracterización final de la biomasa y rendimientos

Terminado el proceso fermentativo, se llevó a cabo una centrifugación para obtener la biomasa, con posterioridad se realizó una caracterización a esta misma, con el objetivo de evaluar y conocer su calidad, dado que se espera conseguir una biomasa con un valor nutritivo debido a la acción probiótica que realizaron los microrganismos a lo largo de la fermentación. en la Figura 5a se presenta el residuo antes del proceso fermentativo, la figura 5b muestra la biomasa obtenida mediante la acción de *L.casei* y en la figura 5c la biomasa que se obtuvo al utilizar *L.acidophilus* Después del proceso fermentativo, la biomasa presenta una notable similitud en cuanto a textura con el residuo original, sin embargo, ahora se distingue por la incorporación de nutrientes esenciales como el nitrógeno y proteína entre otros.



(a) **(b)** **(c)**

Figura 5. Residuo BSG y Biomasa obtenida al término del proceso fermentativo (a) BSG, (b) *L. casei* y (c) *L. acidophilus*

 ISSN: 2007 8102

Finalmente, la Figura 6 presenta los resultados de la caracterización final de la biomasa comparando los valores de proteínas y nitrógeno producido por las dos cepas probióticas (*L. casei* y *L. acidophilus)*. Los datos obtenidos indican que *L. acidophilus* ha demostrado un relevante incremento en la producción de proteínas con un porcentaje de 19.02% y nitrógeno con un porcentaje de 3.04% en comparación con *L. casei*, esto se refleja en la gráfica, donde la barra correspondiente a *L. acidophilus* se eleva significativamente por encima de la barra que representa *L. casei* donde los resultados para esta cepa fueron de 14.56% y 2.33% respectivamente ($p < 0.05$). Es importante mencionar, que ambas cepas probióticas aumentaron el contenido de proteínas y nitrógeno en comparación con los valores iniciales.

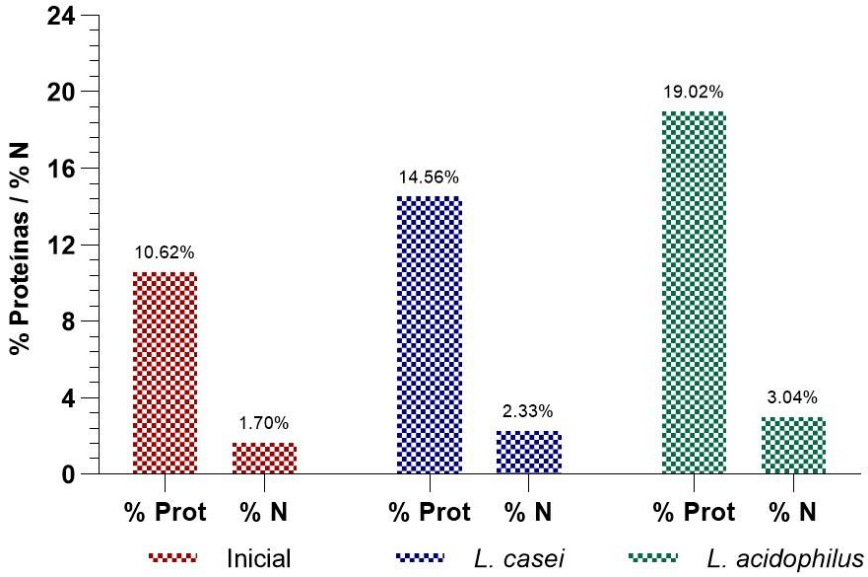


Figura 5. Contenido de proteínas y nitrógeno total de las biomasas obtenidas con *L. casei* y *L. acidophilus*, y residuo inicial.

Una vez completado el proceso de fermentación, se determinaron los rendimientos de biomasa para *L. casei* y *L. acidophilus*, la cepa *L. casei* produjo un rendimiento de 0.2387 g de biomasa/g de carbohidratos, mientras que *L. acidophilus* alcanzó un valor de 0.4777 g de biomasa/g de carbohidratos ($p < 0.05$). Estos resultados indican que la cepa *L. acidophilus* es significativamente más eficaz en cuanto la producción de biomasa durante el proceso fermentativo en comparación con la cepa *L. casei.*

Trabajo a futuro

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación se emplearán como punto de partida para futuras investigaciones enfocadas en aumentar la producción de biomasas nutritivas mediante el uso de microrganismos probióticos. Se realizarán variaciones en los porcentajes de inóculo con la finalidad de determinar la relación alimento/microorganismo para poder lograr maximizar el rendimiento de biomasa, así mismo, se caracterizará la biomasa para conocer sus componentes nutriciones y su idoneidad como un suplemento alimenticio de alto valor nutritivo con potencial de consumo humano.

Conclusiones

El proceso fermentativo del BSG utilizando las cepas *L. acidophilus* y *L. casei* ha demostrado ser un método efectivo para la reducción de materia orgánica y generación de biomasa con valores nutritivos; obteniendo un incremento de pH con un valor final de 7.75 utilizando *L. acidophilus*. Para el proceso fermentativo utilizando *L. casei* dio como resultado una disminución gradual en los STV, lo que sugiere una degradación y consumo de materia orgánica, sin embargo, al llegar al final del proceso, se ha registrado un notorio aumento, alcanzando el

100 %, respecto a los ST se ha identificado un decremento con un valor de 2.33 %. En cuanto a la valoración de la biomasa obtenida, se encuentra que ambas cepas probióticas aumentan el porcentaje de proteínas y de nitrógeno a lo largo del proceso, sin embargo *L. acidophilus* tiene un mayor aumento en comparación con *L. casei*, alcanzando un porcentaje de proteínas de 19.02 % y Nitrógeno 3.04 %, mientras que *L. casei* obtuvo un valor de 14.56 % y 2.33 % respectivamente logrando alcanzar porcentajes de rendimiento de biomasa de 0.2387 g de biomasa /g de carbohidratos, para L. casei y 0.4777 g de biomasa / g de carbohidratos para *L. acidophilus*, siendo este último el que presenta mayor potencial para la producción de biomasa. Los resultados de este estudio resaltan el potencial de utilizar bacterias probióticas como *L. acidophilus* y *L. casei* en la valorización de los subproductos de la cerveza artesanal, contribuyendo a la reducción de la carga contaminante y ofreciendo oportunidades para la obtención de subproductos con valor económico, energético y con benéficos para la salud.

Referencias

[1] J. Naibaho, and M. Korzeniowska, “Brewers’ spent grain in food systems: Processing and final products quality as a function of fiber modification tretament,” *Journal of Food Science*, vol. 86, no. 5, pp. 1532-1551, 2021

[2] P. R. Yaashikaa, P. S. Kumar, and S. Varjani, “Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery and circular bioeconomy: A critical review,” *Bioresource Technology*, vol. 343, p. 126126, 2022.

[3] E. J. Lao, N. Dimoso, J. Raymond, and E. R. Mbega, “The prebiotic potential of brewers´spent grain on livestock’s health: a review,” *Tropical Animal Health and Production*, vol. 52, pp. 461-472, 2020.

[4] A. Chetrariu, and A. Dabija, “Brewers’ spent grains: possibilities of valorization, a review,” *Applied Sciences*, vol. 10, p. 5916, 2020.

[5] V. V. Zeng, W. Huang, X. Tian, X. Hu, and Z. Wu, “Brewers´spent grain fermentation improves its soluble sugar and protein as well as enzymatic activities using *Bacillus velezensis*,” *Process Biochemistry*, vol. 111, pp. 12-20, 2021.

[6] A. Bianco, M. Budroni, S. Zara, I. Mannazzu, F. Fancello, and G. Zara, “The role of microorganisms on biotransformation of brewers’ spent grain,” *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 104, no. 20, pp. 8661-8678. 2020. https://doi.org/10.1007/s00253-020-10843-1

[7] L. hang, T. Tsui, Y. W. Tong, S Sharon, O. Shoseyov, and R. Liu ”Biochar Applications imicrobial fermentation processes for producing non-methane products: Current status and future prospects,” *Bioresource Technology*, p. 129478. 2023. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129478

[8] D. I. Romero-Mota, J. Estrada-García, A. Alvarado-Lassman, and J. M. Méndez-Contreras “Growth kinetics of *Lactobacillus acidophilus* during the anaerobic biotransformation process of agro-sugarcane waste,” *Waste and Biomass Valorization.* 2023. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2106883/v1

[9] D. Da Silva Barreira, P. Lapaquette, J. N. Ducassou, Y. Couté, J. Guzzo, and A. Rieu, “Spontaneous prophage induction contributes to the production of membrane vesicles by the Gram-Positive bacterium *Lacticaseibacillus casei* BL23. *MBio*. vol. 13, no. 5, 2022. https://doi.org/10.1128/mbio.02375-22

[10] N. Nava-Valente, E. Hernández-Aguilar, A. Alvarado-Lassman, and J. M. Méndez-Contreras, “Effect of acid pretreatment on the anaerobic codigestion of sewage sludge, chicken litter, and sugarcane waste (SCW) for biogas production,” *BioEnergy Research*, 2022.

[11] S. Arunima and S. Verulkar, “Comparative analysis of different protein estimation methods,” *The Pharma Innovation Journal*, vol. 11, no. 4S, pp. 2091-2095. 2022.

[12] M. Kurzyna-Szklarek, J. Cybulska, and A. Zdunek, “Analysis of the chemical composition of natural carbohydrates – An overview of methods,” *Food Chemistry*, vol. 394, p. 133466. 2022. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133466

[13] J. A. Tantray, S. Mansoor, R. F. C. Wani, and N. U. Nissa, “ Gram staining of bacteria,” *Elsevier eBooks*, pp. 181-183. 2023. https://doi.org/10.1016/b978-0-443-19174-9.00043-x

[14] M. Carlini, D. Monarca, S. Castellucci, A. Mennuni, L. Casini, and S. Selli, “Beer spent grains biomass for biogas production: characterization and anaerobic digestion-oriented pre-treatments,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 921-929. 2021. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.07.049

[15] K. Milew, S. Manke, S. Grimm, R. Haseneder, V. Herdegen, and A. S. Braeuer, “Application, characterisation and economic assessment of brewers’ spent grain and liquor,” *Journal of the Institute of Brewing*, vol. 128, p. 96108. 2022. https://doi.org/10.1002/jib.697

[16] M. O. Fajobi, O. A. Lasode, A. A. Adeleke, P. Ikubanni, and A. O. Balogun, “Investigation of physicochemical characteristics of selected lignocellulose biomass,” *Scientific Reports*, vol. 12, no. 1, 2022. https://doi.org/10.1038/s41598-022-07061-2

[17] Ma, Y.,Shang, X., Zhao, Y., Lu, X., and Liu, X. (2022) “Insights into organic matter evolution during food waste stabilization induced by 14-hour high-temperature fermentation”. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(12), 35064-35075. https://doi.org/10.1007/s11356-022-24717-8

[18] Wang, C., Cui Y., and Qu, X. (2017). “Mechanisms and improvement of acid resistance in lactic acid bacteria”. *Archives of Microbiology*, 200(2), 195-201.https://doi:10.1007/s00203-017-1446-2

[19] Bangar, S.P., Suri, S., Trif, M., and Özogul, F. “Organic Acids Production from lactic acid Bacteria: A preservation approach. *Food bioscienceK,* 46 101615. (2022). https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101615

[20] Sorensen, H. M., Rochofort, K.D., Maye, S., Macleod, G.H.B.,Brabazon, D., Loscher, C. E., and Freeland, B. (2022). “Exopolysaccharides of lactic acid bacteria: production, purification and health benefits towards functional food” *Nutrients,*14(14), 2938.https://doi.org/10.3390/nu14142938

[21] Ayivi, R. D., Gyawali, R., Krastanov, A., Aljalouds, S. O., Worku, M., Tahergorabi, R., Ibrahim, S.A, “Lactic Acid Bacteria: Food Safety and Human Health Applications. Dairy, 1(3),202-232.2022. https://doi.org/10.3390/dairy1030015

[22] L. M. Rocha Ramírez, U. Hernández Chiñas, S. S. Moreno Guerrero, A. Ramírez Pacheco, S. L. Castañón Alonso, and C. A. Eslava Campos, “Potencial probiótico in vitro y actividad antimicrobiana de Lactobacillus aislados de productos lácteos,” *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química 2022*, vol. 8, no. 8, 2022.

[23] H. Gao, X. Li, X. Chen, D. Hai, C. Wei, L. Zhang, and P. Li, “The functional roles of *Lactobacillus acidophilus* in different physiological and pathological processes,” *Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 32, no. 10, pp. 1226-1233. 2022. https://doi.org/10.4014/jmb.2205.05041

ISSN: 2007 8102

Capacidad antagónica de hongos filamentosos nativos de Teziutlán Puebla, contra los patógenos *Rhizoctonia Solani* y *Fusarium oxysporum*

J. León Baez [1], L. Márquez Pallares [2], M. Martínez Demetrio[1], M. Cantellano Jarillo [1]*
[1]Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Teziutlan jacky.leon.baez@gmail.com,
[2]Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Apizaco lmarquez@ite.edu.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

En los cultivos de hortalizas de la región de Teziutlán Puebla, existen patógenos que afectan principalmente en los invernaderos, los más comunes son *Rhizoctonia solani*, y *Fusarium spp*. El control de este tipo de plagas se realiza con productos químicos, que contaminan el suelo y el agua, por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad antagónica *in vitro* de cepas nativas de hongos filamentosos aislados del suelo de la región de Teziutlán Puebla, contra *Rhizoctonia solani* y *Fusarium spp.* Se realizaron confrontaciones duales entre patógenos y agentes antagónicos. La cepa P360 fue la que tuvo mayor antagonismo contra *Rhizoctonia solani* y las cepas J360, D500 contra *Fusarium spp.* Por lo que las cepas nativas de hongos filamentosos aislados en la región de Teziutlán Puebla, representan una alternativa viable para el control de patógenos en la producción de hortalizas.

***Palabras clave**: Control biológico, aislamiento de hongos filamentosos, capacidad antagónica de hongos.*

Abstract

In vegetable crops in the Teziutlán Puebla region, there are pathogens that mainly affect greenhouses, the most common are Rhizoctonia solani, and Fusarium spp. The control of this type of pests is carried out with chemical products, which contaminate the soil and water, so the objective of this study was to evaluate the in vitro antagonistic capacity of native strains of filamentous fungi isolated from the soil of the Teziutlán region Puebla, against Rhizoctonia solani and Fusarium spp. dual confrontations were carried out between pathogens and antagonistic agents. The P360 strain was the one that had the greatest antagonism against Rhizoctonia solani and the J360, D500 strains against Fusarium spp. Therefore, the native strains of filamentous fungi isolated in the Teziutlán Puebla region represent a viable alternative for the control of pathogens in vegetable production.

***Key words**: Biological control, fungal isolation, fungal antagonistic capacity.*

Introducción

De acuerdo con la FAO los cultivos agrícolas como lo son las hortalizas o cereales, presentan una pérdida de hasta un 40% en la producción por causa de plagas tales como mosca blanca, escarabajos (gallinas ciegas), mosca de la fruta, y por la presencia de microorganismos como bacterias y hongos, incluyendo *Rizhoctonia solani, Pythium spp., Sclerotinia spp.* y *Fusarium spp.* [1], que causan la pudrición y el marchitamiento de las cosechas y afecta tanto a las semillas que se encuentran germinando como a las plantas jóvenes. *Rhizoctonia solani* es un patógeno habitante del suelo que ataca especialmente cuando éste se cultiva en invernadero, provocando la caída de plántulas de jitomate [2]; otro patógeno que infesta el suelo del cultivo de hortalizas como el tomate, es *Fusarium oxysporum*, el cual puede permanecer por tiempo indefinido y debido al cultivo sucesivo en el mismo lugar, la población del hongo aumenta y, por ende, la incidencia de la enfermedad que produce marchitez vascular [3]. La búsqueda de microorganismos antagonistas para el control biológico de patógenos en cultivos de importancia económica, ha presentado un gran interés debido a sus potencialidades y a la gravedad de los impactos ecológicos causados por la constante y creciente aplicación de agroquímicos [4], estas sustancias

ISSN: 2007 8102

pueden conducir a la degradación parcial o total de compuestos que llegan a perturbar los niveles de un ecosistema, es por esta razón que son estimados por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) como contaminantes de fuentes de agua, debido a su toxicidad, persistencia y movilidad [5], ciertos plaguicidas han sido reconocidos como un riesgo para el medio ambiente y están prohibidos o rigurosamente restringidos por convenios internacionales como el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes que incluyen 12 productos químicos de los cuales 8 son plaguicidas [6]. Otros productos que causan daños ambientales son los fungicidas químicos que reducen la incidencia de enfermedades que se presentan en una gran variedad de cultivos agrícolas, además de su costo elevado, causan variación del pH, deterioro de la estructura del suelo y microfauna, por consecuencia existen repercusiones para la salud del consumidor, como la intoxicación por la presencia de toxinas [7]. El biocontrol de enfermedades tiene como propósito cambiar el equilibrio a favor del ecosistema, mediante un incremento artificial de microorganismos benéficos contra poblaciones patógenas, con la finalidad de favorecer la producción agrícola [8].

En la actualidad se han reportan un número representativo de hongos filamentosos que ostentan efectos antagónicos, lo que es aprovechado para control biológico de los patógenos de frutas y vegetales. Los géneros de hongos más empleados para este fin son*: Gliocladium y Trichoderma* [9], los cuales se pueden encontrar en el suelo, madera en descomposición y material vegetal, tienen la capacidad de actuar contra una amplia variedad de patógenos del suelo (*Fusarium spp., Rhizoctonia spp., Pythium spp., Phytophthora spp*.) y del follaje (Botrytis spp. y Peronospora sp.) [10], [11], [12], [13], [14], [15]. Hay varios mecanismos de acción por parte de los antagonistas para reducir el desarrollo de los patógenos del suelo, uno de ellos es la competencia por espacio o por nutrientes y las interacciones directas con el patógeno e inducción de resistencia [16]. Por lo que el objetivo de la investigación fue, evaluar la capacidad antagónica *in vitro* de hongos filamentosos nativos de Teziutlán Puebla, contra los patógenos *Rhizoctonia Solani* y *Fusarium oxysporum* que dañan principalmente a las hortalizas cultivadas en invernadero.

Metodología

Muestreo de suelo

Durante el mes de Julio del año 2022 se realizó la recolección de muestras de suelo fértil en el municipio de Chignautla, región perteneciente a Teziutlán, Puebla. La recolección del suelo se hizo por triplicado a una profundidad de 40 cm, colocando las muestras en bolsas con cierre hermético, y conservándolas en refrigeración a una temperatura de 4 °C hasta su utilización.

Aislamiento de hongos filamentosos

Para el aislamiento de los hongos a partir de las muestras de suelo, fue necesaria la preparación de los medios de cultivo. Para la obtención de un litro de medio sólido de PDA, se pesó en una balanza analítica 39 g de PDA, que se adicionaron a un matraz Erlenmeyer con 1000 ml de agua destilada, se ajustó el pH de la solución a 5.5 con NaOH al 0.1 N y se esterilizó en autoclave (Tuttnaver) a una temperatura de 121°C durante 15 minutos. Al concluir el tiempo de esterilización, el medio de cultivo se puso a temperatura ambiente y se adicionó con 250 µl de estreptomicina, 7500 µl de cloranfenicol y 1000 µl de ácido nalidixico. En una campana laminar (LABCONCO) se vertió en cajas Petri el medio de cultivo, una vez solidificadas las placas se resguardaron en bolsas de poli papel.

Para la preparación del medio de cultivo McFadden (Medio selectivo para Trichoderma) se pesaron en la balanza analítica 0.5 g de sulfato de magnesio, 5 g de peptona, 10 g de glucosa, 15 g de agar bacteriológico y 0.017 g de rosa de bengala, la solución se esterilizó en autoclave (Tuttnaver) a una temperatura de 121°C durante 15 minutos. Al concluir el tiempo de esterilización, el medio de cultivo se puso a temperatura ambiente y se adicionó con 250 µl de estreptomicina, 7500 µl de cloranfenicol y 1000 µl de ácido nalidixico, El medio de cultivo se vertió en cajas Petri previamente esterilizadas, dentro de una campana laminar (LABCONCO), una vez solidificadas las placas se resguardaron en bolsas de poli papel.

La dilución de las muestras de suelo, se hicieron dentro de un gabinete de seguridad biológica (LABCONCO) en un ambiente estéril, se pesó en una balanza analítica 10 g de suelo, que se adicionaron a un matraz con 100 ml de agua esterilizada y con una barra magnética se agitó durante una hora. Se realizó el aislamiento de los hongos a través del método de diluciones seriadas el cual consistió en la preparación de tubos de ensayo con rosca, que contenían 9 ml de agua, los cuales se llevaron a esterilización en la autoclave (Tuttnaver), posteriormente se pusieron a temperatura ambiente y con una pipeta se adicionó al primer tubo,1 ml de la muestra del suelo diluido

 ISSN: 2007 8102

en el matraz, posteriormente se cerró el tubo y se etiquetó con la leyenda “dilución -1” y se agito en un vortex (THERMOLYNE), después se tomó 1 ml del tubo de ensayo titulado “dilución -1” y se depositó en un segundo tubo, se tapó y se agito en el vortex (dilución -2), el procedimiento se repitió hasta la dilución -6.

Las diluciones utilizadas para el aislamiento fueron las de -4, -5 y -6. Con una micropipeta se tomaron 500 µl de las diluciones y se añadieron cada una a cajas Petri etiquetadas con el medio y la dilución correspondiente (el procedimiento se realizó por duplicado). Con asas tipo “L” previamente esterilizadas, se estriaron las muestras y se les dio seguimiento hasta el crecimiento de los microorganismos. Para la purificación se identificó el número de colonias que habían crecido y con un bisturí esterilizado se realizó un corte (cuadrado) al aislamiento identificado que se trasladó a una nueva caja Petri con medio solido de PDA. Las cepas aisladas se incubaron en una estufa de cultivo (ECOSHEL), a una temperatura de 28°C hasta su crecimiento, que en promedio fue de 3 días.

Técnica de microcultivo

Se preparó una caja Petri adicionada con un papel filtro y dos palillos sobre los cuales se colocó un portaobjetos (Figura 1), este sistema se esterilizó en autoclave (Tuttnaver) a una temperatura de 121°C durante 15 minutos. Posteriormente dentro del sistema se colocó en los extremos del portaobjetos un bloque de PDA y con una aguja estéril se le inocularon porciones pequeñas del hongo correspondiente. Luego de la inoculación, se colocó un cubreobjetos estéril sobre la superficie del agar, y se dejó durante 3 días a resguardo para esperar su crecimiento. Pasado el tiempo, el cubreobjetos se retiró cuidadosamente con unas pinzas estériles colocándolo sobre un portaobjetos que contenía el colorante azul de metileno, el hongo ya teñido se observó en un microscopio digital (Quasar Qm10 Starter) y se captaron imágenes de su morfología.



Figura 1. Sistema realizado para la técnica de microcultivo.

Pruebas de antagonismo

En cada caja Petri con medio de cultivo PDA se depositó en un extremo el hongo patógeno (*Rhizoctonia Solani o Fusarium oxysporum*) con crecimiento activo y en el otro la cepa aislada de suelo de la región de Teziutlán. La incubación se realizó a temperatura ambiente (≈ 23 ºC) y se observaron cada 24 h para registrar la capacidad de esporulación de las especies aisladas de suelo sobre las cepas patógenas e interacción del organismo antagónico con el patógeno.

Cada tratamiento se clasificó con la escala 1 a 5 de antagonismo [17]; donde 1) la cepa aislada sobrecrece completamente al patógeno y cubre totalmente la superficie del medio, 2) La cepa aislada sobrecrece dos terceras partes de la superficie del medio, 3) La cepa aislada y el patógeno colonizan cada uno aproximadamente la mitad de la superficie y ningún organismo domina al otro, 4) el patógeno coloniza dos terceras partes de la superficie del medio y parece resistir la invasión por la cepa aislada. y 5) el patógeno sobrecrece completamente a la cepa aislada. y cubre totalmente la superficie del medio. Las mediciones se registraron cada 24 h, hasta que el testigo (cepas aisladas) cubrió la superficie de la caja Petri.

Resultados y discusión

El mejor medio de cultivo para el aislamiento de hongos (Figura 2) a partir de los suelos muestreados en la zona de Teziutlan Puebla, fue McFadden con el 81% de las colonias, seguido de PDA con el 19%, logrando 21 aislamientos.

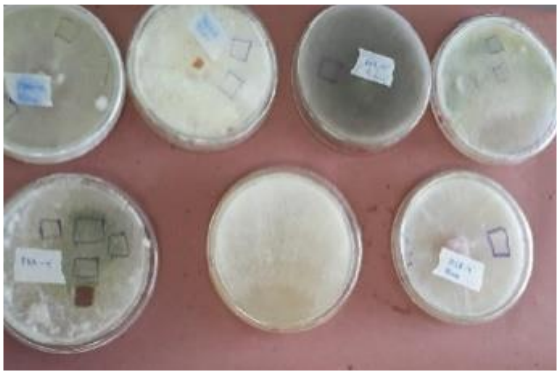


Figura 2. Hongos aislados a partir de muestras de suelo de la región de Teziutlán Puebla.

Después de un proceso de purificación de los 21 hongos aislados, fueron seleccionados 12, según su morfología y crecimiento. Al realizar la prueba de antagonismo en placa de agar, se obtuvieron 5 hongos filamentosos (Figura 3) con mayor crecimiento los cuales mostraron ser capaces de servir como antagonistas contra el hongo patógeno *Rhizoctonia Solani,* aunque según la escala de antagonismo solo la cepa P360 obtiene el nivel 2, en el que la cepa aislada sobrecrece dos terceras partes de la superficie del medio y las cepas I750, A150, M300 y D800 tienen el nivel 3 en el que colonizan aproximadamente la mitad de la superficie y ningún organismo domina al otro totalmente. *Trichoderma spp*. se encuentra entre los hongos de biocontrol que han sido probados contra hongos que causan pudrición de la raíz principalmente, debido a que tienen una amplia capacidad para sobrevivir bajo un amplio rango de temperaturas, comunidades de microorganismos y tipos de suelo caracterizado por ser saprofito parasito. Las especies con mayor potencial para suprimir hongos importantes que causan pudrición son: *Trichoderma hamatum, viride y koningi* [18], además hay un estudio que reporta el aislamiento de hongos *Trichoderma,* como promisorios para el control biológico de *Rhizoctonia solani Kühn* en arroz, el estudio muestra que 93,22% de los aislamientos presentaron alta capacidad antagónica y el 18% mostró el proceso micoparasítico completo [9].

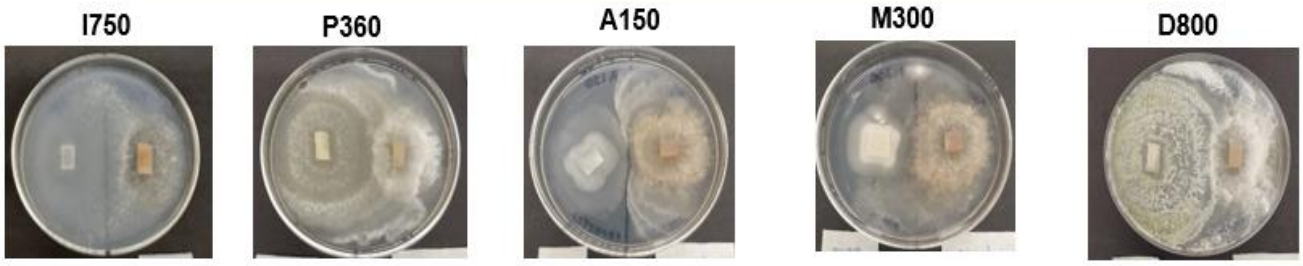


Figura 3. Antagonismo de hongos filamentosos contra *Rhizoctonia solani*.

De las 12 cepas seleccionadas en este estudio, también fueron aplicadas para *Fusarium spp*, obteniendo efectos antagónicos positivos como se muestra en la Figura 4.

 ISSN: 2007 8102



Figura 4. Antagonismo de hongos filamentosos contra *Fusarium spp.*

La cepa J360 y D500 presentan antagonismo nivel 1 en el que la cepa aislada sobrecrece completamente al patógeno y cubre totalmente la superficie del medio, las cepas J150, E800 y A150 tienen el nivel 2 de antagonismo en el que la cepa aislada sobrecrece dos terceras partes de la superficie del medio. En un estudio donde se evaluaron 4 cepas de *Trichoderma harzianum* como control biológico de *Rhizoctonia solani* y de *Fusarium solani* en tomate se determinó que la mejor cepa (Th 650) fue más eficiente en el control de las cepas de *Rhizoctonia solani* que las de *Fusarium solani* [19], sin embargo, en este estudio se tuvo mayor efectividad del grupo de las 12 cepas sobre *Fusarium solani* al lograr antagonismos de nivel 1 y 2.

Con la técnica de microcultivo se lograron obtener las cepas purificadas que fueron observadas en el microscopio y se obtuvieron las imágenes que ayudan a la comparación bibliográfica, logrando encontrar similitudes con el hongo *Trichoderma spp.*

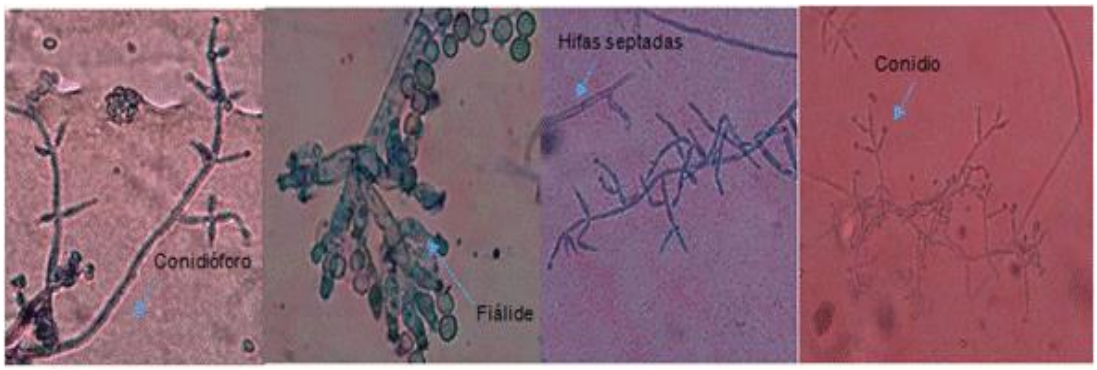


Figura 5. Fotografías tomadas al microscópico óptico de cepas del género *Trichoderma spp*. conservadas en el laboratorio de Biocontrol y Microbiología Ambiental del Instituto de Biología de la Universidad de Antioquia (BIOMA). Tomada de Mesa-Vanegas *et al.* (2019).

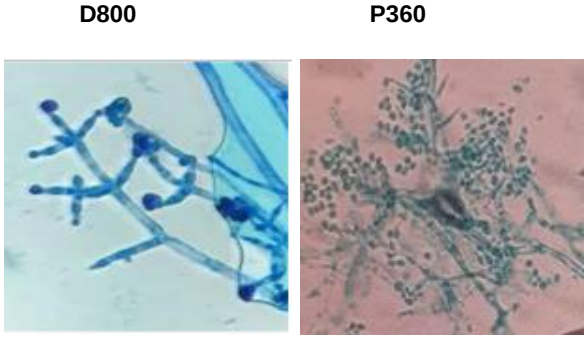


Figura 6. Fotografías tomadas al microscópico óptico de las cepas D500 y P380 aisladas del suelo de Teziutlán Puebla**.**

De acuerdo a las características morfológicas macro y microscópicas, como el color de sus colonias, la fase de crecimiento y la cepa observada al microscopio, el aislamiento D800 (Figura 6) podría corresponder a

 ISSN: 2007 8102

Trichoderma ssp. (Figura 5). Mientras que la cepa P360 tiene características diferentes, por lo que se requieren técnicas a nivel molecular para su identificación como la secuenciación de DNA.

Trabajo a futuro

Actualmente se está trabajando con residuos agroindustriales generados en la región que sirven como soporte de crecimiento y producción de esporas de los hongos filamentosos antagónicos P360, J360, D500, J150, E800 y A150. También es importante la identificación por técnicas moleculares de las cepas con mayor antagonismo.

Conclusiones

Se realizó el aislamiento y purificación de hongos filamentosos, a partir de suelos de la región de Teziutlan Puebla. Posteriormente a 12 cepas purificadas se les hicieron pruebas de antagonismo contra los patógenos *Rhizoctonia Solani* y *Fusarium oxysporum*. La cepa P360 fue la que tuvo mayor antagonismo contra *Rhizoctonia solani*, por otra parte, las cepas J360 y D500 fueron las que tuvieron mayor antagonismo contra *Fusarium spp.* Con la técnica de microcultivo se lograron obtener las cepas purificadas y teñidas, de las cuales se obtuvieron imágenes que ayudan a su identificación. Con los resultados obtenidos se concluye que las cepas aisladas de hongos filamentosos (P360, J360 y D500) del suelo de Teziutlán Puebla son una alternativa viable para realizar control biológico de patógenos como *Rhizoctonia Solani* y *Fusarium oxysporum*.

Referencias

[1] T. Yangui, A. Rhouma, M. Ali, K. Gargouri, J. Bouzid, “Control of damping-off caused by Rhizoctonia solani and Fusarium solani using olive mill waste water and some of its indigenous bacterial strains”, *Crop Protection*, vol. 27, no. 2, pp.189-197, 2008. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.05.005.

[2] B. Latorre, “Enfermedades de las plantas cultivadas”, Ediciones Universidad Católica, Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. 133 pp, 1982

[3] L. M. Vásquez-Ramírez y J. Castaño-Zapata, “Manejo integrado de la marchitez vascular del tomate [Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici (SACC.) W.C. Snyder & H.N. Hansen]:: Una Revisión. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, Vol. 20 no.2, pp 363-374. 2017 Retrieved September 06, 2023, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262017000200014&lng=en&tlng=es.

[4] Y. Acebo-Guerrero, A. Hernández-Rodríguez, M. Heydrich-Pérez, M. El Jaziri, & A. Hernández-Lauzardo, “Maagement of black pod rot in cacao (Theobroma cacao L.): A review”, *Fruits*, vol. 67, no 1, pp. 41-48, 2012, doi:10.1051/fruits/2011065

[5] I. Zepeda, “Manejo sustentable de plagas agrícolas en México”, *Agricultura, sociedad y desarrollo*, pp 2-99, 2018.

[6] M. J. Gil *et al* ., “Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos”, *Rev. P+L*, vol. 7, no 2, pp. 52-73, 2012 .

[7] J.I Carreto, M. Carignan y N. Montoya, “Florecimientos de algas nocivas”, *Atlas de Sensibilidad Ambiental del Mar y la Costa*, pp. 23, 2007.

[8] G. Harman, “Myths and dogmas of biocontrol. Changes in perceptions derived from research on Trichoderma harzianum T-22”. *Plant Disease,* vol. 84, no. 4, pp 377-393, 2000.

[9] A. M Mesa-Vanegas, A. Marin, J. Calle-Osorno, “Metabolitos secundarios en Trichoderma spp. y sus aplicaciones biotecnológicas agrícolas*”, Actualidades Biológicas*, vol. 41, no 111, pp. 32-44, 2019. https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v41n111a02

[10] L. Hoyos-Carvajal, P. Chaparro, M. Abramsky, I. Chet, S. Orduz, “Evaluación de aislamientos de Trichoderma spp. contra Rhizoctonia solani y Sclerotium rolfsii bajo condiciones in vitro y de invernadero”, *Agronomía colombiana*, vol. 26, no 3, pp. 451–458, 2008.

[11] Y. Reyes Duque, “Aislamientos de *Trichoderma spp*. promisorios para el control biológico del tizón de la vaina (*Rhizoctonia solani Kühn*) en arroz”, *Revista de protección vegetal*, vol. 27, no 1, pp. 68–68, 2012.

[12] S.N. Tchameni, M.E.L. Ngonkeu, B.A.D. Begoude, L. Wakam Nana, R. Fokom, A.D. Owona, J.B. Mbarga, T. Tchana, P.R. Tondje, F.X. Etoa, J. Kuaté, “Effect of Trichoderma asperellum and arbuscular mycorrhizal

fungi on cacao growth and resistance against black pod disease", *Crop Protection*, vol. 30, no 10, pp. 1321-1327, 2011.

[13] F.N. Martin, J.E Loper, " Soilborne Plant Diseases Caused by Pythium spp.: Ecology, Epidemiology, and Prospects for Biological Control", *Plant Sciences*, vol.18, no.2, pp. 111-181, 2007. 2010

[14] G. De Meyer, J. Bigirimana, Y. Elad, *et al*., "Induced systemic resistance in Trichoderma harzianum T39 biocontrol of Botrytis cinerea", *European Journal of Plant Pathology*, vol.104, pp. 279–286 (1998). https://doi.org/10.1023/A:1008628806616 E.

[15] B. Leon Ttacca, N. Ortiz Calcina, N. Condori Ticona & E. Chura Yupanqui, "Cepas de Trichoderma con capacidad endofitica sobre el control del mildiu (Peronospora variabilis Gäum.) y mejora del rendimiento de quinua", *Revista de Investigaciones Altoandinas*, vol. 20, no 1, pp.19-30, 2018 https://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.327

[16] P. Narayanasamy, "Mecanismos de acción de los agentes de control biológico de hongos", *Biological Management of Diseases of Crops*, vol 15, pp. 99-200, 2013

[17] D. Bell, H. Wells, C. Markham." In vitro antagonism of Trichoderma species against six fungal plant pathogens", *Phytopathol*, vol 72, pp. 379-382, 1982.

[18] A. Bustamante, "Control Biologico del Tizón Tardío Phytophthora infestans en papa Solanum tuberosum a través de consocios microbianos formados por hongos nativos del género Trichoderma sp. Universidad Politecnica Salesiana. Cuenca: Tesis de Maestría, 2015

[19] P. Escobar, J. Montealegre y R. Herrera, "Respuesta in vitro de cepas de *Trichoderma harzianum* frente a $Fe^{3+,}$ salinidad, pH y temperatura, con el fin de ser utilizado en control biológico de Rhizoctonia solani y Fusarium solani en tomate", *Boletín micrológico* , vol.19, 2004.

 ISSN: 2007 8102

Estudio termoeconómico de un ciclo combinado de dos niveles de presión

S. Castro Hernandez[1], R. Lugo Leyte[1], A. Torres Aldaco[1], I. D. Alegria Ruiz[1], H. D. Lugo Mendez[2]*

[1]Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica. Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco No. 186, Col. Vicentina, 09340, Iztapalapa, CDMX, México.
[2]Departamento de Procesos y Tecnología. Universidad Autónoma Metropolitana – Cuajimalpa. Av. Vasco de Quiroga No. 4871, Colonia Santa Fé, 05348, Cuajimalpa, CDMX, México.

*sch@xanum.uam.mx

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

En este trabajo se presenta el estudio termoeconómico de un ciclo combinado de dos niveles de presión, mediante la aplicación de la termoeconomía simbólica, con el propósito de determinar a las corrientes exergéticas asociadas a los recursos, productos y a las irreversibilidades internas de los equipos que conforman a la CCC “El Sauz", y también a los costos exergoeconómicos de los recursos, de los productos, del residuo asociado al calor rechazado en el condensador y de las componentes física y química del residuo asociado a los gases de escape. Se encuentra que, la eficiencia exergética es de la CCC es del 53.184%. Los costos exergoenconómicos del recurso externo y de los productos del ciclo de la TG y del ciclo de TV son de 4078.12, 2372.94 y 1705.17 USD/s, respectivamente.

***Palabras clave**: Ciclo combinado, termoeconomía, exergoeconómico, irreversibilidades.*

Abstract

The aim of this study is to perform thermoeconomic analysis of a two-pressure level combined cycle, using symbolic thermoeconomics. The analysis helps to determine the exergy flows of the resources, products, and internal irreversibilities of the equipment that forms the CCC, "El Sauz". The study also estimates the exergoeconomic costs associated with the resources, products, residue generated due to heat rejection at the condenser, and the physical and chemical components of the residue associated with the exhaust gases. The study concludes that the exergy efficiency of the CCC, "El Sauz", is 53.184%. The exergoeconomic costs for the external resources and the products of the TG and TV cycles are 4078.12, 2372.94, and 1705.17 USD/s, respectively.

***Key words**: Combined cycle, thermoeconomics, exergoeconomics, irreversibilities.*

Introducción

El desempeño de un sistema de generación de energía va disminuyendo a lo largo de tiempo, debido a la degradación de sus componentes que lo integran. Las principales causas incluyen el ensuciamiento, comúnmente observados en los intercambiadores de calor, y la corrosión y/o erosión, que son localizadas en los álabes del compresor o de la turbina [1]. La degradación de algún componente del sistema térmico genera cambios en las propiedades termodinámicas, a la entrada y a la salida de éste, también se modifica el desempeño del sistema en general y a su vez, en el costo de los productos generados. Cuando se presenta alguna degradación en un componente, es necesario realizar el mantenimiento de éste para mejorar su desempeño y evitar repercusiones en otros componentes del sistema. Identificar la degradación de un componente no es una tarea fácil, más aún cuando la desviación de las propiedades termodinámicas es menor al 3% [2]. Así mismo, detectar la degradación de los componentes cuando se tienen múltiples anomalías no es factible, debido a las interacciones entre ellos, las cuales son muy complejas.
Cuando se identifica el malfuncionamiento o falla en un componente de un sistema en una etapa temprana, se puede prevenir que la anomalía siga creciendo y evitar posibles pérdidas económicas. Por este motivo, es fundamental desarrollar un método que pueda diagnosticar de manera efectiva las fallas en la operación del sistema de energía [3]. El diagnóstico de las centrales de generación de energía se realiza mediante la detección de componentes defectuosos, seguido de la identificación de las causas del malfuncionamiento y, finalmente de

 ISSN: 2007 8102

la cuantificación del malfuncionamiento [4]. La termoeconomía, ciencia que combina el concepto de exergía con el principio económico, cuantifica los flujos de exergía, las irreversibilidades y la correspondiente pérdida monetaria que se produce en cada componente de las centrales eléctricas [5]. Actualmente, esta metodología (termoeconomía) es la herramienta que se utiliza para predecir y determinar las anomalías en los sistemas térmicos, a partir del análisis del proceso de formación de los costos de sus productos y de esta manera cuantificar el consumo adicional de combustible del sistema debido a la degradación de los componentes [6].
La implementación de esta metodología de diagnóstico se ha realizado a diferentes sistemas, como: centrales eléctricas de carbón pulverizado, centrales eléctricas de ciclo combinado, celdas de combustible y de aire acondicionado de edificios [7].
En trabajos recientes se ha empleado la termoeconomía para el estudio de sistemas complejos y de alta tecnología; como es el caso de la aplicación de los análisis exergéticos y exergoeconómicos avanzados, a una central de ciclo combinado de gas natural licuado (GNL) y oxicombustible [10]. La oxicombustión se propone y emplea como una tecnología avanzada, que captura CO_2 de las emisiones de la central y se aumenta la eficiencia del sistema, con lo que logran una eficiencia exergética del 46.83%. El flujo de irreversibilidad del sistema de oxicombustión es de 445.51 MW, y de éste, el 81.68% corresponde a la parte evitable. El costo exergoeconómico del sistema de oxicombustión es de 4.44×10^6 $/h, y de éste, el 78.21% es evitable.
En la actualidad, las centrales de ciclos combinados son los sistemas de generación de energía eléctrica más utilizados, debido a su alta eficiencia térmica, menor consumo de combustibles fósiles y menor generación de gases de efecto invernadero, comparadas con otras tecnologías de generación de energía eléctrica. Estos sistemas están integrados por una turbina de gas, que genera una potencia dada; una caldera de recuperación de calor, en ésta se recupera la energía que contiene los gases de escape de la turbina de gas para generar vapor y, éste se expande en una turbina de vapor para generar la potencia que alimenta a un generador eléctrico.
En México predomina la generación eléctrica a partir de la tecnología de turbina de gas; actualmente cuenta con 83 centrales eléctricas con una capacidad instalada total de 28,084 MW, lo que equivale al 37 % de la capacidad instalada nacional.
Por lo antes mencionado, estudiar el funcionamiento de estos sistemas de generación de energía es de gran importancia, ya que alguna anomalía en un componente de este sistema provoca un mayor consumo de recursos, una menor eficiencia térmica y por ende mayores costos de la generación de energía. Aunado a esto, predecir las anomalías en estos sistemas ayuda a desarrollar un plan de mantenimiento y evitar posibles falla o paros repentinos que perjudican el suministro de energía.

Caso de estudio

El sistema de estudio es la Central de Ciclo Combinado (CCC) “El Sauz", es una de las 17 CCC que tiene CFE. Esta central se encuentra ubicada en el poblado de El Sauz, municipio de Pedro Escobedo, Querétaro, México. Este estudio se enfoca en la unidad 3, que se compone por una unidad de turbina de gas con post-combustión y una unidad de ciclo de vapor con una caldera de recuperación de calor de dos niveles de presión, tal y como se muestra en la Figura 1.

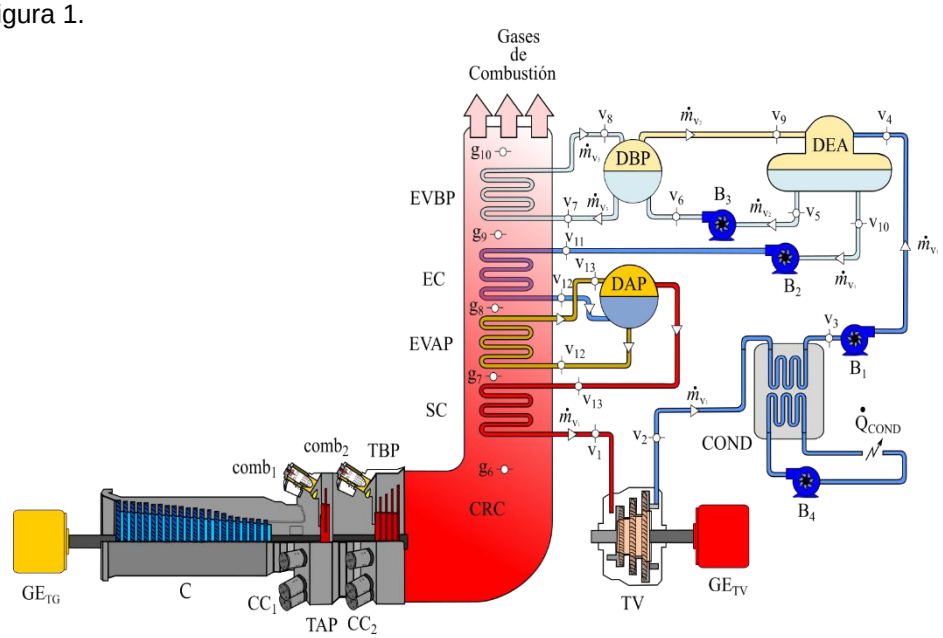


Figura 1. Central de ciclo combinado el Sauz

 ISSN: 2007 8102

La turbina de gas con post-combustión es la Alstom GT24 y fue una de las primeras turbinas de gas desarrolladas por la industria ABB y genera 165 MW. El compresor de este sistema es de 22 etapas y opera con una relación de presiones de 30:1; por otra parte, la turbina de alta presión es de una etapa y, la turbina de baja presión es de cuatro etapas. La primera cámara de combustión es anular y tiene 30 quemadores y la segunda cámara de combustión es una SEV (Sequential EV), las cuales se utilizan para controlar los efectos de autoignición y, asegurar un buen mezclado entre los gases de combustión de la primera cámara y el suministro complementario de combustible y de esta manera asegurar una baja emisión de NOx. La caldera de recuperación de calor es de dos niveles de presión, y está integrada por un sobrecalentador (SC), un evaporador de alta presión (EVAP), un economizador (EC) y, un evaporado de baja presión (EVBP). Y finalmente por una turbina de vapor.
Las condiciones de operación del sistema de GT24 y del ciclo de vapor de la central de ciclo combinado se presentan en la Tabla 1; en ésta se presenta, las condiciones de temperatura y presión del vapor vivo (v_1); así como, la prensión de condensación (P_{cond}) y la diferencia de temperaturas de Pinch-Point ($\Delta T_{PP,EVAP}$)

Tabla 1. Parámetros de operación de la CCC.

Turbina de gas GT24							Ciclo de vapor					
$\dot{W}$ (MW)	TET (°C)	π_C (-)	η_{sic} (-)	η_{sit} (-)	T_{ge} (°C)	ΔP_{CC} (bar)	T_{v1} (°C)	P_{v1} (bar)	P_{cond} (bar)	η_{sit} (-)	η_{sib} (-)	$\Delta T_{PP,EVAP}$ (°C)
165	1250	30	0.88	0.9	616	0.04	470	450	0.07	0.85	0.7	15

El combustible utilizado en este estudio es gas natural con una composición volumétrica de 96.87% metano [$\mathbf{CH_4}$], 2.85% etano [$\mathbf{C_2H_6}$], 0.24% butano [$\mathbf{C_3H_8}$], 0.03% n-butano [$\mathbf{C_4H_{10}}$] y 0.01% i-butano [$\mathbf{C_4H_{10}}$]. Su composición compacta es $\mathbf{C_{1.034}H_{4.069}}$, con un poder calorífico inferior de 49,854.53 kJ/kg_{comb} y una temperatura de flama adiabática de 2105.85 K.

Consideraciones

- El sistema opera en estado estable.
- Los cambios de energía cinética y potencial son despreciables.
- Los fluidos de trabajo se consideran como gases perfectos.
- La presión y temperatura de referencia son 1.013 bar y 25 °C, respectivamente.

Metodología

Análisis energético

En la Tabla 2 se presentan los modelos matemáticos para determinar la temperatura y presión de los estados que integran al ciclo de la turbina de gas

Tabla 2. Modelos matemáticos para determinar a la presión temperatura de la turbina de gas.

Estado	Temperatura	Presión	Estado	Temperatura	Presión
0	T_a	P_a	**4**	$T_3\left[1-\eta_T\left(1-\frac{1}{\pi_{TAP}^{x_{gc}}}\right)\right]$	$P_5\left(1-\frac{\Delta P_{CC}}{P_5}\right)$
1	T_a	P_a	**5**	TET	$\frac{P_6}{\left[1-\frac{1}{\eta_T}\left(1-\frac{T_6}{T_5}\right)\right]^{\frac{1}{x_{gc}}}}$
2	$T_1\left[1+\frac{1}{\eta_C}\left(\pi_C^{x_a}-1\right)\right]$	$\pi_C P_1$	**6**	T_{ge}	P_a
3	TET	$P_2\left(1-\frac{\Delta P_{CC}}{P_2}\right)$			

Las propiedades de los gases de combustión se obtienen a partir de la ecuación de la combustión del combustible con el aire, y se expresa de la siguiente manera

 ISSN: 2007 8102

$$\boldsymbol{C}_n\boldsymbol{H}_m+\left(n+\frac{m}{4}\right)(1+\lambda)[\boldsymbol{O}_2+3.76\boldsymbol{N}_2]\rightarrow n[\boldsymbol{CO}_2]+\left(\frac{m}{2}\right)[\boldsymbol{H}_2\boldsymbol{O}]+3.76\left(n+\frac{m}{4}\right)(1+\lambda)[\boldsymbol{N}_2]+\left(n+\frac{m}{4}\right)\lambda[\boldsymbol{O}_2] \quad (1)$$

El exceso de aire, λ, requerido por la turbina GT4, para que los gases de combustión entren a 1250 °C a la turbina de alta presión es del 199%.
El calor específico a presión constante (c_{Pgc}), la constante particular (R_{gc}) y la relación de calores específicos (γ_{gc}) se obtienen con las siguientes expresiones

$$c_{P_{gc}}=\sum_{i=1}^{9}c_i\left(\frac{T}{1000}\right)^{i-2} \quad (2)$$

$$R_{gc}=\frac{R_u}{\sum_{i}^{n}[x_i PM_i]_{gc}} \quad (3)$$

$$\gamma_{gc}=\frac{1}{1-\frac{R_{gc}}{c_{p_{gc}}}} \quad (4)$$

En [9] se presentan las constantes utilizadas en la ec. (2)

Las propiedades termodinámicas de *P, T, h, s* y *x* del ciclo de vapor se determinan a partir de los parámetros de operación presentados en la Tabla 1, y con el programa Steam Table; que es un complemento de Excel, éste permite determinar las propiedades del agua en un rango de 0.01 a 1000 MPa y a temperaturas entre 0.01 y 2000 °C. A partir de estas propiedades y mediante balances de masa y energía en la caldera de recuperación de calor se determinan los flujos de vapor.
Balances de masa y energía en el sobrecalentado y evaporado de alta presión (SC +EVAP)

$$\dot{m}_{v1}=\frac{\dot{m}_{gcT}c_{PgcT}\left(T_{g6}-T_{g8}\right)}{T_{v1}-T_{v2}} \quad (5)$$

Balance en el deareador (DEA)

$$\dot{m}_{v2}=\frac{\dot{m}_{v1}\left(h_{v10}-h_{v4}\right)}{h_{v9}-h_{v5}} \quad (6)$$

Balance en el domo de baja presión

$$\dot{m}_{v3}=\frac{\dot{m}_{v2}\left(h_{v9}-h_{v6}\right)}{h_{v8}-h_{v7}} \quad (7)$$

El proceso de recuperación de calor se considera a presión constante; es decir, $P_6 = P_7 \ldots = P_{10}$. Mientras que, la temperatura en cada una de las secciones de la caldera de recuperación de calor (CRC) se determinan mediante balances de masa y energía. En la Figura 2 se muestra el perfil de temperaturas de la caldera de recuperación de calor, y se muestra que, la temperatura de los gases de escape de la GT24 disminuye al pasar por las secciones de la CRC de T_{g6} a T_{g10}, ya que cede su calor a la corriente de agua (T_{v7}), la cual incrementa su temperatura hasta cambiar de fase y llegar a las condiciones de vapor requeridas por la turbina de vapor (v_1). También muestra a la diferencia de temperaturas de pinch point.

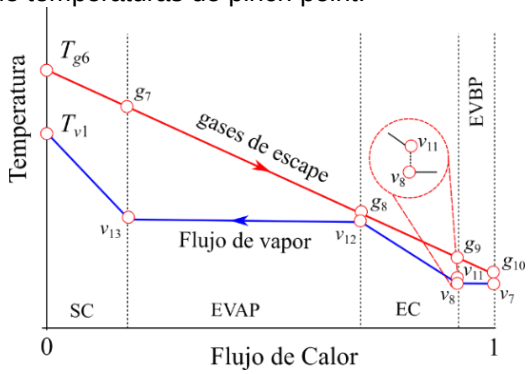


Figura 2. Diagrama Temperatura - Flujo de calor

 ISSN: 2007 8102

La T_{g7} se obtiene mediante el balance de masa y energía en la sección del evaporador de alta presión (EVAP)

$$T_{g7} = T_{g8} + \frac{\dot{m}_{v1}\left(h_{v13} - h_{v12}\right)}{\dot{m}_{gc_T} c_{Pgc_T}} \tag{8}$$

La T_{g8} se obtiene a partir de la diferencia de la temperatura de Pinch-Point cuyo valor se muestra en la Tabla 1

$$\Delta T_{PP,EVAP} = T_{g8} - T_{v12} \tag{9}$$

en donde, T_{v12} es igual a la temperatura de saturación de la presión P_{v1}.

La T_{g9} se determina mediante el balance de masa y energía en el economizador (EC)

$$T_{g9} = T_{g8} + \frac{\dot{m}_{v1}\left(h_{v12} - h_{v11}\right)}{\dot{m}_{gcT} c_{PgcT}} \tag{10}$$

Finalmente, para determinar a la T_{g10} se hace un balance de masa y energía en el evaporador de baja presión (EVBP)

$$T_{g10} = T_{g9} + \frac{\dot{m}_{v3}\left(h_{v8} - h_{v7}\right)}{\dot{m}_{gcT} c_{PgcT}} \tag{11}$$

Parámetros de desempeño energético del ciclo combinado

Potencia generada

$$\dot{W}_{CC} = \dot{W}_{TG} + \dot{W}_{TV} \tag{12}$$

El flujo de calor recuperado de los gases de escape en la CRC está dado por

$$\dot{Q}_{recu} = \dot{m}_{gcT}\left(h_{g6} - h_{g10}\right) \tag{13}$$

Eficiencia térmica del ciclo combinado se expresa de la siguiente manera

$$\eta_{th,CC} = \frac{\dot{W}_{TG} + \dot{W}_{TV}}{\dot{Q}_{sum1} + \dot{Q}_{sum2}} \tag{14}$$

donde, $\dot{Q}_{sum1}$ y $\dot{Q}_{sum2}$ representan al flujo de calor suministrado en la CC_1 y CC_2, respectivamente.

Análisis exergético

Para el estudio exergético se considera que, el flujo de exergía de cada estado termodinámico del ciclo combinado está integrado por la exergía física y química. Sin embargo, para la sección del ciclo de vapor, ya que se considera que la composición de agua permanece constante durante el proceso de generación de potencia, su exergía química no tiene una repercusión en el flujo de exergía total.
Teniendo en cuenta lo anterior, el flujo de exergía se determina como

$$\dot{E}_i = \dot{E}_i^{ph} + \dot{E}_i^{ch} \tag{15}$$

Donde, el flujo de exergía física y química se determinan mediante las siguientes ecuaciones

$$\dot{E}_i^{ph} = \dot{m}_i c_{P,i} T_0 \left[\left(\frac{T_i}{T_0} - 1\right) - \ln\left(\frac{T_i}{T_0}\right) + \frac{\gamma - 1}{\gamma}\ln\left(\frac{P_i}{P_0}\right)\right] \tag{16}$$

$$\dot{E}_i^{ch} = \dot{m}_i\left(\sum x_i \varepsilon_{0,i}^{ch} + R_u T_0 \sum x_i \ln x_i\right) \tag{17}$$

La exergía del combustible se determina de la siguiente manera

$$\dot{E}^{comb} = \dot{m}_{comb}\varepsilon_{comb}^{ch} = \dot{m}_{comb} PCI\left(1 - \frac{T_0}{T_{fa}}\right) \tag{18}$$

Análisis termoeconómico

Anteriormente, en la teoría termoeconómica ya se ha desarrollado un modelo basado en el concepto de "Fuel"-"Product" [1], que se utiliza para estudiar las relaciones entre los equipos que integran a un sistema térmico y la

asignación de recursos a cada uno de éstos. Esta teoría parte del diagrama de la estructura física del sistema; y a partir de éste se desarrolla su diagrama de estructura productiva. La estructura física se obtiene mediante la división funcional de cada equipo que integra al sistema; y refleja a las interacciones físicas térmicas (por medio de las corrientes exergéticas) entre los componentes. La estructura productiva se obtiene de acuerdo con el propósito productivo de cada componente del sistema. En este diagrama, el recurso exergético que ingresa a cada elemento se le denomina Ḟ (Recurso) y al producto útil se le denomina Ṗ (Producto). La diferencia entre el recurso y el producto útil de cada elemento es la irreversibilidad İ, $\dot{F}_i - \dot{P}_i = \dot{I}$. En un proceso productivo se generan corrientes exergéticas sin utilidad que son desechadas al medio ambiente, a éstas se les denomina como Ṙ (Residuo).

En la Tabla 3 se presentan a las expresiones del recurso, producto y del residuo de cada componente del sistema del ciclo combinado y de los elementos disipativos. Los elementos disipativos, como su nombre lo indican disipan a la energía que tiene aún la corriente exergética que es enviada al medio ambiente; y su costo de eliminación debe ser imputado a los componentes que lo formaron.

Tabla 3. Recurso, producto y residuo de los elementos que integran a la central de ciclo combinado.

Componente	Ḟ	Ṗ	Ṙ
Ciclo de TG			
C	$\dot{W}_C$	$\dot{E}_{g2}^{PH} - \dot{E}_{g1}^{PH}$	
CC_1	$\dot{E}_{comb1}$	$\dot{E}_{g3}^{PH} - \dot{E}_{g2}^{PH}$	
TAP	$\dot{E}_{g3}^{PH} - \dot{E}_{g4}^{PH}$	$\dot{W}_{TAP}$	
CC_2	$\dot{E}_{comb2}$	$\dot{E}_{g4}^{PH} - \dot{E}_{g5}^{PH}$	
TBP	$\dot{E}_{g5}^{PH} - \dot{E}_{g6}^{PH}$	$\dot{W}_{TBP}$	
GE_{GT24}	$\dot{W}_{m,GT24}$	$\dot{W}_{GT24}$	
CRC			
SC	$\dot{E}_{g6}^{PH} - \dot{E}_{g7}^{PH}$	$\dot{E}_{v1}^{PH} - \dot{E}_{v13}^{PH}$	
EVAP	$\dot{E}_{g7}^{PH} - \dot{E}_{g8}^{PH}$	$\dot{E}_{v13}^{PH} - \dot{E}_{v12}^{PH}$	
EC	$\dot{E}_{g8}^{PH} - \dot{E}_{g9}^{PH}$	$\dot{E}_{v12}^{PH} - \dot{E}_{v11}^{PH}$	
EVBP	$\dot{E}_{g9}^{PH} - \dot{E}_{g10}^{PH}$	$\dot{E}_{v8}^{PH} - \dot{E}_{v7}^{PH}$	

Componente	Ḟ	Ṗ	Ṙ
Ciclo de TV			
TV	$\dot{E}_{v1}^{PH} - \dot{E}_{v2}^{PH}$	$\dot{W}_{TV}$	
DAP	$\dot{E}_{v13}^{PH} - \dot{E}_{v12}^{PH}$	$\dot{E}_{v13}^{PH} - \dot{E}_{v12}^{PH}$	
DBP	$\dot{E}_{v8}^{PH} - \dot{E}_{v6}^{PH}$	$\dot{E}_{v9}^{PH} - \dot{E}_{v7}^{PH}$	
DEA	$\dot{E}_{v4}^{PH} + \dot{E}_{v9}^{PH}$	$\dot{E}_{v5}^{PH} + \dot{E}_{v10}^{PH}$	
B_1	$\dot{W}_{B1}$	$\dot{E}_{v4}^{PH} - \dot{E}_{v3}^{PH}$	
B_2	$\dot{W}_{B2}$	$\dot{E}_{v11}^{PH} - \dot{E}_{v10}^{PH}$	
B_3	$\dot{W}_{B3}$	$\dot{E}_{v6}^{PH} - \dot{E}_{v5}^{PH}$	
GE_{TV}	$\dot{W}_{m,TV}$	$\dot{W}_{TV}$	
Componentes Disipativos			
Stack ^{CH}	$\dot{E}_{CC1}^{PCH} + \dot{E}_{CC2}^{CH}$		$\dot{E}_{T}^{PCH}$
Stack ^{PH}	$\dot{E}_{g10}^{PH}$		$\dot{E}_{ge}^{Q}$
COND	$\dot{E}_{v2}^{PH} - \dot{E}_{v3}^{PH}$		$\dot{E}_{COND}^{Q}$

Los costos exergéticos del ciclo combinado se determinan a partir de su estructura productiva. Una estructura productiva es un conjunto de bloques que representan a los equipos del sistema, que están ligados uno con otro u otros, mediante corrientes exergéticas, las cuales pueden ser recurso, producto o bien residuo de otro elemento. Estos equipos pueden ser productivos o disipativos, los equipos productivos son aquellos que tienen un propósito definido; mientras que, los equipos disipativos no tienen un propósito productivo y el recurso que ingresa a estos sistemas se convierten en exergía pérdida y se disipa en el medio ambiente. Para poder obtener los costos asociados a esta generación de residuos en los equipos disipativos, se integra un elemento que representa al medio ambiente (Stack) y sirve como sumidero de esta exergía perdida.

En la Figura 3 se muestra a la estructura productiva de la CCC el “Sauz”, y muestra a todos los equipos que interviene en la generación de energía eléctrica, así como las corrientes exergéticas que sirven como recurso (F) de cada equipo; así como, las corrientes que forman el producto (P) de los mismo. En este caso se tiene tres residuos (R), de los cuales dos se forman en el ciclo de la TG, éstos son la exergía química de los gases de combustión y el calor que aún contiene los gases de combustión que salen de la CRC. En el ciclo de vapor se tiene el tercer residuo, éste es el calor que se retira en el condensador.

Así mismo, se muestra que la estructura productiva empieza con el suministro de combustible en la CC_1, y su producto se utiliza para generar la potencia en la TAP y para ser recurso de la CC_2; a ésta se le suministra un combustible suplementario para generar dos productos, uno se utiliza en la TBP, para generar potencia y el otro es el contenido químico de los gases de combustión, que cuales ya no serán utilizados en el ciclo y son enviados directamente ya sea al medio ambiente o bien a un sistema para disminuir su contenido de NOx o CO_2. Para finalizar el ciclo TG, el compresor requiere como recurso potencia, que es suministrada por las turbinas de gas. La energía térmica del flujo de gases de combustión que sale de la TAP se utiliza en los equipos de la CRC para

 ISSN: 2007 8102

generar vapor. En el SC, el recurso es utilizado para generar flujo de vapor vivo, de este flujo una parte se utiliza para generar potencia en la TV y el restante se rechaza en el condensador en forma de calor. El flujo en condiciones de líquido saturado es bombeado mediante la B1, la cual utiliza como recurso un suministro potencia, su producto de este equipo es enviado al DEA; así mismo, este equipo toma como recurso el vapor que sale del DAP, el cual tiene como objetivo distribuir el flujo de agua a condiciones de saturación para generar vapor a baja presión en el EVBP y vapor vivo en los equipos restantes de la CRC. La potencia que requieren las bombas es suministrada de la potencia generadas en la TV. La suma de la potencia en TV y la TG es la potencia total de la CCC.

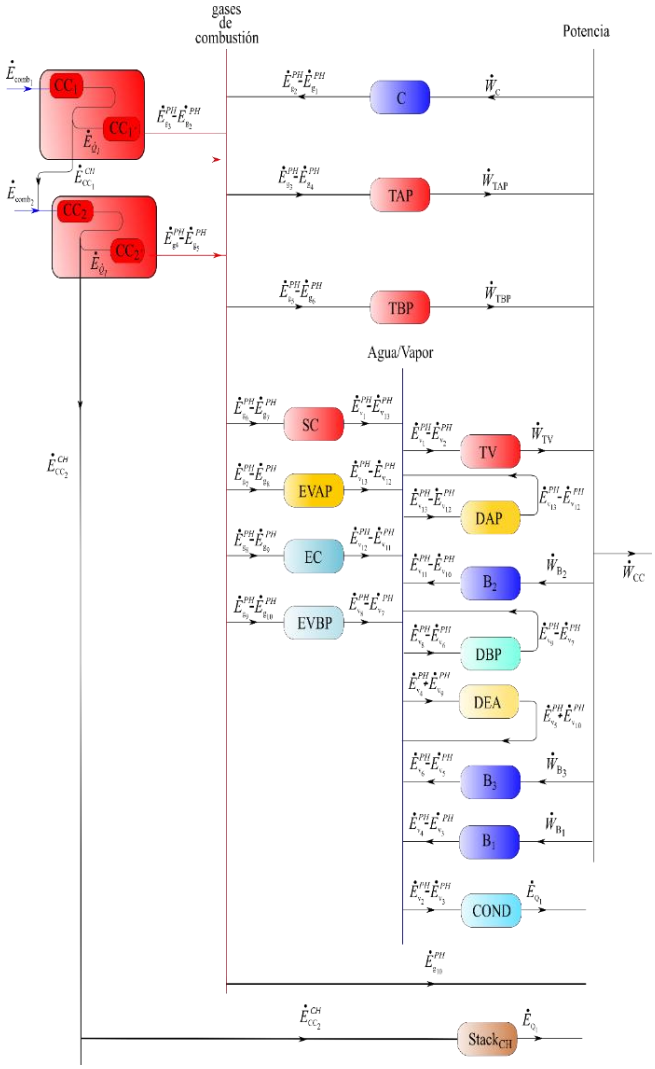


Figura 3. Estructura productiva del CCC

El costo exergético de una corriente es la suma de su exergía y de las irreversibilidades acumuladas a lo largo de su proceso de formación, es decir $E^* = \dot{E} + \sum\left(\dot{I} + \dot{R}\right)$.

Costos exergoeconómicos

El balance de costos exergoeconómicos se determina mediante la siguiente ecuación

$$\mathbf{\Pi}_P = \mathbf{\Pi}_F + \mathbf{\Pi}_R + \mathbf{Z} \tag{19}$$

donde

$$\mathbf{\Pi}_\mathbf{P} = \left(\mathbf{U}_D - \langle \mathbf{FP} \rangle - \langle \mathbf{RP} \rangle\right)^{-1} \left(\mathbf{\Pi}_e + \mathbf{Z}\right) \tag{20}$$

 ISSN: 2007 8102

$$\mathbf{\Pi}_F = \mathbf{\Pi}_e + \langle \mathbf{FP} \rangle \mathbf{\Pi}_P \tag{21}$$

$$\mathbf{\Pi}_R = \langle \mathbf{RP} \rangle \mathbf{\Pi}_P \tag{22}$$

En donde, los subíndices de los costos, P, F y R, representan los costos del producto, recurso y residuo, respectivamente. Y **Z** es la matriz de los costos de mantenimiento y operación de los equipos que integran al ciclo combinado; <**FP**> y <**RP**> son las matrices que están integradas por los denominados coeficientes de distribución, y_{ij}, y ψ_{ij}, respectivamente, e indican la cantidad del producto del *j-ésimo* componente utilizada como recurso (y_{ij}) o como residuo (ψ_{ij}) imputado al *i-ésimo* componente.

Resultados y discusión

En la Tabla 4 se presentan los resultados de la presión y temperatura de cada estado termodinámico de la central de ciclo combinado. Para el ciclo de TG se muestra que, el estado g_3 y g_5 tiene la mayor temperatura del ciclo; debido a que, corresponden a los gases de combustión que salen de la CC_1 y CC_2, respectivamente. En la sección de la CRC, se muestra como la temperatura de los gases de escape disminuye desde g_6, estado a la salida de la TBP hasta g_{10}; ya que, ceden su energía a la corriente de agua-vapor hasta llegar a las condiciones de vapor vivo (v_1), tal y como se muestra en la sección del ciclo de TV.

Tabla 4. Propiedades de presión y temperatura en la central de ciclo combinado

Estados		T (°C)	P (bar)	Estados	T (°C)	P (bar)
Ciclo de TG				Ciclo de TV		
g_1	318.32	10.0	0.80	v_1	45.06	470.0
g_2	318.32	538.53	24.09	v_2	0.07	39.0
g_3	325.67	1250.0	23.13	v_3	0.07	39.0
g_4	325.67	1158.61	16.90	v_4	1.16	39.03
g_5	327.30	1250.0	16.25	v_5	1.16	103.72
g_6	327.30	616.0	0.82	v_6	1.36	103.74
CRC				v_7	1.36	108.36
g_7		528.51	0.82	v_8	1.36	108.36
g_8		272.52	0.82	v_9	1.36	108.36
g_9		168.45	0.82	v_{10}	1.16	103.72
g_{10}		126.99	0.82	v_{11}	45.06	104.51
				v_{12}	45.06	257.52
				v_{13}	45.06	257.52

En la Tabla 5 se presenta el recurso, el producto y el flujo de irreversibilidades de los equipos que conforman a la central de ciclo combinado. La formación total de irreversibilidades internas es de 166.43 MW y la CC_1 es el equipo con la mayor contribución de éstas, con un 62.248% del total. El segundo equipo con mayor generación del flujo de irreversibilidades es la CC_2. La alta irreversibilidad en la CC_1 y la CC_2 se atribuye a que, el proceso de combustión es uno de los más irreversibles. A las Cámaras de combustión les siguen la TBP y la TV como equipos con la mayor contribución de las irreversibilidades internas, aportando el 6.55 y 7.09%, respectivamente, del total. Para generar la potencia de 238.22 MW, al sistema se le suministra un recurso externo de 447.92 MW; de manera que, la eficiencia exergética es de 53.184% y la formación de irreversibilidades totales es de 209.7 MW. Los 43.3 MW de diferencia entre las irreversibilidades totales y las irreversibilidades internas, corresponden a las irreversibilidades externas asociadas a la exergía del calor rechazado en el condensador y a las exergías física y química de los gases de escape.

Tabla 5. Recurso, producto y flujo de irreversibilidades de los elementos del ciclo combinado.

Componente	$\dot{F}$ (MW)	$\dot{P}$ (MW)	$\dot{I}$ (MW)	Componente	$\dot{F}$ (MW)	$\dot{P}$ (MW)	$\dot{I}$ (MW)
C	170.56	162.71	7.86	EVBP	6.32	4.99	1.33
CC_1	366.33	262.73	103.60	TV	85.50	73.70	11.80
TAP	40.44	39.57	0.87	B_1	0.01	0.00	0.01
CC_2	81.59	65.66	15.92	B_2	0.47	0.36	0.11
TBP	306.90	295.99	10.91	B_3	0.00	0.00	0.00
SC	27.15	22.26	4.90	DEA	5.86	4.28	1.58
EVAP	68.66	55.74	12.92	DAP	100.37	100.37	0.00
EC	20.61	18.13	2.48	DBP	5.96	5.96	0.00

En la Tabla 6 se presentan los costos exergoeconómicos de los productos, residuos, recursos y recursos externos de los elementos de la central de ciclo combinado. El costo exergoenconómico de los recursos externos es de 4078.12 USD/s y es igual a la suma de los costos exergoeconómicos de los productos del ciclo de la TG y del ciclo de TV, que son de 2372.94 y 1705.17 USD/s, respectivamente, quedando demostrado que se cumple el balance de los costos exergoecónomicos del ciclo combinado. Para los equipos, el balance de los costos exergoeconómicos se cumple; porque, la suma de los costos exergoeconómicos de sus recursos y residuos es igual a los costos exergoeconómicos de sus productos. En la formación del costo exergoeconómico de la componente física del residuo asociado a los gases de escape, el C, la CC_1 y la CC_2, aportan el 37.559, 51.065 y 11.376%, respectivamente. Para la componente química del residuo asociado a los gases de escape, el costo exergoeconómico lo aportan la CC_1 y CC_2, en un 32.599%, y 67.401%, respectivamente. El costo exergoeconómico de las componentes física y química del residuo asociado a los gases de escape, es de 132.91 y 167.86 MW, respectivamente, siendo mayor el costo de la componente química y esto implica que se requiere una cantidad mayor de recursos exergéticos y económicos para restablecer el equilibrio químico entre los gases de escape y el aire del medio ambiente. El DAP y el EVAP son los principales equipos que contribuyen al costo exergoeconómico de formación del residuo asociado al calor rechazado por el condensador, en 50.771% y 24.037%, respectivamente.

Tabla 6. Costos exergoeconómicos de los productos, recursos, residuos y recursos externos de los elementos que integran a la central de ciclo combinado.

	Π_e	Π_P	Π_F	Π_{RP}^{ph}	Π_{RP}^{ch}	Π_{RP}^{Q}
			(USD/s)			
C	0	2502.86	2452.95	49.92	0	0
CC_1	3335.31	3457.90	3335.31	67.87	54.72	0
TAP	0	561.89	561.89	0	0	0
CC_2	742.81	871.06	742.81	15.12	113.14	0
TBP	0	4264.00	4264.00	0	0	0
SC	0	404.77	377.27	0	0	27.49
EVAP	0	1023.47	953.95	0	0	69.52
EC	0	307.27	286.40	0	0	20.87
EVBP	0	93.93	87.55	0	0	6.38
TV	0	1716.32	1716.32	0	0	0
B_1	0	0.24	0.22	0	0	0.02
B_2	0	11.71	10.92	0	0	0.80
B_3	0	0.01	0.01	0	0	0.00
DAP	0	2161.74	2014.90	0	0	146.84
DBP	0	128.30	119.58	0	0	8.72
DEA	0	126.26	117.68	0	0	8.58
GE_{tg}	0	2372.94	2372.94	0	0	0
GE_{cv}	0	1705.17	1705.17	0	0	0

Trabajo a futuro

En un trabajo a futuro se pretende emplear el diagnóstico termoeconómico, para determinar el impacto adicional en el consumo de combustible, las malfunciones y disfunciones que se generan en el sistema cuando se modifica un parámetro de operación.

Conclusiones

A partir del estudio termoeconómico del ciclo combinado de dos niveles de presión de la CCC “El Sauz", se concluye que, el costo exergoeconómico de la potencia generada es de 4078.11 USD/s. El residuo asociado a los gases de combustión y al calor rechazado en el condensador son corrientes con alta disponibilidad de exergía, y sus costos exergoeconómicos son de 300.77 y 289.22 USD/s, respectivamente. Por lo tanto, es importante recuperar su exergía mediante algún otro sistema posterior, con el propósito de aprovechar dicha exergía generando nuevos subproductos que ayudarían, no sólo al aspecto económico del sistema sino también, a una disminución en el impacto ambiental. Por otra parte, es importante aprovechar los potenciales de mejora identificados con los estudios de diagnóstico, y tomar medidas para reducir las irreversibilidades en los equipos que más las generan, hasta el mínimo que los límites termodinámicos y económicos lo permitan.

Agradecimientos

Se agradece al posgrado en Ciencias en Energía y Medio Ambiente (PEMA) de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, el cual, pertenece al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT, por la beca recibida. De la misma manera, se agradece a la Planta Piloto 2 de la UAM-I.

Referencias

[1] Correas, L., Martínez, Á., & Valero, A. “Operation diagnosis of a combined cycle based on the structural theory of thermoeconomics.” In ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (Vol. 16509, pp. 381-388). American Society of Mechanical Engineers (1999).

[2] GAY, R.; MACFARLAND, M.; DIVINNEY, D. “Model-based performance monitoring and optimization.” En Proceedings of the OSI Conference. (1999).

[3] BAN, Ningning, et al. “Fault diagnosis analysis of combined cycle based on the structural theory of thermo-economics.” Energy Science & Engineering, vol. 11, no 4, p. 1382-1394 2023.

[4] Valero, A., Correas, L., Zaleta, A., Lazzaretto, A., Verda, V., Reini, M., & Rangel, V. (2004). On the thermoeconomic approach to the diagnosis of energy system malfunctions: Part 1: The TADEUS problem. Energy, 29(12-15), 1875-1887.

[5] Yang, K., Zhu, N., Wang, D., & Chang, C. “Thermoeconomic analysis of co-firing combined cooling, heating, and power system based on energy level”. Energy Conversion and Management, 197, 111900 (2019).

[6] Wang, Z., & Duan, L. “Thermoeconomic optimization of steam pressure of heat recovery steam generator in combined cycle gas turbine under different operation strategies.” Energies, 14(16), 4991 (2021).

[7] Oh, H. S., Lee, Y., & Kwak, H. Y. “Diagnosis of combined cycle power plant based on thermoeconomic analysis: A computer simulation study.” Entropy, 19(12), 643 (2017).

[8] Denise, L. M. H., Vicente, T. G. E., Sergio, C. H., Martín, S. P., Teresa, L. A., & Raúl, L. L. “An irreversibility-based criterion to determine the cost formation of residues in a three-pressure-level combined cycle.” Entropy, 22(3), 299 (2020).

[9] Rivkin, S. L. Thermodynamic properties of air and fuel combustion products. Moscow Energoizdat (1984).

[10] Cai, L., Fu, Y., Cheng, Z., Xiang, Y., & Guan, Y. (2022). Advanced exergy and exergoeconomic analyses to evaluate the economy of LNG oxy-fuel combined cycle power plant. Journal of Environmental Chemical Engineering, 10(5), 108387.

 ISSN: 2007 8102

Determinación de furanos, azúcares residuales y compuestos fenólicos en vinazas tequileras

Lorenzo-Santiago, M.A.[1], Rodriguez-Campos, J.[2], Rendón-Villalobos, R.[3], Contreras-Ramos S.M. [1]*

[1] Unidad de Tecnología Ambiental, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ). Normalistas No. 800, Colinas de la Normal, Guadalajara, Jalisco, México.
**smcontreras@ciatej.mx*
[2]Unidad de Servicios Analíticos y Metrológicos, CIATEJ.
[3]Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Calle Ceprobi número 8, Colonia San Isidro C.P. 62731, Morelos, México.

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

Las vinazas representan importantes problemas ambientales, debido a su composición fisicoquímica, su inadecuada disposición final y su uso como irrigación en suelos agrícolas. Este trabajo determinó la presencia de furanos, fenoles y azúcares residuales en vinazas de tequila utilizando un cromatógrafo UPLC-MS (XEVO TQS Micro), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) utilizando pruebas de digestor (HACH) y la determinación de compuestos lignocelulósicos se realizó un análisis FTIR. El análisis de vinazas mostró la presencia de 5-HMF (36.37 mg/L) y furfural (0.08 mg/L), compuestos fenólicos de importancia económica como; clorogénico, vainílico, cafeico, ferúlico, 3-hidroxibenzoico, siríngico, sinápico, 2,4-di-tert-butilfenol, cumárico y salicílico, y azúcares residuales como; glucosa, fructosa, sacarosa y xilosa. La determinación de compuestos en vinazas busca la revalorización del residuo y así poder mitigar el impacto que generan en el medio ambiente.

***Palabras clave**: vinazas; residuos agroindustriales; furanos; fenoles*

Abstract

Vinasses represent important environmental problems, due to their physicochemical composition, inadequate final disposal, and use as irrigation in agricultural soils. This work determined the presence of furans, phenols and residual sugars in tequila vinasses using a UPLC-MS chromatograph (XEVO TQS Micro), the Chemical Oxygen Demand (COD) using digester tests (HACH) and determination of lignocellulosic compounds by FTIR analysis. Vinasses analysis showed the presence of 5-HMF (36.37 mg/L and furfural (0.08 mg/L), phenolic compounds of economic importance such as chlorogenic, vanillic, caffeic, ferulic, 3-hydroxybenzoic, syringic, synapic, 2,4-di-tert-butylphenol, coumaric and salicylic acid, and residual sugars such as glucose, fructose, sucrose, and xylose. The determination of compounds in vinasses seeks the revaluation of the residue to reduce the impact it generates on the environment.

***Key words**: vinasses; agro-industrial residues; furans; phenols*

Introducción

La alta demanda de etanol a nivel mundial ha incrementado con el paso del tiempo. Para el 2021, Estados Unidos produjo más de 15 mil millones de galones, mientras que Brasil produjo 7.43 mil millones de galones, ocupando el segundo lugar, ambos países producen más del 82% del etanol a nivel mundial [1] . El proceso de producción de etanol genera grandes volúmenes de bagazo y vinaza. Las vinazas son aguas residuales obtenidas de la destilación de etanol mediante un proceso térmico que oscila entre 85 y 95 °C [2]. Se estima que, de cada litro de etanol producido, se generan entre 10 y 15 L de vinazas [3].

 ISSN: 2007 8102

El Estado de Jalisco, México, produce grandes volúmenes de vinazas como aguas residuales generadas por las fábricas de tequila, una de las principales fuentes productoras [4]. Reportes del Consejo Regulador del Tequila (CRT), estiman que para 2021 se utilizaron 2000 toneladas de *Agave tequilana* Weber var. Azul y la producción de vinazas se estimaron en 4.47 x 10^9 L [5].

Las vinazas están compuestas principalmente por agua, azúcares, ácidos orgánicos, ésteres, alcoholes, furanos y compuestos fenólicos [6]. Su alto contenido de materia orgánica, altas concentraciones de lípidos y bajo pH generan severos problemas con su disposición final [7]. Su composición genera cambios en la estructura y salinidad del suelo y aportan alta nocividad, alta biodisponibilidad de nutrientes, principalmente potasio, nitrógeno, fósforo y sulfatos [8].

Las vinazas se asocian principalmente con compuestos lignocelulósicos (celulosa, lignina y hemicelulosa, respectivamente) debido al proceso de molienda del agave [9]. Las hemicelulosas pueden hidrolizarse fácilmente en xilosa a través de la interacción con ácidos orgánicos, soluciones alcalinas y solventes orgánicos, entre otros (Figura 1a) y por hidrólisis térmica incidir en la formación de furfural [10].

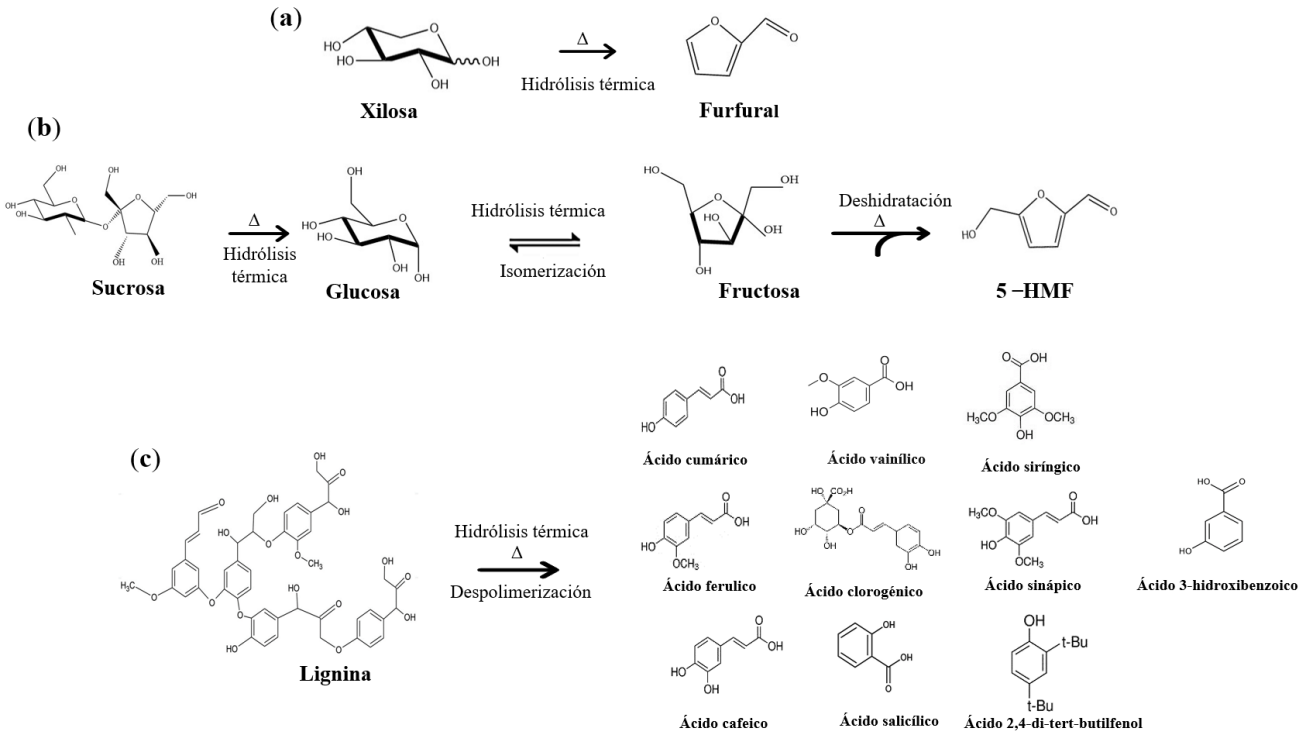


Figura 1. Fórmulas de reacción esperadas de (a) hidrólisis térmica de xilosa en la formación de furfural, (b) hidrólisis térmica de fructosa en la formación de 5-HMF, y (c) despolimerización de lignina en la producción de fenoles.

Los compuestos fenólicos se pueden obtener mediante la despolimerización de la lignina por tratamiento termoquímico, mecánico, biológico y catálisis química[11]. Lorenzo-Santiago et al. [12], reportaron por primera vez la presencia de lignina en vinazas de agave e indicaron los posibles mecanismos de despolimerización y la formación de compuestos fenólicos presentes en las vinazas. En la actualidad, los compuestos fenólicos tienen una gran importancia económica. Se utilizan como suplementos nutracéuticos y agentes farmacológicos, en la agricultura y la industria alimentaria[13], [14].

Los furanos son producidos a partir de carbohidratos a partir de hidrólisis térmica. Sin embargo, la conversión también puede ocurrir a través de catalizadores [15]. La obtención de furanos a partir de la transformación de azúcares residuales podría ayudar a reemplazar la producción de polímeros y combustibles de alto valor, facilitando la transición hacia bajas emisiones de CO_2 [16].

Este trabajo, tiene como objetivo la caracterización de las vinazas tequileras, con vías a la revalorización del residuo y su capacidad como proveedor de compuestos de interés económico.

ISSN: 2007 8102

Metodología

Vinaza original

Las muestras se recolectaron de fábricas de tequila con proceso artesanal (con cocción) ubicadas en Arenal, Municipio de Jalisco, México. Después del transporte, la vinaza se mantuvo a 4 ºC, hasta su uso.

Determinación de DQO y azúcares totales

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se determinó usando una prueba de digestor (Hach, Canadá). Se utilizaron viales de digestión de DQO (20-1500 mg/L) y un espectrofotómetro DR 5000™ UV-Vis (Hach, Canadá). El digestor se precalentó a 150 °C. Mientras tanto, se prepararon muestras de vinaza a una dilución de 1:100 y se agregaron 2 mL de vinaza a los viales. Se agitan y se colocan en el digestor a 150 °C durante 2 h. Posteriormente, se dejaron enfriar a 10 °C y se analizaron en el espectrofotómetro. Todas las muestras fueron por triplicado.

Para la determinación de azúcares totales, se utilizaron glucosa grado reactivo ($C_6H_{12}O_6$), ácido sulfúrico (H_2SO_4) y fenol (C_6H_5OH) al 5% (p/v) para determinar el azúcar total en vinazas. La curva de glucosa osciló entre 20 mg/L y 100 mg/L. Las muestras se prepararon en viales de vidrio utilizando 1 mL de vinaza, 600 µL de fenol y 3.5 mL de ácido sulfúrico concentrado (97% de pureza). Los viales se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Las muestras se miden en el espectrofotómetro UV-Vis DR 5000™ (Hach, Canadá) a 490 nm [17].

Determinación de furanos

Los furanos se cuantificaron en un UPLC-MS (XEVO TQS Micro) (Waters, Milford, EE. UU.) integrado por un sistema de bombeo binario ACQUITY Clase I Waters (Milford, EE. UU.). El sistema estaba equipado con una columna BEH C18 marca Waters de 1000 mm x 2,1 mm x 1,7 µm (Waters, Dublín, Irlanda) y una sonda tipo APcI. La temperatura fue de 150 °C, la temperatura de la sonda de 450 °C, el flujo de gas del cono de 100 L/h y el flujo de gas de desolvatación de 600 L/h. La adquisición se realizó en modo de monitorización de reacción múltiple (MRM). Las fases móviles: A) agua: ácido fórmico (99.7:0,3 v/v) y B) metanol. La cuantificación de los compuestos se realizó mediante la elaboración de curvas de calibración con los estándares 1, 2.5, 5, 12.5, 25 y 50 mg/L para furanos.

Determinación de compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos se cuantificaron en un UPLC-MS (XEVO TQS Micro) (Waters, Milford, EE. UU.) integrado por un sistema de bombeo binario ACQUITY Clase I Waters (Milford, EE. UU.). El sistema estaba equipado con una columna BEH C18 marca Waters de 1000 mm x 2.1 mm x 1.7 µm (Waters, Dublín, Irlanda) y una sonda ESI. La temperatura de la fuente fue de 130 °C, la temperatura de la sonda fue de 450 °C, el flujo de gas del cono fue de 20 L/h y el gas de desolvatación fue de 800 L/h. La adquisición se realizó en modo de monitorización de reacción múltiple (MRM). El gradiente con las fases móviles: A) agua: ácido fórmico (99.7:0.3 v/v) y B) metanol. La cuantificación de los compuestos se realizó mediante la elaboración de curvas de calibración con los estándares 0.1, 0.5, 1, 2.5 y 5 mg/L para compuestos fenólicos.

Determinación de azúcares residuales

El sistema UPLC-MS (XEVO TQS Micro) se equipó con una columna BEH Amida de la marca Waters de 50 mm x 2.1 mm x 1.7 µm (Waters, Dublín, Irlanda) y la temperatura se mantuvo a 60 °C para cuantificar los azúcares reductores. La temperatura de la fuente fue de 120 °C, la temperatura de desolvatación de 400 °C, el flujo de gas del cono de 50 L/h y el flujo de gas de desolvatación de 600 L/h. La adquisición se realizó en modo de registro de ion único (SIR). Las fases móviles fueron A) acetonitrilo: agua (10:90 v/v) + 0.1% amoníaco y B) acetonitrilo: agua (90:10 v/v) + 0.1% amoníaco. La cuantificación de los compuestos se realizó mediante la elaboración de curvas de calibración con los patrones intervalo 5, 10, 15, 20, 25 y 50 mg/L de los compuestos.

 ISSN: 2007 8102

FTIR de vinazas de tequila

La caracterización estructural de las vinazas se determinó a partir de espectros infrarrojos por transformada de Fourier (FT-IR) en un modelo Perkin Elmer Spectrum 100/100 N (Shelton, CT, EUA) en el rango de 4000-500 cm^{-1} en modo transmitancia, con una resolución de 16 cm^{-1} y ocho escaneos.

Resultados y discusión

Determinación de pH, DQO y azúcares totales

Las vinazas tequileras presentaron un pH de 2.4 (Tabla 1). Los valores obtenidos son similares a los reportados en vinazas de caña de azúcar, con pH que oscilan entre 3.25 y 4.67 [7]. Se considera que el pH bajo, está dado por la presencia natural de ácidos en el medio, como el acético, butírico, láctico y fórmico, compuestos que intervienen en la descomposición de las moléculas de carbohidratos en monómeros simples [18].

Tabla 1. Caracterización de vinazas tequileras

Parámetros	Vinaza tequilera
pH	2.4
DQO (g/L)	29.80
Azúcares totales (g/L)	13.61
Sucrosa (mg/L)	12.83
Fructosa (mg/L)	34.48
Glucosa (mg/L)	8.42
Xilosa (mg/L)	46.24
5-HMF (mg/L)	37.36
Furfural (mg/L)	0.08
Ácido cafeico (mg/L)	0.28
Ácido ferúlico (mg/L)	0.26
Ácido 3-hidroxibenzoico (mg/L)	0.02
Ácido clorogénico (mg/L)	0.03
Ácido vainílico (mg/L)	0.60
Ácido siríngico (mg/L)	0.03
Ácido sinápico (mg/L)	0.03
Ácido 2,4-di-tert-butilfenol (mg/L)	0.02
Ácido salicílico (mg/L)	0.02
Ácido cumárico (mg/L)	0.01

El alto valor de DQO (29.80 g/L) indicó un alto contenido de compuestos orgánicos como polisacáridos, lignina, hemicelulosa, proteínas, melanoidina y cera que permanecieron después de la destilación y se acumularon durante todos los procesos (tabla 1). Este valor es similar al reportado por otros autores en vinazas de tequila, con concentraciones que oscilan entre 28 y 45 g/L [19].

Para azúcares totales, las vinazas de tequila presentaron una concentración de 13.6 g/L (tabla 1), al igual que los valores reportados en las vinazas de tequila (8 a 18 g/L) obtenidos de diferentes fábricas con procesos de extracción con y sin cocción del agave [18], [19].

Determinación de furanos y fenoles

La vinaza original presentó una concentración inicial de furfural de 0.08 mg/L (tabla 1). Sin embargo, se han reportado hasta 52.11 mg/L de furfural en vinazas de tequila [20]. La diferencia en las concentraciones se puede deber a la diferencia en el proceso de elaboración del tequila (altas temperaturas y presiones) que pueden promover la formación de furanos.

La presencia de 34.48 mg/L de fructosa en vinazas tequileras (tabla 1), podría estar relacionado con la isomerización de glucosa a fructosa y la capacidad térmica para la ruptura y oxidación de sacarosa, que genera fructosa [21]. La glucosa podría transformarse en fructosa a través de mecanismos de isomerización, seguido de conversión a 5-HMF por deshidratación (Figura 1b) [21].

 ISSN: 2007 8102

En este trabajo se reportó 37.36 mg/L de 5-HMF (tabla 1). La presencia de compuestos furánicos como 5-HMF y furfural han sido reportadas previamente en vinazas de tequila obtenidas por procesos artesanales [22]. Rodriguez-Felix et al. [20], identificaron once compuestos furánicos, entre ellos furfural (52.1 mg/L) y 5-HMF (347.6 mg/L) en vinazas de tequila de dos procesos de producción. La variación de las concentraciones de 5-HMF y furfural depende del proceso de destilación de las muestras y del tiempo de almacenamiento [20].

Las concentraciones de fenoles se encuentran reportadas en la Tabla 1. La posible despolimerización de la lignina se presenta en la Figura 1c. Otros autores han reportado compuestos fenólicos provenientes de procesos de destilación de la caña de azúcar, tales como clorogénico (1,52 mg/L), ácido cafeico (0.20 mg/L) y cumárico (1.4 mg/L) [23]. Wang et al [24] reportaron compuestos fenólicos en vinazas de baijiu (licor blanco), compuestos como vainílico (15.13 mg/L), clorogénico (1.74 mg/L), cumárico (0.97 mg/L), sinápico (2.16 mg/L), cafeico (6.36 mg/L), ferúlico (1.67 mg/L) y ácido siríngico (0.54 mg/L). Todas las determinaciones presentaron una concentración alta en comparación con este trabajo.

FTIR de vinazas tequileras

El espectro mostró una banda en 3300 y un pico en 1234 cm^{-1} (Figura 2). Estos son característicos de los enlaces OH^-, asignados a las vibraciones de estiramiento y torsión de los grupos hidroxilo del 5-HMF [25].

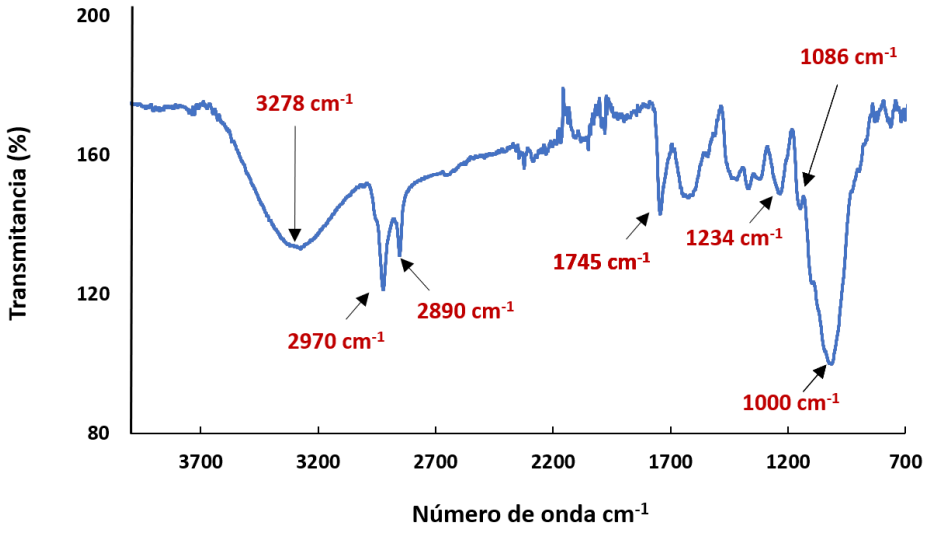


Figura 2. FTIR de vinaza de tequila

Las señales a 2970 y 2890 cm^{-1} están asociadas con grupos alquilo alifáticos y anillos aromáticos (CH_3 y CH_2) en la lignina [26]. Otro pico ocurre a 1745 cm^{-1}, un pico característico del doble enlace C=O en la lignina y los compuestos fenólicos. Este pico representa la capacidad de absorción de la lignina. La intensidad del pico indica que la muestra tuvo tratamiento térmico, indicando cambios y rupturas en la estructura del compuesto [27]. Además, se detectaron enlaces C-H olefínicos y aromáticos en el espectro a 1234 cm^{-1}, que son señales características de los compuestos fenólicos [28].

Los picos presentes a 1086 y 1000 cm^{-1}; estos podrían atribuirse al estiramiento de los enlaces C-O, C-C y C-H en celulosa, hemicelulosa y polisacáridos [26]. La presencia de estos picos podría deberse a la descomposición de los compuestos lignocelulósicos y azúcares presentes en las vinazas.

 ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

La caracterización de las vinazas se realizó como análisis preliminar, para generar propuestas de modificación térmica, que ayuden en el incremento de compuestos de importancia económica. Se desarrollará una propuesta con el uso de catalizadores verdes, que ayuden en la formación de furanos, fenoles, la reducción de DQO y azúcares residuales, en la búsqueda de la revalorización de este residuo.

Conclusiones

Las vinazas son aguas residuales generadas después del proceso de la producción de tequila. Caracterizar este residuo, genera un área de oportunidad para la extracción de compuestos de importancia económica como; 5-HMF (36.37 mg/L), furfural (0.08 mg/L) y altas concentraciones de compuestos fenólicos como; el ácido cafeico (0.28 mg/L), ácido ferúlico (0.26 mg/L) y vainílico (0.60 mg/L) utilizados en la industria farmacéutica y alimentaria. Determinar las concentraciones de azúcares residuales en el residuo, abre una oportunidad mayúscula, para explorar y proponer nuevas metodologías que pueden incrementar la concentración de compuestos específicos, a partir de la modificación térmica, química, enzimática, entre otras.

Agradecimientos

Los autores agradecen los recursos brindados por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) y al Fondo de Desarrollo Científico de Jalisco (proyecto: FODECIJAL 8138–2019).

Referencias

[1] Renewable Fuels Association. Market & Statistics: World Fuel Ethanol Production., “http://ethanolrfa.org/resources/industry/statistics/,” 2021.

[2] C. E. Rodrigues Reis and B. Hu, “Vinasse from Sugarcane Ethanol Production: Better Treatment or Better Utilization?,” *Frontiers in Energy Research,*, vol. 5, 2017, doi: 10.3389/fenrg.2017.00007.

[3] L. T. Fuess and M. L. Garcia, “Implications of stillage land disposal: A critical review on the impacts of fertigation,” *Journal of Environmental Management*, vol. 145, pp. 210–229, 2014, doi: 10.1016/j.jenvman.2014.07.003.

[4] H. Li *et al.*, “Porous starch extracted from Chinese rice wine vinasse: Characterization and adsorption properties,” *International journal of biological macromolecules*, vol. 61, pp. 156–159, 2013, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2013.07.004.

[5] A. López-López, G. Davila-Vazquez, E. León-Becerril, E. Villegas-García, and J. Gallardo-Valdez, “Tequila vinasses: generation and full-scale treatment processes,” *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 109–116, 2010, doi: 10.1007/s11157-010-9204-9.

[6] C. F. H. Garcia, R. B. de Souza, C. P. de Souza, C. Ap. Christofoletti, and C. S. Fontanetti, “Toxicity of two effluents from agricultural activity: Comparing the genotoxicity of sugar cane and orange vinasse,” *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 142, pp. 216–221, 2017, doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.03.053.

[7] M. Parsaee, M. Kiani Deh Kiani, and K. Karimi, “A review of biogas production from sugarcane vinasse,” *Biomass an Bioenergy*, vol. 122, pp. 117–125, 2019, doi: 10.1016/j.biombioe.2019.01.034.

[8] S. C. Rabelo, A. C. da Costa, and C. E. Vaz Rossel, “Industrial Waste Recovery,” *Academic press*, pp. 365–381, 2015, doi: 10.1016/B978-0-12-802239-9.00017-7.

[9] D. A. Iryani, S. Kumagai, M. Nonaka, K. Sasaki, and T. Hirajima, “Production of 5-hydroxymethyl Furfural from Sugarcane Bagasse under Hot Compressed Water,” *Procedia Earth and Planetary Science*, vol. 6, pp. 441–447, 2013. doi: 10.1016/j.proeps.2013.01.058.

[10] T. Komolwanich, P. Tatijarern, S. Prasertwasu, D. Khumsupan, T. Chaisuwan, A. Luengnaruemitchai, and S. Wongkasemjit. “Comparative potentiality of Kans grass (Saccharum spontaneum) and Giant reed (Arundo donax) as lignocellulosic feedstocks for the release of monomeric sugars by microwave/chemical pretreatment,” *Cellulose*, vol. 21, no. 3, pp. 1327–1340, 2014, doi: 10.1007/s10570-013-0161-7.

[11] C. Chio, M. Sain, and W. Qin, “Lignin utilization: A review of lignin depolymerization from various aspects,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 107, pp. 232–249, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.03.008.

 ISSN: 2007 8102

[12] M. A. Lorenzo-Santiago, J. Rodríguez-Campos, R. Rendón-Villalobos, E. García-Hernández, A. A. Vallejo-Cardona, and S. M. Contreras-Ramos, “Thermal Treatment to Obtain 5-Hydroxymethyl Furfural (5-HMF), Furfural and Phenolic Compounds from Vinasse Waste from Agave,” *Molecules*, vol. 28, no. 3, p. 1063, 2023, doi: 10.3390/molecules28031063.

[13] N. A. A. Ahmad Ruslan, S.-Y. Kan, A. S. Hamzah, and P. W. Chia, “Natural food additives as green catalysts in organic synthesis: a review,” *Environmental Chemistry Letters*, vol. 19, no. 4, pp. 3359–3380, 2021, doi: 10.1007/s10311-021-01209-8.

[14] O. R. Alara, N. H. Abdurahman, and C. I. Ukaegbu, “Extraction of phenolic compounds: A review,” *Current Research in Food Science*, vol. 4, pp. 200–214, 2021, doi: 10.1016/j.crfs.2021.03.011.

[15] A. Sarwono, Z. Man, A. Idris, A. S. Khan, N. Muhammad, and C. D. Wilfred, “Optimization of ionic liquid assisted sugar conversion and nanofiltration membrane separation for 5-hydroxymethylfurfural,” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 69, pp. 171–178, 2019, doi: 10.1016/j.jiec.2018.09.020.

[16] V. P. Kashparova, D. V. Chernysheva, V. A. Klushin, V. E. Andreeva, O. A. Kravchenko, and N. V. Smirnova, “Furan monomers and polymers from renewable plant biomass,” *Russian Chemical Reviews*, vol. 90, no. 6, pp. 750–784, 2021, doi: 10.1070/RCR5018.

[17] M. Dubois, K. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers, and F. Smith, “A Colorimetric Method for the Determination of Sugars,” *Nature*, vol. 168, no. 4265, pp. 167–167, 1951, doi: 10.1038/168167a0.

[18] L. Arellano-García, J. B. Velázquez-Fernández, M. Macías-Muro, and E. N. Marino-Marmolejo, “Continuous hydrogen production and microbial community profile in the dark fermentation of tequila vinasse: Response to increasing loading rates and immobilization of biomass,” *Biochemical Engineering Journal*, vol. 172, p. 108049, 2021, doi: 10.1016/j.bej.2021.108049.

[19] M. García-Becerra, M. Macías-Muro, L. Arellano-García, and O. Aguilar-Juárez, “Bio-hydrogen production from tequila vinasses: Effect of detoxification with activated charcoal on dark fermentation performance,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 60, pp. 31860–31872, 2019, doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.10.059.

[20] E. Rodríguez-Félix, S. Contreras-Ramos, G. Davila-Vazquez, J. Rodríguez-Campos, and E. Marino-Marmolejo, “Identification and Quantification of Volatile Compounds Found in Vinasses from Two Different Processes of Tequila Production,” *Energies*, vol. 11, no. 3, p. 490, 2018, doi: 10.3390/en11030490.

[21] H. T. Kreissl, K. Nakagawa, Y.-K. Peng, Y. Koito, J. Zheng, and S. C. E. Tsang, “Niobium oxides: Correlation of acidity with structure and catalytic performance in sucrose conversion to 5-hydroxymethylfurfural,” *Journal of catalysis*, vol. 338, pp. 329–339, 2016, doi: 10.1016/j.jcat.2016.03.007.

[22] N. Prado-Jaramillo, M. Estarrón-Espinosa, H. Escalona-Buendía, R. Cosío-Ramírez, and S. T. Martín-del-Campo, “Volatile compounds generation during different stages of the Tequila production process. A preliminary study,” *LWT - Food Science and Technology*, vol. 61, no. 2, pp. 471–483, 2015, doi: 10.1016/j.lwt.2014.11.042.

[23] A. Molina-Cortés, T. Sánchez-Motta, F. Tobar-Tosse, and M. Quimbaya, “Spectrophotometric Estimation of Total Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Molasses and Vinasses Generated from the Sugarcane Industry,” *Waste Biomass Valorization*, vol. 11, no. 7, pp. 3453–3463, 2020, doi: 10.1007/s12649-019-00690-1.

[24] Y. Wang *et al.*, “Baijiu Vinasse Extract Scavenges Glyoxal and Inhibits the Formation of Nε Carboxymethyllysine in Dairy Food,” *Molecules*, vol. 24, no. 8, p. 1526, 2019, doi: 10.3390/molecules24081526.

[25] J. Dai, X. Fu, L. Zhu, J. Tang, X. Guo, and C. Hu, “One-Pot Deoxygenation of Fructose to Furfuryl Alcohol by Sequential Dehydration and Decarbonylation,” *ChemCatChem*, vol. 8, no. 7, pp. 1379–1385, 2016, doi: 10.1002/cctc.201501292.

[26] H. Yang, R. Yan, H. Chen, D. H. Lee, and C. Zheng, “Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis,” *Fuel*, vol. 86, no. 12–13, pp. 1781–1788, 2007, doi: 10.1016/j.fuel.2006.12.013.

[27] D. Li, Y. Sun, R. Li, T. Ao, X. Liu, and Y. Luo, “Selective conversion of corncob hemicellulose to xylose via hydrothermal treatment with Fe2(SO4)3 and NaCl,” *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2021, doi: 10.1007/s13399-020-01170-6.

[28] M. Catauro, F. Barrino, G. Dal Poggetto, G. Crescente, S. Piccolella, and S. Pacifico, “New SiO2/Caffeic Acid Hybrid Materials: Synthesis, Spectroscopic Characterization, and Bioactivity,” *Materials*, vol. 13, no. 2, p. 394, 2020, doi: 10.3390/ma13020394.

 ISSN: 2007 8102

Síntesis de Nanotubos de Carbonos para mejorar las propiedades reológicas de un fluido de perforación.

G. Ramón Hernández[1], A. J. González Acencio[2], E. E. Uicab Córdova[1,2], P. Sifuentes Gallardo[2], J. C. Díaz Guillén[3].*
[1] División de Química, Universidad Tecnológica de Tabasco, Carret. Vhsa-Teapa Km. 14.5. s/n. C.P.86288, Parrilla II, Centro, Tabasco.
[2] División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad juárez Autónoma de Tabasco, Carret. Cuanduacán-Jalpa de Méndez Km. 1 C.P. 86690, Cunduacán, Tabasco.
[3] Corporación Mexicana de Investigación de Materiales (COMIMSA), Calle Ciencia y Tecnología 790, Saltillo 400, C.P. 25290, Saltillo, Coahuila.
**gabogrh@gmail.com*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

El uso de nanopartículas en la industria de la perforación de pozos petroleros, se introdujo recientemente para mejorar el rendimiento de propiedades físicas, químicas y reológicas en los fluidos de perforación utilizando mecanismos que dependen principalmente de la fase continua de éstos y las características de las nanopartículas. El objetivo principal es la síntesis de Nanotubos de Carbono (NTC) para ser agregados en la formulación de un fluido de perforación optimizando sus propiedades reológicas. Este trabajo muestra la síntesis del precursor catalítico de óxido de cobalto Co_3O_4 (óxido de cobalto II, III) para posteriormente ser utilizado en la obtención de nanotubos de carbono dopados con cobalto (Co/NTC), la cual se realizó en un reactor por Deposición Química de Vapor (DQV). Los materiales obtenidos se caracterizaron por Difracción de Rayos-X (DRX) para la identificación del Co_3O_4 así como el crecimiento uniforme de los NTC a diferentes temperaturas.

***Palabras clave**: Lutitas, Enjarre, Fluido de Perforación, Reología.*

Abstract

The use of nanoparticles in the oil well drilling industry was recently introduced to improve the performance of physical, chemical and rheological properties in drilling fluids using mechanisms that mainly depend on the continuous phase of these and the characteristics of the nanoparticles. The main objective is the synthesis of Carbon Nanotubes (NTC) to be added in the formulation of a drilling fluid, optimizing its rheological properties. This work shows the synthesis of the catalytic precursor of cobalt oxide Co_3O_4 (cobalt oxide II, III) to later be used to obtain cobalt-doped carbon nanotubes (Co/NTC), which was carried out in a Deposition reactor. Steam Chemistry (DQV). The materials obtained were characterized by X-ray diffraction (XRD) for the identification of Co_3O_4 as well as the uniform growth of CNTs at different temperatures.

***Key words**: Shales, Enjarre, Drilling Fluid, Rheology.*

Introducción

Los fluidos de perforación tienen un papel muy importante durante el proceso de perforación de pozos petroleros, contribuyendo de gran manera para que la operación se lleve a cabo de manera exitosa, esto lo logra realizando múltiples funciones tales como: transportar los recortes de perforación hasta la superficie, mantener estables las paredes del pozo, inhibir las lutitas de formación, dar limpieza al pozo, formar un revoque o enjarre y controlar la pérdida por filtración, para lo cual se emplean regularmente varios tipos de aditivos tales como productos químicos y polímeros, capaces de minimizar daños a la formación, evitar pérdidas de circulación, pega de tuberías, etc.[1], sin embargo, especialmente hoy en día se está haciendo uso de las nanopartículas para mejorar sus propiedades [2].

 ISSN: 2007 8102

Para que el fluido cumpla eficazmente con todas estas funciones, es necesario que mantenga una estabilidad en sus propiedades físicas y químicas, las cuales son evaluadas bajo la norma del Instituto Americano del Petróleo API RP 13B-1-ISO10414-1 [3]. El fluido de perforación debe ser diseñado para funcionar de manera eficiente en condiciones de perforación que cambian continuamente, por eso es importante comprender y entender sus caracteristicas para que puedan ser mejoradas y así superar los problemas que puedan enfrentar durante las operaciones de perforación [1].

El diseño y composición de los fluidos de perforación está en función de la formación litológica, temperatura, hidráulica, tipo de pozo, profundidad y logística, en otras palabras, depende de las exigencias de cada operación de perforación en particular, considerando si es necesario realizar mejoras a los fluidos requeridos, para enfrentar las condiciones que se encuentran a medida que avance la perforación [4].

Las nanopartículas poseen propiedades fisicoquímicas mejoradas en comparación con los materiales de tamaño macro y micro, lo que se puede atribuir a su pequeño tamaño junto con su relación superficie-volumen extremadamente alta. Estas propiedades hacen que las nanopartículas sean los materiales más prometedores para el diseño de fluidos de perforación inteligentes con propiedades personalizadas que pueden cumplir con los requisitos de los exigentes entornos del fondo del pozo [5]. Forman una suspensión coloidal dentro del fluido de perforación (ver figura 1) mejorando la inhibición del hinchamiento de las lutitas, control del filtrado, así como las características reológicas y térmicas del fluido sin el empleo de aditivos muy costosos [6].

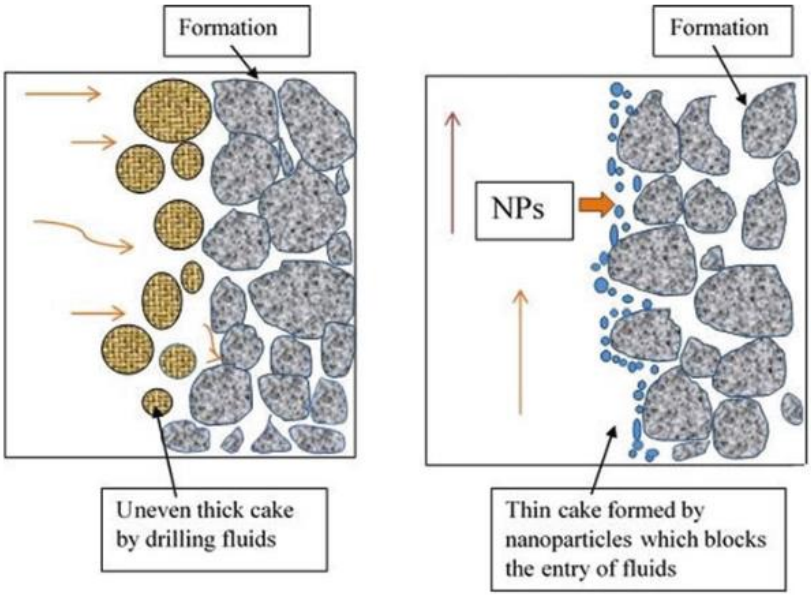


Figura 1. Adición de nanopartículas en los fluidos de perforación para reducir el filtrado [7].

Debido al incremento desmedido de la presión poral se empiezan a derrumbar las paredes del pozo, para poder reducir esta presión cuando se está perforando con fluido base agua, es necesario adicionar agentes puenteantes capaces de obturar las gargantas de poro de la roca, las fisuras y/o fracturas.

Dentro de los aditivos que comunmente se usan para controlar el filtrado son los que se encuentran entre 0.1 a 100 micrones, y no son capaces de formar un enjarre de calidad que evite el ingreso del fluido, se ha demostrado que para poder bloquear éstas gargantas porales, el tamaño de las partículas no debe ser superior a la tercera parte del diámetro del poro. En este tipo de condiciones se han usado materiales nanométricos capaces de bloquear este tamaño de poros, reduciendo la permeabilidad de la roca, la invasión de filtrado y la presión poral [8].

Dentro de la gran variedad de nanopartículas empleadas con el fin de mejorar la eficacia de los fluidos de perforación se encuentran: el óxido de Aluminio (Al_2O_3), el óxido de Cobre (CuO), el óxido de Titanio (TiO_2), el óxido de Magnesio (MgO), el óxido de Silicio (SiO_2), el óxido de Fierro (Fe_2O_3), los nanotubos de Carbono

 ISSN: 2007 8102

(NTC), los Fulerenos, el Grafeno, las nanofibras Celulósicas, por mencionar algunas. En este trabajo se mostrará la síntesis del óxido de cobalto Co_3O_4 como precursor catalítico, debido a que se obtiene en un tiempo no mayor a 4 horas, empleando una técnica muy sencilla como lo es la combustión de solución. Esta técnica permite obtener partículas pequeñas de tamaño micro a nano, con la cual se obtiene un área superficial mayor que contribuye al crecimiento de los NTC [9].

El uso de la técnica de DQV para la obtención de NTC se definió de acuerdo al costo de síntesis comparado con otras técnicas (ablasión láser, arco eléctrico, etc.) ya que ésta presenta la ventaja de usar polímeros reciclados como materia orgánica, tal como los vasos de polipropileno (PP), botellas de Polietilentereftalato (PET).

Metodología

Síntesis del precursor catalítico de óxido de cobalto.

La síntesis del precursor catalítico Co_3O_4 (óxido de cobalto II, III) se realizó llevando a cabo una combustión de la solución, para lo cual se mezclaron nitrato de cobalto hexahidratado ($Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, marca Sigma-Aldrich) y urea (CH_4N_2O, marca Baker) en relación 1:5 en masa respectivamente, siendo ambos de grado reactivo [9].

Esta mezcla fue molida en un mortero de ágata por 30 minutos y posteriormente se calcinó a una temperatura de 300ºC en una mufla marca Lindberg modelo 51894 durante 3 horas. Transcurrido ese tiempo de calcinación se dejó enfriar a temperatura ambiente y el producto se molió en un mortero de ágata para su posterior almacenamiento tal como se muestra en la figura 2.

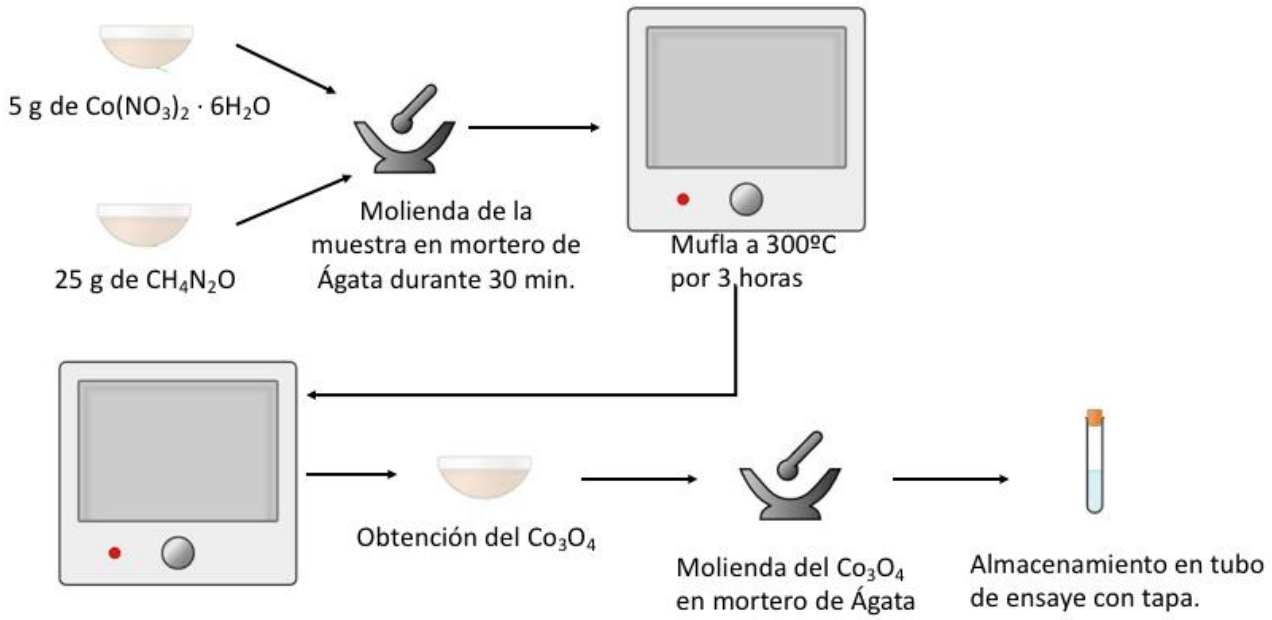


Figura 2. Proceso de obtención del precursor catalítico Co_3O_4.

Para la síntesis del Co/NTC se utilizó polipropileno (PP) de los vasos desechables como fuente de carbono y el precursor catalítico obtenido con anterioridad Co_3O_4 (II, III), se llevó a cabo mediante la técnica de Deposición Química de Vapor (DQV) empleando un reactor como se muestra en la figura 3; se realizaron dos síntesis la primera reacción fue sometida a 700ºC y la segunda a 750ºC durante 6 horas, respectivamente. El producto obtenido de cada una de las reacciones se dejo enfriar a temperatura ambiente en un desecador, posteriormente se tomaron las muestras de la parte superior (S), media (M) e inferior (I) del portamuestra de

 ISSN: 2007 8102

cuarzo, esto con el fin de identificar si el crecimiento de los NTC es homogéneo y descartar posibles zonas carbonáceas que no reaccionarán con el precursor catalítico.

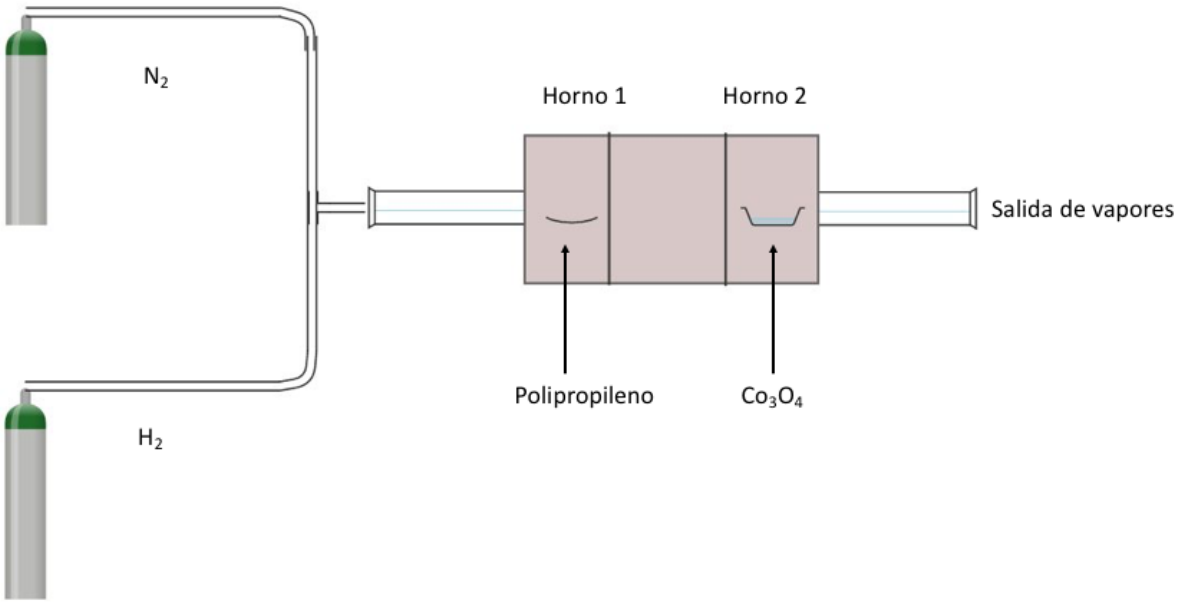


Figura 3. Proceso de síntesis del Co/NTC

Las muestras Co_3O_4 y los NTC se analizaron con un difractómetro de DRX marca Malvern Panalytical Modelo Empyream bajo las siguientes condiciones de análisis Rango: 10-80 grados 2 theta, Radiación K-alfa de Cu 45kV 40mA, Tamaño de paso: 0.02°, Tiempo de conteo: 41 segundos por paso. Se identificaron las muestras tal y como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Identificación de las muestras analizadas mediante Difracción de Rayos-X.

Código de indentificación	Contenido de la muestra	Descripción de la muestra
NP-Co_3O_4	Co_3O_4	Óxido de cobalto obtenido mediante la síntesis de combustión de solución.
Co/NTC-1S	Co/NTC	Nanotubos de carbono con partículas de cobalto de capa superior obtenidos mediante la síntesis CVD a 700 °C.
Co/NTC-1M	Co/NTC	Nanotubos de carbono con partículas de cobalto de capa media obtenidos mediante la síntesis CVD a 700 °C.
Co/NTC-1I	Co/NTC	Nanotubos de carbono con partículas de cobalto obtenidos de capa inferior mediante la síntesis CVD a 700 °C.
Co/NTC-2S	Co/NTC	Nanotubos de carbono con partículas de cobalto de capa superior obtenidos mediante la síntesis CVD a 750 °C.
Co/NTC-2M	Co/NTC	Nanotubos de carbono con partículas de cobalto de capa media obtenidos mediante la síntesis CVD a 750 °C.
Co/NTC-2I	Co/NTC	Nanotubos de carbono con partículas de cobalto de capa inferior obtenidos mediante la síntesis CVD a 750 °C.

Resultados y discusión

El precursor catalítico obtenido a través de la síntesis de combustión, se caracterizó por DRX para confirmar la presencia del óxido de cobalto (III) , tal como se observa en la figura 3 que muestra el difractograma del NP-Co_3O_4, donde se aprecian los planos cristalográficos (220), (311), (222), (400), (422), (511), (440) con posiciones 2θ=31.27, 36.85, 38.63, 44.80, 55.66, 59.40 y 65.22 respectivamente, para éste óxido en particular reportados en la literatura [10]. De igual forma se puede apreciar que no presentan señales asociadas a otros óxidos como el Co_2O_3 ni de otra especie que pudiera contaminar al catalizador, tal y como lo mencionan en su artículo Dam y Lee [11], debido a que el óxido de cobalto (II) es menos estable lo cual afectaría en el proceso de reducción de óxido de cobalto a cobalto en la reacción de crecimiento de los NTC.

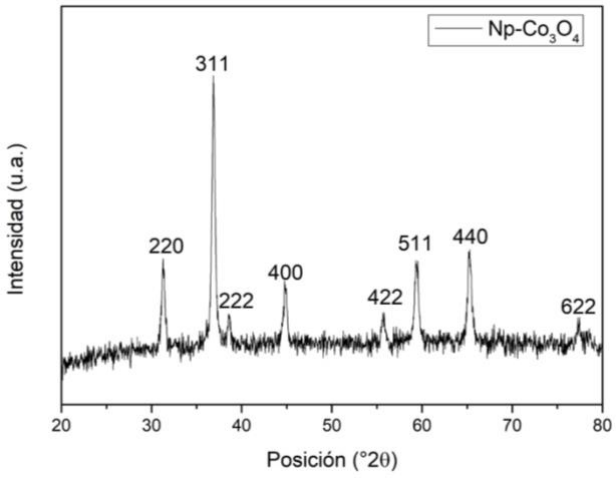


Figura 3. Difractograma del catalizador NP-Co_3O_4.

En los difractogramas de las figura 4 y 5 aparecen una serie de picos característicos de difracción correspondientes al plano típico (002) de Carbono grafítico con posición en 2θ= de 26°. Para el cobalto metálico, sus posiciones en 2θ= 44º, 51º y 76º aproximadamente, se le atribuyen a los reflejos de los planos (400), (422) y (622) del Cobalto metálico [12].

En la figura 4 se aprecia una gran influencia de la temperatura sobre la obtención de los NTC, ya que a una temperatura de 700ºC se identifica mayor presencia de Co/NTC presentando una mejor interacción entre ellos, es decir, a esta temperatura el catalizador NP-Co_3O_4 reacciona reduciéndose a cobalto como se corrobora con los planos (400), (422) y (622) de los difractogramas de las figuras 4 y 5. El Cobalto elemental como catalizador logra formar los NTC que son las partículas de interés de esta investigación [13]. Sin embargo, en las muestras obtenidas a 750ºC la interacción se ve disminuida.

Algo importante que se observa en la figura 5 es que la muestra Co/NTC-2I tiene una mayor presencia de Cobalto y de Carbono, en la muestra Co/NTC-2M hay una reducción de Cobalto pero aumenta la presencia de Carbono, para la muestra Co/NTC-2S se observa una reducción muy notable del Cobalto y un aumento de Carbono, el NP-Co_3O_4 se reduce a cobalto, pero hay poca interacción del cobalto con el Carbono. Esto puede ser atribuido a la temperatura de síntesis, tal como lo mencionan Lin y Yang en su artículo donde describen que un aumento apropiado en la temperatura de síntesis promueve el rápido crecimiento de los NTC al principio, extendiendo el tiempo de crecimiento de los mismos. Mientras tanto, un tiempo de crecimiento suficiente permitiría el proceso de conversión de precursores de carbono en NTC, lo que mejoraría la pureza y la grafitización de los NTC [13].

 ISSN: 2007 8102

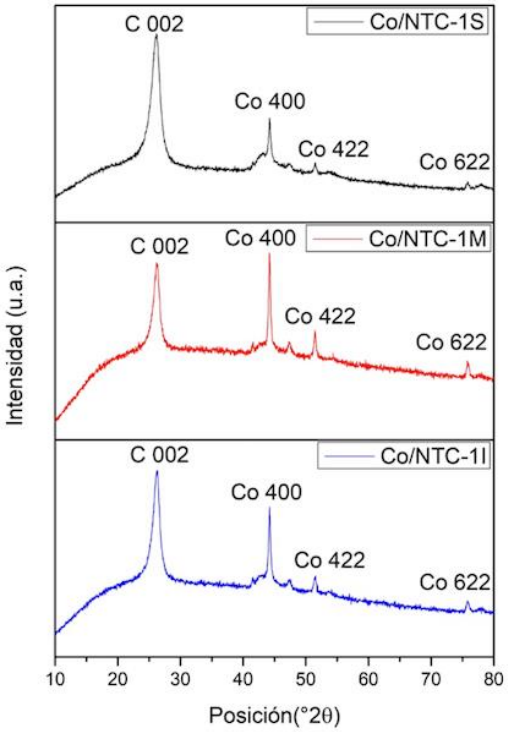


Figura 4. Difractograma de las muestras de Co/NTC a 700ºC.

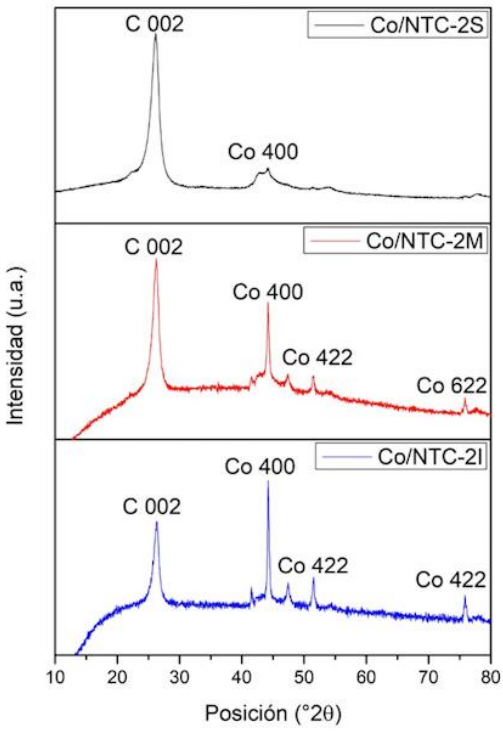


Figura 5. Difractograma de las muestras de Co/NTC a 750ºC.

Trabajo a futuro

El producto obtenido (NTC) será utilizado en diferentes proporciones (0.5, 1, 1.5 y 2% en peso) en la formulación de un Fluido de Perforación Base Agua y uno Base Aceite para conocer de que manera se modifican las propiedades físicas en especial las reológicas en cada uno de este tipo de fluidos.

Conclusiones

Se obtuvo el precursor catalítico de óxido de cobalto (Co_3O_4), el cual se corroboró su obtención por medio del análisis de DRX. Se realizaron dos síntesis de obtención de Co/NTC la primera a 700ºC y la segunda a 750ºC, en cada síntesis se observa como va disminuyendo la deposición de Cobalto conforme trascurre el proceso, ya que la parte inferior y media del portamuestra son las zonas donde más interacción hay del precursor catalítico con los NTC, lo que demuestra que la temperatura y el tiempo de síntesis influyen de manera considerable en el crecimiento de los NTC.

Agradecimientos

Agradecemos a la División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA-UJAT) por facilitar el acceso al laboratorio de materiales para la realización de la síntesis de los NTC, también al Centro de Investigación de la Corporación Mexicana de Investigación de Materiales (COMIMSA) por llevar a cabo los análisis DRX en el Laboratorio de Tecnologías de Unión.

 ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] «Manual Fluidos de Manual Fluidos de Perforación MI SWACO | PDF», *Scribd*. https://es.scribd.com/doc/232209866/Manual-Fluidos-de-Manual-Fluidos-de-Perforacion-MI-SWACO (accedido 6 de octubre de 2022).

[2] M. T. Al-saba, A. Al Fadhli, A. Marafi, A. Hussain, F. Bander, y M. F. Al Dushaishi, «Application of Nanoparticles in Improving Rheological Properties of Water Based Drilling Fluids», presentado en SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition, OnePetro, abr. 2018. doi: 10.2118/192239-MS.

[3] «API 13B1-ISO10414-1 Pruebas Base Agua.» API Publshing Services, septiembre de 1997. Accedido: 2 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://kupdf.net/download/api-13b1-pruebas-base-agua_59890da3dc0d60a63b300d1b_pdf

[4] «Manual de Fluidos de Perforación Pdvsa Cied - 003 | PDF | Viscosidad | Ph», *Scribd*. https://es.scribd.com/document/67896080/manual-de-fluidos-de-perforacion-pdvsa-cied-003 (accedido 6 de octubre de 2022).

[5] Z. Vryzas y V. C. Kelessidis, «Nano-Based Drilling Fluids: A Review», *Energies*, vol. 10, n.º 4, Art. n.º 4, abr. 2017, doi: 10.3390/en10040540.

[6] A. Rana, I. Khan, y T. A. Saleh, «Advances in Carbon Nanostructures and Nanocellulose as Additives for Efficient Drilling Fluids: Trends and Future Perspective—A Review», *Energy Fuels*, vol. 35, n.º 9, pp. 7319-7339, may 2021, doi: 10.1021/acs.energyfuels.0c04341.

[7] R. Rafati, S. R. Smith, A. Sharifi Haddad, R. Novara, y H. Hamidi, «Effect of nanoparticles on the modifications of drilling fluids properties: A review of recent advances», *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 161, pp. 61-76, feb. 2018, doi: 10.1016/j.petrol.2017.11.067.

[8] F. E. Gallardo, E. Erdmann, y R. Abalos, «Evaluación reológica de fluidos de perforación base agua con nanosílice», *Matéria (Rio J.)*, vol. 23, jul. 2018, doi: 10.1590/S1517-707620180002.0470.

[9] A. Varma, A. S. Mukasyan, A. S. Rogachev, y K. V. Manukyan, «Solution Combustion Synthesis of Nanoscale Materials», *Chem. Rev.*, vol. 116, n.º 23, pp. 14493-14586, dic. 2016, doi: 10.1021/acs.chemrev.6b00279.

[10] A. Soam, R. Kumar, P. Sahoo, y D. Thatoi, «Synthesis and Characterization of Cobalt Oxide (Co3O4) Nanoparticles», *Materials today: proceedings*, vol. 41, sep. 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.09.099.

[11] D. T. Dam y J.-M. Lee, «Three-Dimensional Cobalt Oxide Microstructures with Brush-like Morphology via Surfactant-Dependent Assembly», *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 6, n.º 23, pp. 20729-20737, dic. 2014, doi: 10.1021/am506660q.

[12] R. Guan, L. Jing, X. Zhang, S. Chen, N. Xue, y H. Yang, «Microspherical nitrogen-doped carbon nanotube assembly derived from Pickering droplets», *Carbon*, vol. 148, pp. 124-133, jul. 2019, doi: 10.1016/j.carbon.2019.03.045.

[13] J. Lin, Y. Yang, H. Zhang, F. Li, G. Huang, y C. Wu, «Preparation of CNT–Co@TiB2 by catalytic CVD: Effects of synthesis temperature and growth time», *Diamond and Related Materials*, vol. 106, p. 107830, jun. 2020, doi: 10.1016/j.diamond.2020.107830.

 ISSN: 2007 8102

Tamizaje fitoquímico y evaluación preliminar de bioactividad del cultivo *in vitro* de *Boletus loridellus*

Baleria María Hernández-Chávez[1], Alma Dolores Pérez-Santiago[1], Marco Antonio Sánchez-Medina[1], Ricardo Valenzuela-Garza[2] y María del Socorro Pina-Canseco.[3]
[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca. Av. Víctor Bravo Ahuja No. 125, Esq. Calz. Tecnológico. C.P. 68030. Oaxaca, Oaxaca, México. [2]Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Av. Luis Enrique Erro S/N, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Alcaldía Gustavo A. Madero, C.P. 07738, Ciudad de México, México. [3]Facultad de Medicina, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Ex Hacienda de Aguilera S/N, San Felipe del Agua, Oaxaca, Oaxaca, México.
aperez_santiago@hotmail.com

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

Los hongos que poseen basidiomas con himenóforo poroide, laminar, liso, venoso y dentado son identificados como *Boletales*. Muchos de estos hongos son comestibles, los cuales son muy apreciados, y otros tienen importancia ecológica ya que son fuente de alimento para mamíferos y muchos insectos. *Boletus luridellus* es una seta silvestre micorrícica, que aparece en la época de lluvias y no existen estudios relacionados a este hongo en el estado de Oaxaca. Los objetivos de este trabajo fueron obtener el cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus,* identificar en estas condiciones alcaloides, cumarinas, saponinas, flavonoides, glucósidos cardiotónicos, taninos y sesquiterpenlactonas a través de métodos colorimétricos, y determinar la actividad antifúngica de *Boletus luridellus* sobre *Penicillium sp*. En el cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus* se encontró la presencia de alcaloides, taninos, como la catequina y sesquiterpenlactonas. Fracciones del cultivo *in vitro* inhibieron el crecimiento de *Penicillium sp* con una zona de 5 mm.

***Palabras clave**: Boletus luridellus, cultivo in vitro, alcaloides, catequinas*

Abstract

Fungi that have basidiomata with poroid, lamellar, smooth, veined and toothed hymenophores are identified as *Boletales*. Many of these mushrooms are edible, which are highly appreciated, and others have ecological importance as they are a source of food for mammals and many insects. *Boletus luridellus* is a mycorrhizal wild mushroom, which appears in the rainy season and there are no studies related to this fungus in the state of Oaxaca. The objectives of this work were to obtain the in vitro culture of *Boletus luridellus*, to identify in these conditions' alkaloids, coumarins, saponins, flavonoids, cardiotonic glycosides, tannins and sesquiterpenlactones through colorimetric methods, and to determine the antifungal activity of *Boletus luridellus* on *Penicillium sp*. The in vitro culture of *Boletus luridellus* showed the presence of alkaloids, tannins, such as catechin and sesquiterpenlactones. Fractions of the in vitro culture inhibited the growth of *Penicillium sp* with a zone of 5 mm.

***Key words**: Boletus luridellus, in vitro culture, alkaloids, catechins*

Introducción

La importancia de los hongos silvestres como recursos forestales no maderables aún no ha sido reconocido a pesar de su alto impacto en la alimentación, medicina, uso recreativo y lúdico [1], ya que han sido utilizados desde épocas prehispánicas e incorporados en la dieta de diversos grupos étnicos [2]. Por la forma en que obtienen su alimento, los hongos se pueden dividir en: saprótrofos, biótrofos, necrótrofos y simbiontes mutualistas, como las micorrizas [3]. La asociación micorrízica envuelve tres medios de interacción, el hongo, la planta hospedera y las condiciones ambientales (Figura 1). Algunas especies de la familia Boletaceae forman micorrizas con diferentes especies de plantas especialmente con las familias Ericaceae, Fagaceae, Pinaceae, Dipterocarpaceae, Caryophyllaceae [4,5,6], mientras que otras son saprobias [4,5,6].

 ISSN: 2007 8102



Figura 1. Interacciones que envuelven las asociaciones micorrícicas [7].

El estudio de los macromicetos comestibles se ha incrementado a nivel mundial en las últimas décadas gracias al potencial de componentes bioacticos que contienen. Estos abarcan desde componentes estructurales con actividad antitumoral e inmunológicamente activos, hasta agentes antimicrobianos, antifúngicos, antivirales, citostáticos, reguladores del crecimiento y aromas [8]. En el estudio de la obtención y producción de nuevos fármacos los metabolitos sintetizados por los macromicetos resultan una interesante alternativa. En la Tabla 1 se presentan algunos de estos metabolitos secundarios, que van desde diterpenos, polisacáridos, sesquiterpenos, p-terfenilos, compuestos fenólicos, fenilacetoxilados, terpenoides, alcaloides, glucanos acetilenos, sales de diazonio, y compuestos nitrogenados, ácidos fenilglicosídicos sustituidos, quinonas, entre otros [9].

Tabla 1. Metabolitos encontrados en basidiomicetos.

Hongo	Clasificación	Compuesto	Bioáctividad
F. pinicola	Medicinal	Ácido pinicolico E Ácido 3α-acetyloxylanosta-8,24-dien-21-oico Extracto clorofórmico	Antibacterial contra *B. subtilis* [10]. Antifúngico contra *F. inflexum* y *F. heterosporium* [11].
L. laccata	Comestible	Ergosterol [12]	Anticoagulante y actividad inhibidora en el crecimiento de cáncer en ratas [13].
B. edulis	Comestible	Sesquiterpenlactonas y saponinas	Antimicrobiana [14].
L. perlatum	Comestible-medicinal	Cumarinas y saponinas	Cicatrizante [14].

Por otra parte, la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA, o más conocida como FAO) estima que las pérdidas totales de frutas y hortalizas producidas a nivel mundial alcanzan el 14 %, siendo la poscosecha una de las etapas de la cadena de suministro de alimentos que se ve afectada por enfermedades [15]. Parte de éstas pérdida se deben a la acción de patógenos fúngicos como los del género *Penicillium*, agentes causantes de pudrición en los alimentos, algunos más especializados como patógenos destructivos en la fruta, *Penicillium digitatum, P. expansum, P. italicum*. Estos hongos son productores de toxinas, como *Penicillium citrinum* que produce la toxina citrina la cual produce toxicidad moderada a los animales como cerdos, aves y ratones que consumen alimentos contaminados, presentandose cuadros de diarrea y degeneración renal. También se ha reportado el efecto de la citrinina en células T humanas [16]; a pesar de que se ha documentado que estos patógenos no son causantes de infecciones en humanos se han presentado dos casos clínicos de infecciones cervicofaciales provocadas por el género *Penicillium sp*., una en tejidos blandos y otra en hueso [17].

Por lo tanto, los objetivos de este trabajo fueron obtener el cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus,* la identificación de metabolitos como alcaloides, cumarinas, saponinas, flavonoides, glucósidos cardiotónicos, taninos y sesquiterpenlactonas empleando métodos colorimétricos, y explorar la actividad antifúngica del cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus* sobre *Penicillium sp*.

ISSN: 2007 8102

Metodología

Obtención de *Boletus luridellus*

La especie fúngica de *Boletus luridellus* se colectó durante la época de lluvias, en los meses de junio-agosto del 2021 en el Rancho Andodo ubicado en la Comunidad de San Mateo Sosola, perteneciente al Municipio de San Jerónimo Sosola, Oaxaca. Para eliminar residuos sólidos (tierra u hojarasca), los carpóforos se lavaron con agua destilada, después se guardaron en bolsas de papel y se congelaron a -20 ºC hasta su uso. La identificación de este organismo fue realizada con la ayuda del Dr. Ricardo Valenzuela Garza.

Cultivo *in vitro*

Se hicieron fracciones de 0.5 cm aproximadamente del píleo de *Boletus luridellus*, enseguida se lavaron con peróxido de hidrógeno al 2.5 y 3.5 % por 30 segundos, dos veces más con agua destilada y se dejaron en reposo en gasas estériles para retirar el exceso de agua. Una fracción de píleo de *Boletus luridellus* se inoculó en 30 mL de AEM (agar extracto de malta) y en un ambiente estéril a 25 ± 2 ºC se dejó incubando por 22 días. El ensayo se hizo por duplicado.

Identificación de metabolitos secundarios

A partir del cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus* se obtuvo 1.4 gramos de muestra, biomasa, de ésta se preparó un extracto etanólico; por cada gramo de cultivo se añadió 10 mL de etanol al 80% en matraces Erlemeyer de 50 mL, se dejó en agitación por 72 horas en oscuridad. El extracto obtenido se filtro con papel filtro de poro fino y se colectó en tubos cónicos de 15 mL para posteriormente hacer las identificación de las familias de metabolitos secundarios por colorimetría [18 y 19].

Actividad antifúngica

Para evaluar la propiedad bioactiva antifúngica del cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus*, se obtuvo una población de *Penicillium sp*. al dejar expuesta una caja Petri con AEM durante siete días, después la cepa se aisló por agotamiento en AEM; para la identificación se hicieron observaciones microscópicas y macroscópicas.

La actividad antifúngica se evaluó usando el cultivo *in vitro* de la fracción de *Boletus luridellus* a través de la técnica de difusión en agar. Primero se dividió en cuatro zonas (cuadrantes) a la placa de AEM, enseguida se inoculó por extensión una muestra de esporas *Penicillium sp* con un asa de platino de 4 mm de diámetro en toda la placa, una vez extendida la muestra, inmediatamente sembró una asada de cultivo *in vitro* de la fracción del píleo de *B. luridellus* en el centro (aproximadamente) de cada cuadrante, se dejó incubación por 7 días en un ambiente estéril a 25 ± 2 ºC y se midió el halo de inhibición con una regla graduada.

Resultados y discusión

Ubicación de San Mateo Sosola

En la Figura 2 se presenta la localización de la comunidad de San Mateo Sosola (marcador rojo), se localiza a 17°25'30" y 17°22'30" de latitud norte (N) y 97°05'30" y 97°07'55" de longitud oeste (W), pertenece al Municipio de San Jerónimo Sosola, Distrito de Etla, Estado de Oaxaca. En el lugar dónde se encontró el hongo *Boletus luridellus* hay encinos, huajes, jarillas, enebro y matorrales, cuya temporada de lluvias es en los meses de junio a septiembre.

Boletus luridellus

En la figura 3A, se muestra el basidiocarpo de *Boletus luridellus,* un hongo micorrícico [20], comestible de acuerdo a Bassette y *et. al.* [21], sin embargo, no existen evidencias de su comestiblidad en la región del estado de Oaxaca. Sus características morfológicas son: a) el himenio es color amarillo en forma de poros que al tacto se mancha; b) estípite de color amarillo, ligeramente rosado, más ancho y más reticulado que *Boletus luridellus* (Murr.) (figura 3B); c) píleo convexo, ligeramente decurrente con estríado color café bajo; d) al corte presenta coloracíon azul turqueza.

 ISSN: 2007 8102

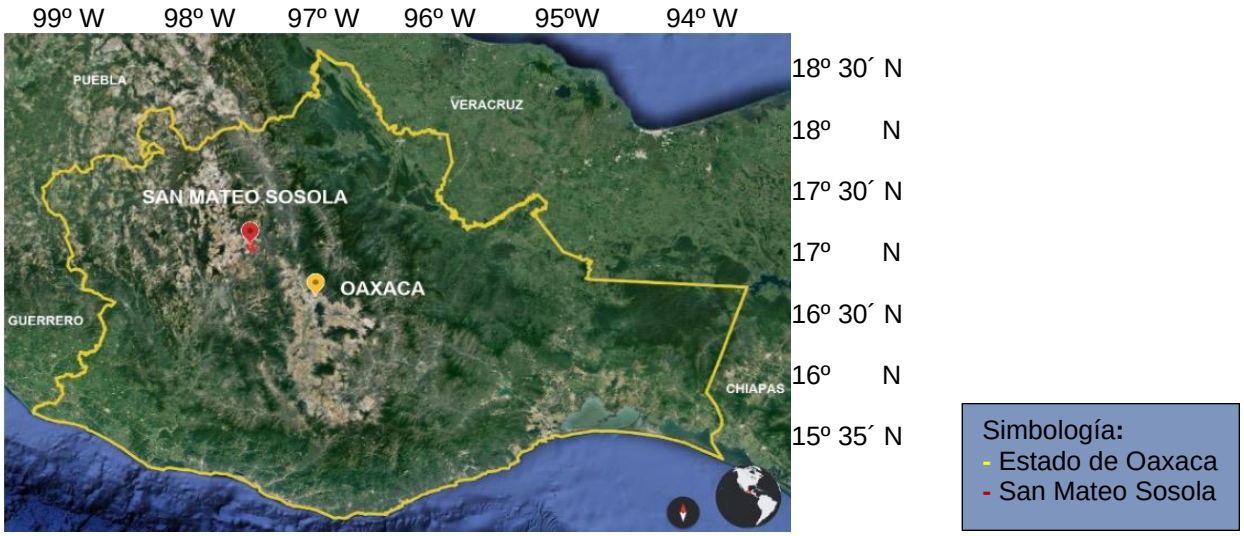


Figura 2. Localización de San Mateo Sosola con ayuda de Google Earth [22].



Figura 3A. *Boletus luridellus*: a) himenio, b) estípite, c) píleo, d) mancha al tacto y e) mancha al corte. Fuente: autora, 2021.



Figura 3B. *Boletus luridellus* (Murr.) [23].

Caracterización del cultivo *in vitro de Boletus luridellus*

En la Tabla 2, se describen los caracteres morfológicos del cultivo *in vitro* de la fracción píleo de *Boletus luridellus* en AEM (figura 4), estas difieren con respecto al tamaño, forma, color, entre otros rasgos de la cepa de *Boletus luridellus* (Murr.) en medio de Melin Norkrans (figura 5) [23].

Identificación de metabolitos secundarios

En la Tabla 3, se presentan los metabolitos identificados en *Boletus luridellus* creciendo sobre AEM: alcaloides, se observó precipitado café-naranja; taninos, se identificó la presencia de catequinas por la coloración verdosa; sesquiterpenlactonas, se formó una coloración levemente rosa; no se encontró presencia de flavonoides, saponinas, cumarinas, quinonas y glucósidos cardiotónicos. Otros reportes de reacciones colorimétricas sobre extractos del carpóforo de *Pleurotus ostreatus*, han identificado metabolitos secundarios como alcaloides,

 ISSN: 2007 8102

azúcares reductores, flavonoides, quinonas, saponinas, cumarinas y glucósidos cardiacos [24]. En *Trametes versicolor* se han reportado 12 metabolitos en total, entre ellos: 7,22-ergostadien-3β-ol, ergosterol, ácido trametenólico B, ácido pinicólico A y peróxido de ergosterol, usando sucesivas columnas cromatográficas de gel de sílice 60 [25].

Tabla 2. Caracterización del cultivo *in vitro* de *Boletus luridellus*.

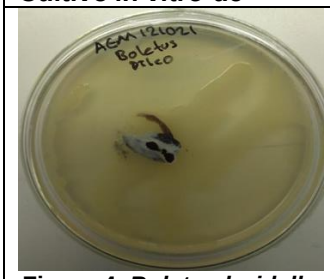
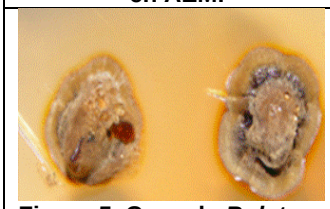
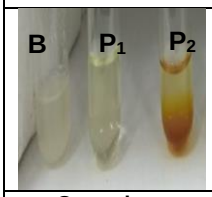
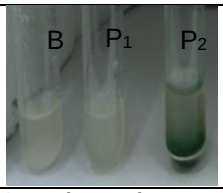
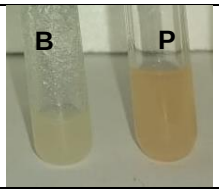
Cultivo *in vitro* de	Tamaño	Forma	Elevación	Superficie	Margen
 **Figura 4. *Boletus luridellus* en AEM.**	4cm al tercer día de crecimiento	Elipsoide No tiene micelio	Plana	Lisa	Liso
	Colonia	**Luz transmitida**	**Color**	**Aspecto**	**Consistencia**
	Laxa y suave	Opaco	Ocre suave	Húmedo	Suave
 **Figura 5. Cepa de *Boletus luridellus* (Murr.) Reportada en [23].**	**Tamaño**	**Forma**	**Elevación**	**Superficie**	**Margen**
	3.9 cm por mes	Semicircular Forma micelio	Crateriforme	Rugosa	Rizoide
	Colonia	**Luz transmitida**	**Color**	**Aspecto**	**Consistencia**
	Laxa y suave	opaco	Café	Húmedo	Rasposo

Tabla 3. Identificación de metabolitos secundarios en el extracto del cultivo de *Boletus luridellus* sobre AEM

Alcaloides	Flavonoides	Saponinas	Taninos
	NI	NI	
Cumarinas	**Quinonas**	**Glucósidos cardiotónicos**	**Sesquiterpenlactonas**
NI	NI	NI	

B = blanco
P1 = prueba 1
P2 = prueba 2
(NI) No identificado.
Ausencia del metabolito secundario en el ensayo colorimétrico.

Ensayo preliminar de la actividad antifúngica

En la figura 6.1 se presenta una placa de 10 días de crecimiento, en la que se observa que la capacidad bioactiva antifúngica del cultivo de *Boletus loridellus* persiste con un halo de inhibición sobre *Penicillium sp*, este con una coloración verde oscuro que empieza a esporular. En la figura 6.2, se observan las estructuras de *Penicillium:* conidióforo, métula, fiálides y conidios. En la figura 6.3, se observa una zona de inhibición de 5 mm en promedio de los cuatro cuadrantes, una baja respuesta (zona de inhibición ≤ 10 mm) [26]. Al respecto, un estudio conl extracto etanólico de *Pleurotus spp*, reporta que este presenta actividad antifúngica sobre *M. canis* y *M. nanum* con 84.42% y 70.19%, de inhibición respectivamente [27]. Por otra parte, también se han reportado resultados significativos de la actividad antifúngica de *G. australe* sobre *Trichoderma sp* y *Diplodia seriata* [28].

 ISSN: 2007 8102

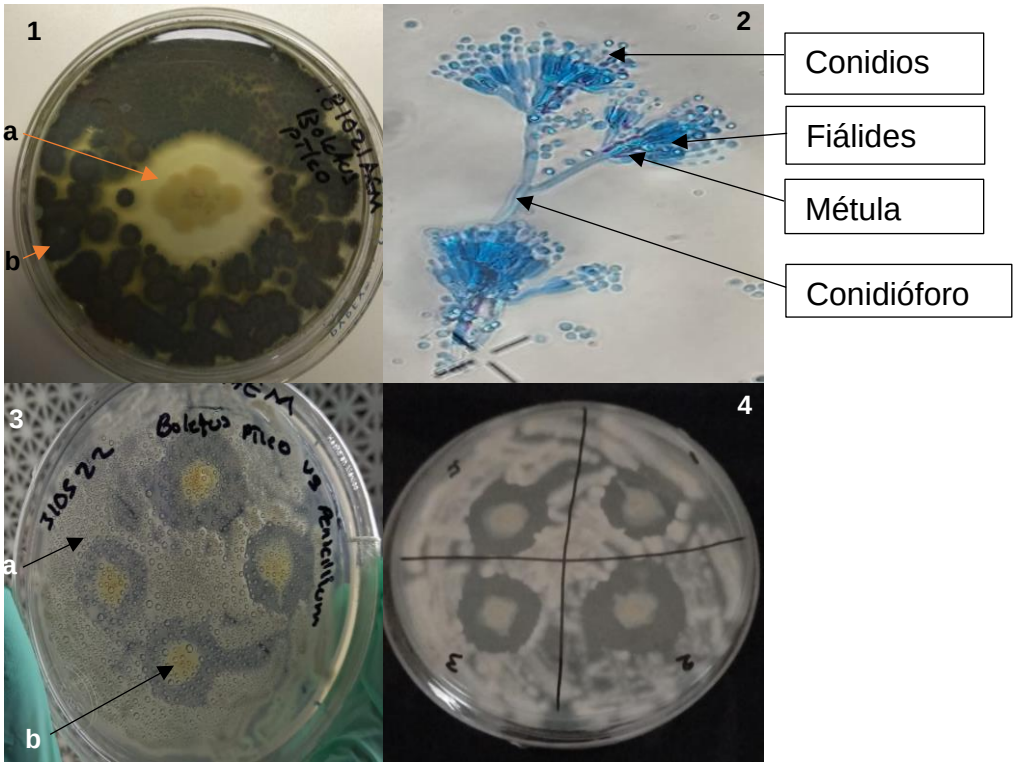


Figura 6. Actividad antifúngica de *Boletus loridellus* en AEM. 1) Ensayo preliminar: a) Cultivo *in vitro* de fracción píleo, b) *Penicillium sp*. 2) Estructura de *Penicillium sp* a 40x. 3) Ensayo de actividad antifúngica. a) *Penicillium sp;* b) *Boletus loridellus*. 4) Reverso de la placa.

Trabajo a futuro

Se pretende concluir la identificación de metabolitos secundarios con extractos de los basidiomas de *B. loridellus* y ampliar el ensayo de la actividad antifúngica, probando con otros microorganimos filamentosos, determinar actividad antibacteriana.

Conclusiones

El cultivo *in vitro* de la fracción píleo de *Boletus loridellus* en AEM, tiene la capacidad de producir tres metabolitos secundarios: alcaloides, catequinas y sesquiterpenlactonas; estos metabolitos pueden poseer propiedades medicinales. Con respecto a la actividad antifúngica, se presentó un pequeño halo de inhibición de 5 mm frente a *Penicillium sp*, sin embargo, la zona de inhibición puede persistir por más de 10 días. Los compuestos encontrados en el cultivo de *Boletus loridellus* pueden estar asociados con la capacidad bioáctiva antifúngica sobre el hongo *Penicillium sp*.

Referencias

[1] A. López, M. Jiménez y J. Pérez.“Vocablos relacionados con el recurso micológico en el idioma de la cultura chinanteca de la Sierra Norte del estado de Oaxaca, México”. Scientia Fungorum, 46, 9-18. 2017.
[2] G. Guzmán. “Hallucinogenic mushrooms in Mexico: an overview”. Econ. Bot. 62:404-412. 2008.
[3] Palomas Cubas. “Hongos”. https://www.aulados.net/Botanica/Curso_Botanica/Hongos/31_hongos_general_texto.pdf. Fecha de consulta: 04/08/2023. 2023.
[4] Arora, D. “California porcini: three new taxa, observations on their harvest, and the tragedy of no commons”. Economic Botany 62: 356-375. 2008.
[5] L. Tedersoo, T. W. May and M. E. Smith. “Ectomycorrhizal lifestyle in fungi: global diversity, distribution, and evolution of phylogenetic lineages”. Mycorrhiza 20:217-263. 2010.

[6] J. Álvarez, R. Garibay and M. Smith. “Caryophyllales are the main hosts of a unique set of ectomycorrhizal fungi in a Neotropical dry forest”. Mycorrhiza 28(2): 103-115. https://doi.org/10.1007/s00572-017-0807-7. 2017.
[7] J. Franco. Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas. https://www.ciaorganico.net/documypublic/200_infoagronomo.net_Micorrizas-beneficios.pdf
[8] G. Valencia del Toro y M. Garín. “Propiedades medicinales de los hongos comestibles”. Inecol: Primera edición. pág. 297. 2012.
[9] M. A. Brizuela; L. García; L. Pérez, y L. Mansuret. Basidiomicetos: nueva fuente de metabolitos secundarios. Rev. Iberoam. Micol. 15. 69–74. 1998.
[10] A.Keller; M. Maillard, y K. Hostettman, “Antimicrobial steroids from the fungus *Fomitopsis pinicola*. Phytochemistry”. 41(4). 1041–1046. 1996.
[11] P. Guler; I. Akata, y F. Kutluer, “Antifungal activities of *Fomitopsis pinicola* (Sw.:Fr) Karst and *Lactarius vellereus* (Pers.) Fr.” African Journal of Biotechnology. 8(16). 3811–3813. 2009.
[12]. E. Cucaita. “Estudio químico comparativo de metabolitos secundarios de los hongos comestibles *Laccaria laccata* y *Lentinula edodes* y determinación de su variación respecto al estadio del hongo”. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Química. Sede Bogota. 2007.
[13] D. Da Graca Sgarbi. y et al. “Isolation of ergosterol peroxide and its reversion to ergosterol in the pathogenic fungus Sporothrix schenckii “: Mycopatología, 139 (1), pags. 9-14. 1997.
[14] Okuda T. Yoshioka y et. al. “Anticomplementary activity of antitumor polysaccharides”. Nature, 238 (80), pags. 59-60. 1972.
[15] FAO. “El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos ”. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Pag. 15. 2019.
[16] J.I. Pitt y A.D. Hocking. *Penicillium* and Related Genera. In: Fungi and Food Spoilage. 3rd ed. New York: Springer. pp. 169-263. 2009.
[17] M. Carrillo, E. Ferraez, A. Ocha, V. Sanchéz, L. Estrada y A. Gómez. ”Peniciliosis cervicofacial. Reporte de dos casos y revisión de literatura”. Revista, Dentista y paciente. No. 116. 2018.
[18] L. Suhul y A. Carlos. Determinación de metabolitos secundarios presentes en el hongo *Schizophyllum commune* (oreja de palo) cultivados en laboratorio, provenientes de cepas aisladas en 5 localidades de Guatemala. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Quimicas y Farmacia. USAC; 2011.
[19] J. Gabriel; A. Arango. “Alcaloides y compuestos nitrogenados”. Tesis de licenciatura. Facultad de Química Farmacéutica; Medellín. 2008.
[20] J. García, J. Marmolejo, R. Valenzuela, T. Raymundo, R. Díaz - Moreno, F. Garza Ocañas y F. San Martín. “Hongos. En: La biodiversidad en Coahuila ”. Estudio de Estado, vol. II. CONABIO/Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, México, pp.143-153. 2018.
[21] A. E., Bassette, W. C. Roody and A. R. Bassette. “*Boletes* of Eastern North America “. 1st edition. Syracuse University Press. Syracuse, NY USA. p. 471 .2016.
[22] https://earth.google.com/web/@17.06469558,-96.14277182,2176.81679367a,605408.2820195d,34.99999997y,0h,0t,0r
[23] F. Garza, J. García, M. Quiñonez, G. Guevara, R.Valenzuela, A. Carrillo, Laura. Sánchez, H. Villalón y M. García. “*Boletus luridellus* (Murr.) Murrill y *Quercus fusiformis* Small: cultivo, síntesis de micorrizas y producción de esporomas en invernadero”. Rev. Mexicana de Cencias Forestales: ISSN 2007-1132. vol.9 no.50 México nov./dic. 2018.
[24] J. Carrillo, R. Méndez, P. Miranda, R. Gutiérrez y C. Reyes. “Análisis micoquímico y potencial terapéutico de pleurotus ostreatus”. Rev. Desarrollo científico en México, ISBN: 978-607-95228-9-6. 2019.
[25] V. Leliebre y C. Nogueiras. “Composición química del hongo basidiomiceto cubano, *Trametes versicolor*”. Acta Botánica Cubana, Vol. 218, No. 1, pp. 11-20. 2019.
[26] M. Mora. “Determinación estructural de los metabolitos secundarios triterpenoidales en búsqueda de antimicrobianos de un hongo silvestre *Aphyllophoral* colombiano”. Magister en Ciencias – Química. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Bogotá D.C., Colombia. 2010
[27] A. Simón y A. Escobar. “Efectos inmunomoduladores y antimicrobianos de basidiomicetos comestibles y cultivados del género *Pleurotus spp”*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 2018.
[28] G. Leal. “Metabolitos secundarios biológicamente activos de Ganoderma australe en la inhibición del crecimiento de hongos de interés”. Tesis, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la Universidad de Concepción. 2022.

ISSN: 2007 8102

Comportamiento reológico de almidones procedentes de papa extranjera (*O. tuberosa*), plátano manzano (*M. rubra*) y papa (*S. tuberosum*)

Oropeza-De la Rosa, E.[1], Arguello-Chacón, Y.D.[1], Flores-Andrade, E.[1], Martínez-Carmona, C.A.[1], Castillo-Morales, M.[1]*
[1]Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Oriente 6 No. 1009, Rafael Alvarado, 94340 Orizaba, Ver.

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

El comportamiento reológico de almidón extraído de diversas fuentes fue evaluado mediante un diseño experimental compuesto con centros en las caras. Las variables utilizadas fueron la temperatura, tipo de almidón y porcentaje de dilución de almidón. El almidón que presentó mayor viscosidad fue el de papa *(S. tuberosum*) (16.07 mPa.s) seguido del almidón de papa extranjera (9.59 mPa.s). De acuerdo al ANOVA, los resultados de los factores B y C son significativos (0.011 ≤ 0.10) y (0.014 ≤ 0.10) respectivamente. Se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.9013, el cual indica que un 90.13% de la variación en la viscosidad es expresada por el modelo obtenido.

***Palabras clave**: Almidón, reología, viscosidad.*

Abstract

The rheological behavior of starch extracted from various sources was evaluated by means of a composite experimental design with centers on the faces. The variables used were temperature, type of starch and percentage of starch dilution. The starch that presented the highest viscosity was potato (S. tuberosum), (16.07 mPa.s) followed by oca potato starch (9.59 mPa.s). According to ANOVA factors B and C are significant (0.011 ≤ 0.10) and (0.014 ≤ 0.10) respectively. A determination coefficient of 0.9013 was obtained, which indicates that 90.13% of viscosity variation is expressed by the model obtained.

***Key words**: Starch, rheology, viscosity.*

Introducción

El almidón es un carbohidrato presente en cereales, legumbres, semillas y frutas, se constituye principalmente de dos estructuras químicamente conocidas como amilosa, la cual es un polímero lineal con enlaces glucosídicos (α-1,4) y amilopectina, la cual presenta ramificaciones con enlaces glucosídicos (α-1,4) y (α -1,6). [1]

En la industria alimentaria, el almidón presenta un aumento en su demanda debido a su practicidad en diversas aplicaciones en alimentos procesados, de los cuales se destacan cereales para el desayuno, galletas, pasteles y fideos. Por otro lado, el almidón mezclado con otros compuestos se utiliza como aditivo en alimentos debido a su capacidad de formación de geles, por tanto, se utilizan como espesantes, gelificante o relleno. La apariencia y forma de los alimentos depende de la viscosidad, retrogradación y pegajosidad del almidón. [2]

La reología es una rama de la física que estudia las propiedades de fluidez de la materia y su deformación al someterla a una fuerza de tensión, la cual nos permite caracterizar desde gases hasta sólidos. En la industria alimentaria se utilizan los viscosímetros o reómetros como elemento especial para aseguramiento de calidad del alimento, por tanto, la reología en fabricación de alimentos es de suma importancia; con ella se llega a comprender la manera del movimiento y su comportamiento en el procesamiento. [3]

 ISSN: 2007 8102

Los fluidos son considerados como sustancias que no presentan una forma propia determinada, se clasifican dependiendo del comportamiento que tengan al someterlos a una fuerza determinada; los fluidos newtonianos mantienen una viscosidad constante sin que varie al aumentar la fuerza aplicada, por otro lado los fluidos no newtonianos no mantienen una viscosidad única dado que dependen de la fuerza aplicada, es decir, no tienen una linealidad. [4]

Los recubrimientos comestibles son una capa delgada formada sobre la superficie de frutas cubriéndolas como una envoltura protectora, por lo que llegan a mejorar las propiedades sensoriales en el alimento y alargan su vida en anaquel, por otro lado, ayudan a disminuir el uso de material sintético contaminante ya que las biopelículas son biodegradables y comestibles. El uso de almidón para realizar recubrimientos comestibles es de interés debido a su biodegradabilidad. [5]

Metodología

Materiales

Almidón de 3 fuentes diferentes, papa extranjera (*Oxalis tuberosa*), plátano manzano (*Musa rubra*) y almidón de papa grado reactivo (*Solanum tuberosum*), agua destilada, agitador, termómetro, vaso precipitado de 250 mL, tubo de ensaye de vidrio, pipeta graduada de 10 mL, placa de cocción magnética ANPOOZ y equipo NDJ-8S Digital Rotary Viscosimeter.

Preparación

Se pesaron las cantidades de almidón correspondientes para realizar diluciones de 1%, 5% y 10% para 25 mL de solución [6]. Las soluciones se mantuvieron en agitación durante 15-20 minutos con el fin de evitar sedimentaciones, esto se realizó a las temperaturas correspondientes. Las temperaturas utilizadas fueron de 15°C, 20°C y 25°C, ya que posteriormente se espera utilizar estas condiciones en la elaboración de biopelículas comestibles.

Desarrollo

Se realizó un diseño de experimentos central compuesto con centros en las caras en el que se realizaron 15 tratamientos, siendo un diseño experimental factorial 3^3, se tomaron como variables la temperatura (15, 20 y 25 ^oC), el porcentaje de dilución (1,5 y 10 %) y el tipo de almidón (papa extranjera, plátano manzano y papa). Para analizar los tratamientos se utilizó el software MINITAB 2019, los diferentes tratamientos llevados a cabo se muestran en la siguiente tabla (Tabla 1).

Tabla 1. Variables naturales y codificadas

Tratamiento	Variables codificadas			Variables naturales		
9	0	1	0	20°C	5%	Papa extranjera
5	-1	-1	1	15°C	1%	Papa
3	-1	1	-1	15°C	5%	Plátano manzano
14	0	0	1	20°C	5%	Papa
8	1	1	1	25°C	10%	Papa
12	0	0	-1	20°C	5%	Plátano manzano
10	-1	0	0	15°C	5%	Papa extranjera
15	0	0	0	20°C	5%	Papa extranjera
1	-1	-1	-1	15°C	1%	Plátano manzano
7	-1	1	1	15°C	10%	Papa
4	1	1	-1	25°C	10%	Plátano manzano
2	1	-1	1	25°C	1%	Plátano manzano
11	1	0	0	15°C	5%	Papa extranjera
6	1	-1	1	25°	1%	Papa
13	0	-1	0	20°C	1%	Papa extranjera

 ISSN: 2007 8102

La viscosidad se midió con el equipo DNJ-8S Digital Rotary Viscosimeter utilizando la ajuga cilíndrica número 4 y el rotor número 0, en velocidades 6, 12, 30 y 60 rpm.

Resultados y discusión

En la Tabla 2 se observan los resultados obtenidos de cada uno de los tratamientos. En la Figura 1 se observa la apariencia de algunas soluciones de almidón (tratamiento 7 y 4) llevados a cabo.

Tabla 2. Viscosidades en cada uno de los tratamientos

Número	Variables codificadas			Variables naturales			Velocidad (rpm) mPa. s			
							6 rpm	12 rpm	30 rpm	60 rpm
9	0	1	0	20°C	5%	Papa e.	13.58	9.90	4.55	3.05
5	-1	-1	1	15°C	1%	Papa	0.45	0.12	0.04	0
3	-1	1	-1	15°C	5%	Plátano m.	0.89	0.46	0.15	0.08
14	0	0	1	20°C	5%	Papa	10.69	7.71	3.83	2.63
8	1	1	1	25°C	10%	Papa	50.78	40.64	16.03	8.16
12	0	0	-1	20°C	5%	Plátano m.	1.34	0.58	0.45	0.31
10	-1	0	0	15°C	5%	Papa e.	27.61	18.42	9.59	5.74
15	0	0	0	20°C	5%	Papa e.	7.13	5.76	2.96	2.16
1	-1	-1	-1	15°C	1%	Plátano m.	0.67	0.23	0.15	0.06
7	-1	1	1	15°C	10%	Papa	95.32	49.62	16.07	8.16
4	1	1	-1	25°C	10%	Plátano m.	1.78	1.38	0.72	0.53
2	1	-1	1	25°C	1%	Plátano m.	0.67	0.46	0.19	0.10
11	1	0	0	15°C	5%	Papa e.	2.90	1.96	0.99	0.52
6	1	-1	1	25°	1%	Papa	0.45	0.35	0.15	0.11
13	0	-1	0	20°C	1%	Papa e.	0.22	0.12	0.08	0.04

a) b)

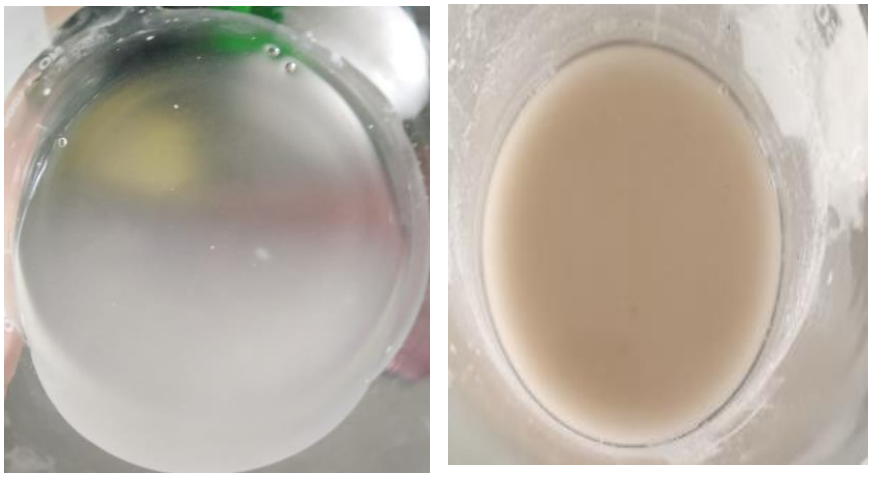


Figura 1. a) Tratamiento 7 almidón de papa. b) Tratamiento 4 almidón de plátano manzano.

 ISSN: 2007 8102

La Figura 2 muestra las curvas de flujo de las diferentes soluciones de almidón de plátano manzano. Ninguna de las curvas de fluido es lineal entre velocidad de corte y viscosidad aparente, por lo que presentan un comportamiento no newtoniano pseudoplástico (n<1), indicando que varía dependiendo las condiciones de temperatura y velocidad de cizalla. De acuerdo a los resultados obtenidos el almidón de plátano manzano al 10% con una temperatura de 25°C es el tratamiento que muestra mayor viscosidad entre ellos, debido a una mayor concentración y temperatura.

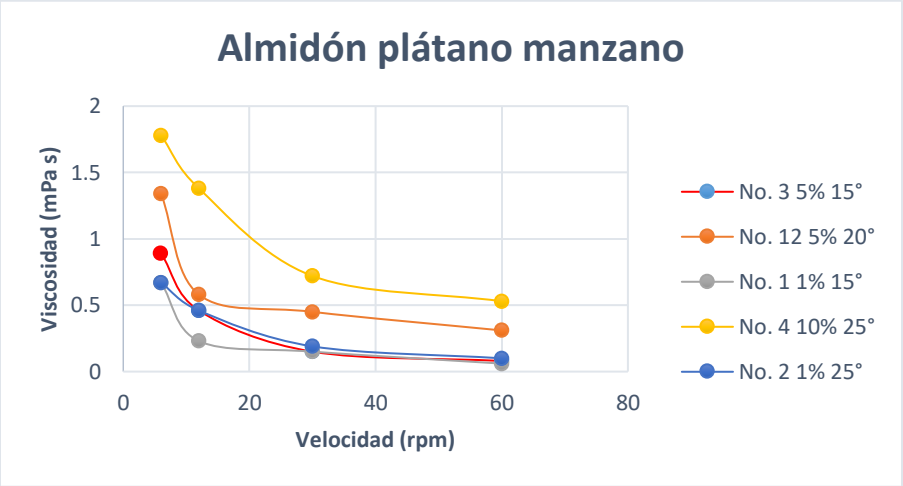


Figura 2. Comportamiento de almidón de plátano manzano de acuerdo a sus diferentes tratamientos.

Las curvas de almidón de papa presentan viscosidad aparente superior a las de almidón de plátano manzano, esto se debe a que puede absorben más agua y conforme aumenta la temperatura el agua se calienta y se hidratan los gránulos hasta que se hinchan y rompen formando con el agua un líquido viscoso, de acuerdo a la Tabla 2 y Figura 3 se observa que el tratamiento con mayor viscosidad fue el número 7 en el cual se obtuvo una concentración mayor. Sin embargo, sigue con la misma tendencia de comportamiento no newtoniano.

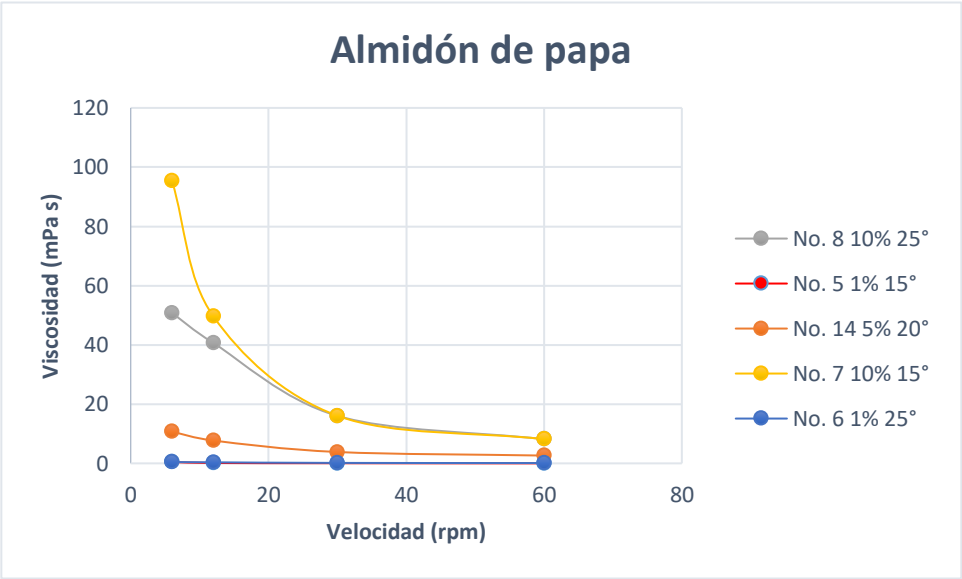


Figura 3. Comportamiento del almidón de papa de acuerdo a sus diferentes tratamientos.

 ISSN: 2007 8102

Se observa que la viscosidad disminuye cuando la velocidad aumenta, al parecer los tratamientos de la papa extranjera la mayoría son en concentraciones de 5% dando resultados diferentes debido a las temperaturas, se observa que en el tratamiento 10 y 11 son de similitud en las variables pero con viscosidades diferentes y no cercanas, sus diferencias se pueden deber a diversos factores entre ellas el tiempo de agitación, cantidad de almidón pesado, condiciones de temperaturas, entre otros, sin embargo, presentan características pseudoplásticas y tendencia de comportamiento no newtoniano.

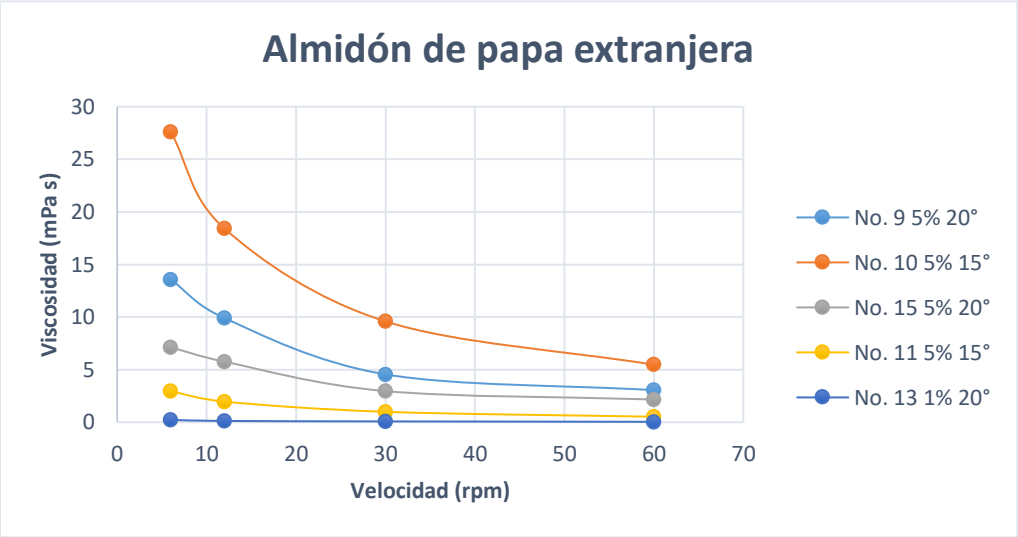


Figura 4. Comportamiento de almidón de papa extranjera y sus diferentes tratamientos.

El almidón con mayor viscosidad es el de papa (*S. tuberosum*), seguido del almidón de papa extranjera (*O. tuberosa*) y finalmente el almidón extraído del plátano manzano (*M. rubra*), las soluciones preparadas de los tres tipos de almidón presentan comportamiento pseudoplástico. Lo anterior puede ser atribuido al mecanismo de rompimiento de la estructura de almidón mediante la cizalladura. La viscosidad disminuye ya que los puentes de hidrógeno en estructura amilosa-amilopectina-agua se rompen mediante la cizalladura. [7]

Análisis estadístico ANOVA

Una vez obtenidas las viscosidades de los diferentes tratamientos de manera aleatoria, se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA). Para llevar a cabo el análisis estadístico se tomó en cuenta la velocidad de 30 rpm.

La viscosidad de un líquido está en función de las fuerzas intermoleculares que restringen el movimiento molecular. Estas fuerzas dependen del espaciamiento intermolecular, el cual determina el volumen libre y se ven afectadas por los cambios de temperatura. A temperaturas más altas la energía térmica de la molécula incrementa con el aumento de las distancias intermoleculares, causando la reducción de las fuerzas intermoleculares y consecuentemente la viscosidad disminuye. Los tratamientos que presentan mayor viscosidad son 7, 8, 9 y 10, las cuales muestran concentraciones de 10% y 5% respectivamente, sin embargo, la temperatura varía en estos tratamientos. Los datos fueron analizados en el software de MINITAB 2019 obteniéndose un modelo adecuado sobre la viscosidad aparente presentada.

 ISSN: 2007 8102

En la Tabla 3 se muestra el análisis de varianza (ANOVA) cuadrático completo.

Tabla 3. Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Modelo	9	400.571	44.508	5.07	0.044
Lineal	3	261.257	87.086	9.93	0.015
A	1	6.2.273	6.273	0.72	0.436
B	1	136.235	136.235	15.53	0.011
C	1	118.749	118.749	13.54	0.014
Cuadrado	3	16.172	5.391	0.61	0.635
A*A	1	15.957	15.957	1.82	0.235
B*B	1	0.602	0.602	0.07	0.804
C*C	1	1.116	1.116	0.13	0.736
Interacción de 2 factores	3	123.143	41.048	4.68	0.065
A*B	1	0.018	0.018	0.00	0.966
A*C	1	0.036	0.036	0.00	0.951
B*C	1	123.088	123.088	14.03	0.013
Error	5	43.855	8.771		
Total	14	444.426			

De acuerdo al análisis de varianza (ANOVA) se obtuvo que el factor A (temperatura) no es estadísticamente significativo ($p \geq 0.10$), por el contrario, los factores B (porcentaje almidón) y C (tipo de almidón), son resultados significativos ($0.011 \leq 0.10$) y ($0.014 \leq 0.10$) respectivamente. Así también se mostró significativa la interacción entre los factores B y C ($0.013 \leq 0.10$) sobre la viscosidad de las soluciones de almidón.

Mediante el ANOVA se observó que los factores B (porcentaje de almidón) y C (tipo de almidón) así como la interacción de ambos factores (B*C) tienen un efecto en la viscosidad de las soluciones de almidón presentadas. Con respecto al valor F_0, el valor B presenta el valor más alto (F_0= 15.53), entendiéndose como el mayor efecto significativo en la variable de respuesta, lo que indica que el porcentaje de almidón tiene el efecto mayoritario.

Modelo que representa los efectos sobre las variables de respuesta es el siguiente:

$$y = 2.83 - 0.792\,A + 3.691\,B + 3.446\,C + 2.49\,A*A - 0.48\,B*B - 0.66\,C*C + 0.05\,A*B - 0.07\,A*C + 3.92\,B*C$$

Se tiene que *y* es la viscosidad aparente (Pa.s), factor A es temperatura (°C), B porcentaje de almidón (%) y factor C tipo de almidón. El modelo obtenido constituye el valor de las variables independientes (A, B, C) con relación a la variable dependiente, la cual es la viscosidad, obteniendo así un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9013, el cual indica que un 90.13% de la variación de la viscosidad es expresada por el modelo obtenido. Para fines de optimización la R^2 deberá estar con valor mínimo por arriba de 70%. [8]

Trabajo a futuro

Mediante el estudio del comportamiento reológico se encontró que el almidón proveniente de papa extranjera y plátano manzano tienen potencial para la elaboración de recubrimientos comestibles o biopelículas. Se busca la elaboración de una biopelícula a partir de las soluciones de almidón, por lo cual el conocimiento de su comportamiento reológico y viscosidad es de suma importancia ya que determinan la estabilidad de los recubrimientos. El espesor depende de diferentes factores, entre ellos se destaca la viscosidad, una mayor viscosidad permite formar una capa gruesa y generar un recubrimiento que otorgará mejoramientos en los alimentos, extender su vida útil o actuar como un agente antimicrobiano.

Conclusiones

Se concluye que la viscosidad de los almidones estudiados en el presente trabajo depende del porcentaje utilizado para realizar las soluciones, así como el tipo de almidón utilizado. El almidón obtenido de la papa extranjera (*O. tuberosa*) y del plátano manzano (*M. rubra*) podrían ser considerados para la realización de recubrimientos comestibles, ya que además de ser almidones nativos extraídos de fuentes naturales, presentan viscosidades aceptables para la elaboración de biopelículas.

Agradecimientos

A la Universidad Veracruzana, por haberme permitido formar parte de ella durante mis estudios. A los docentes por compartir sus conocimientos, aprecio cada uno de sus consejos, gracias por su paciencia, por sus aportes profesionales, amabilidad y paciencia para la realización del trabajo.
Agradezco a mi familia, quienes estuvieron a mi lado siempre apoyándome incondicionalmente.

Referencias

[1] M. G. León y A. M. Monroy, «Modificación química de los almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética,» *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica ,* 2020.

[2] N. Syuhada et al, «Application of Starch and Starch-Based Products in food industry,» *Journal of Sciencie and Technology,* pp. 144-174, 2018.

[3] M. Solís, «Determinación de la viscosidad de un almidón modificado comercial a diferentes concentraciones utilizando el viscosímetro de Brookfield modelos DV-II,» *Guacamaya ,* 2019.

[4] W. Balderas, «El papel de la reología en la carcterización de fluidos: Análisis reológico de dispersiones de almidón de distintas fuentes,» *Centro de investigación y ciencia aplicada y tecnologia avanzada del instituto autónomo de México,* 2020.

[5] R. García et al, «Almidón modificado: Propiedades propiedades y usos como recubrimiento comestible para la conservación de frutas y hortalizas frescas,» *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha,* 2018.

[6] Z. Criollo et al, «Evaluación de biopelículas formuladas a partir de almidón de banano verde (Musa paradisiaca) y yuca (Manihot esculenta) con gel de sábila (Aloe vera).,» *Universidad Nacional de Piura,* 2019.

[7] B. F. Velásquez y C. Velezmoro, «Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos,» *Scientia Agropecuaria,* pp. 189-197, 2018.

[8] Á. Sánchez et al, «Aplicación de metodología de superficie de respuesta para la degradación de naranja de metilo con TiO2SOL-GEL sulfatado,» *Revista Int. Contam. Ambie.,* pp. 99-106, 2015.

 ISSN: 2007 8102

Implementación del tratamiento de residuos de frutas y hortalizas en una planta de tratamiento de aguas residuales

Ivonne Abigail Rivera Bueno, Ana María Borjas Rubio, Sergio Esteban Vigueras Carmona, Carmen Kikey Chang Solís Gabriela Zafra Jiménez
Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec
svigueras@tese.edu.mx

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

Esta investigación evalúa la conveniencia de transformar una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en un sistema de tratamiento conjunto de residuos de frutas y hortalizas (RFH) y agua residual municipal (ARM). Primeramente, se realizó un diagnóstico de la PTAR-TESE, en términos de instalaciones, configuración, y parámetros de operación. Después, se propusieron las adecuaciones a la operación e infraestructura de la PTAR-TESE para incluir una etapa de tratamiento de RFH, las propuestas se basaron en los resultados de la operación de un sistema anaerobio-aerobio nivel laboratorio que trata conjuntamente RFH y ARM; estableciendo que el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) de la PTAR-TESE debe operar a cargas de 3 g DQO·L^{-1}·d^{-1} con un TRH de 12 h. Con base a esto y a las dimensiones del RAFA de la PTAR-TESE se estableció que las adecuaciones propuestas permitirán se puedan tratar conjuntamente 1.33 t de RFH·d^{-1} y 3 L·s^{-1} de ARM.

***Palabras clave**: Residuos de frutas y hortalizas, Agua residual municipal, Reactor anaerobio de flujo ascendente, Lixiviación.*

Abstract

This research evaluates the convenience of transforming a wastewater treatment plant (WWTP) into a joint treatment system for fruit and vegetable waste (FVW) and domestic sewage (DS). First, a diagnosis of the WWTP-TESE was made, in terms of facilities, configuration, and operating parameters. Later, the adjustments to the operation and infrastructure of the WWTP-TESE were proposed to include a stage of treatment of RFH, the proposals were based on the results of the operation of a laboratory-level anaerobic-aerobic system that jointly treats RFH and ARM; establishing that the anaerobic rising flow reactor (ARFR) of the WWTP-TESE must operate at loads of 3 g COD·L^{-1}·d^{-1} with a TRH of 12 h. Based on this and the dimensions of the ARFR of the WWTP-TESE, it was established that the proposed adjustments will allow the joint treatment of 1.33 t of FVW·d^{-1} and 3 L·s^{-1} of DS.

***Key words**: Fruit vegetables waste, domestic sewage, anaerobic rising flow reactor, leaching*

Introducción

El acelerado desarrollo tecnológico y económico han acelerado la producción y consumo de diversos tipos de materiales, lo que implica la generación de residuos que deben ser dispuestos. La generación per cápita de residuos en el 2019 en México fue de 0.944 kg·hab^{-1}·d^{-1}; la generación total de residuos en México se estima en 120,128 t·d^{-1}, de los cuales el 31.6 % corresponde a residuos susceptibles de aprovechamiento, el 46.42 % a residuos orgánicos y el 22.03 % a “otros residuos” [1].

Los desechos biogénicos tienen un alto potencial para el suministro de energía/materiales alternativos, de ahí el surgimiento de la bioeconomía que está profundamente relacionada con los conceptos de economía circular, pero con un énfasis mucho mayor en el uso de recursos biológicos para apoyar una mejor sostenibilidad de la energía/materiales en la gestión de desechos. Las biorrefinerías de desechos son el corazón de la bioeconomía, ya que se caracterizan por generar productos de alto valor agregado y bajo volumen de producción o de bajo valor agregado y de alto volumen de producción a partir de desechos biogénicos. Una de las tecnologías

más robusta en el concepto de biorrefinerías es la digestión anaerobia (DA) debido a que tiene un potencial reconocido para contribuir a la producción de altos volúmenes de biogás [2] a bajos costos de operación.

La gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) no solo experimenta hoy en día volúmenes cada vez mayores, sino que también se enfrenta a una mayor complejidad y heterogeneidad, volviéndose en uno de los principales retos para la administración pública. La aspiración hacia una gestión de RSU más sostenible requiere esfuerzos continuos para actualizar el conocimiento de diferentes tecnologías potenciales empleadas en diversas aplicaciones. En particular, dos de los residuos de mayor abundancia e importancia son los residuos sólidos orgánicos urbanos y las aguas residuales domésticas, el tratamiento de estos puede ser optimizado utilizando procesos integrados en donde ambos pueden ser tratados en el mismo sistema. La utilización de procesos integrados en el tratamiento biológico de residuos sólidos orgánicos urbanos y aguas residuales domésticas proporciona un mejor equilibrio de nutrientes a partir de los sustratos que favorecen un funcionamiento estable del proceso; produciendo un digestato apto para ser utilizado como un eficaz fertilizante, además de generar un aumento en la productividad del biogás con un alto porcentaje de metano (CH_4), lo que contribuye a la independencia energética de los actuales sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales.

Dado que el reto de ingeniería es lograr que en los reactores se lleve a cabo una eficiente remoción de la materia orgánica con balances energéticos positivos, en este trabajo se realizó un estudio preliminar para implementar un proceso integrado para el tratamiento conjunto de agua residual doméstica y residuos de frutas y hortalizas en la planta de tratamiento de aguas residuales del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (PTAR-TESE)

Metodología

Adecuación del tren de tratamiento de la PTAR-TESE

Las adecuaciones a la PTAR-TESE se realizaron en función de las condiciones de operación establecidas para un sistema anaerobio-aerobio para el tratamiento de RFH a nivel laboratorio. En el sistema anaerobio-aerobio Figura 1, primeramente, se ponen en un tanque sin agitación los RFH en agua con un tiempo de retención de 24 h, los sólidos de los RFH que migran a la fracción líquida son separados de aquellos con tamaño de partícula mayor a 150 µm; posteriormente a la fracción liquida se le ajusta el pH y la concentración de DQO, mezclándola con ARM (Agua Residual Municipal). Una vez que a la fracción liquida se le ajustó la concentración de DQO (para alimentar cargas orgánicas mayores a 3 g $DQO \cdot L^{-1} \cdot d^{-1}$) esta fue alimentada al RAFA operado con un tiempo de retención hidráulica (TRH) constante de 12 h. El efluente que abandona el RAFA alimenta al reactor aerobio de lodos activados operado con un TRH de 5 h. La separación del agua pretratada de los sólidos suspendidos del licor mezclado (SSLM) se realizó en un sedimentador de 200 cm^2 y una altura de 100 cm con una entrega del SSLM a 60 cm de la salida del agua al fondo del tanque. Una porción del lodo concentrado es recirculada al RALA para imponer un tiempo de retención celular de 10 d. En el RALA se determinó la eficiencia de remoción de DQO.

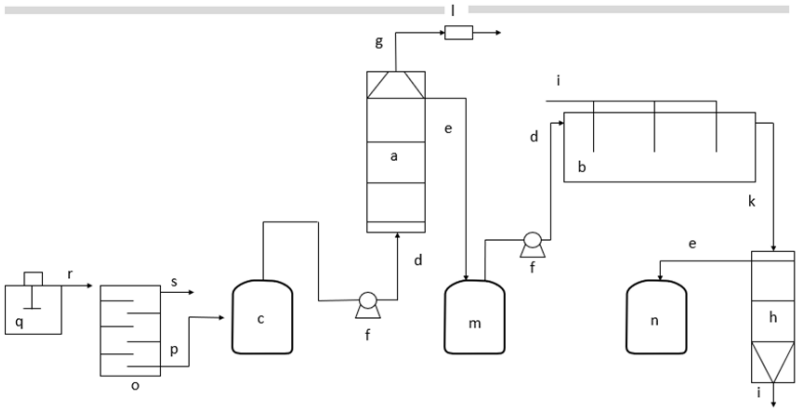


Figura 1. Sistema anaerobio-aerobio a) RAFA, b) reactor lodos activos c) tanque de regulación de pH, d) flujo de entrada a RAFA, e) flujo de salida de RAFA, f) bomba peristáltica, g) salida de biogás, h) sedimentador, i) purga de lodos j) entrada de aire k) flujo de salida del reactor de lodos activados, l) contador para biogás, m) digestato líquido, n) cisterna de almacenamiento, o) tamizador p) fracción líquida agua-RFH con Dp<150 µm, q) tanque de solubilización, r) salida de sólidos y fracción liquida s) RFH con Dp>150. Dp diámetro de partícula

Descripción de la PTAR-TESE

El agua residual generada en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec llega al canal de pretratamiento, que consiste en dos rejillas para separar partículas mayores a 3 cm y un desarenador. Posteriormente llega al cárcamo de bombeo y es enviada al distribuidor del reactor anaerobio por medio de una bomba de 3 Hp (marca: BARNES, modelo:3SE103); el flujo es regulado mediante una válvula chek. El reactor Anaerobio de flujo ascendente (RAFA), entrega el agua a un reactor aerobio de lodos activados (RALA), donde el agua es aireada por medio de 25 difusores impulsados por sopladores de 3 Hp de potencia; se cuentan con dos sopladores (marca: LAFERT, modelo:AM90LCA2), los cuales se operan alternadamente en periodos de 24 horas. La mezcla agua-lodo activado que abandona el RALA entra a un sedimentador secundario, donde los lodos sedimentan, estos se recirculan nuevamente al reactor aerobio con ayuda de dos bombas sumergibles de 3 Hp (marca: BARNES, modelo:3SE103), El agua clarificada es trasladada a una cisterna de almacenamiento de agua pre-tratada. Por último, el agua pasa a un proceso de postratamiento, mediante dos bombas centrifugas de 3 Hp (marca: BARNES, modelo:3SE103). El postratamiento consta de un filtro de arena, el cual sirve para separar partículas suspendidas que pueda contener el agua. El filtro está conformado de arena sílice de varios tamaños. El filtro es operado con un horómetro para establecer los periodos de mantenimiento. El agua después de pasar por el filtro es sometida a luz ultravioleta utilizando una lámpara con tres focos de emisión UV con una potencia de 25 W, la lampara de UV se encarga de disminuir la carga bacteriana en el agua. El agua tratada que sale del proceso de postratamiento se almacena en la cisterna de agua tratada para su reúso.

Caracterización del agua residual doméstica

Muestreo

Se tomó una muestra simple de agua cada hora, durante 7 horas continuas, directamente de la entrada del canal de pretratamiento, a cada una de las muestras se les determinó el pH, temperatura y conductividad. Una vez obtenidas las muestras del día, se procedió a preparar 2 L de muestra compuesta [3] y se agregó 1mL de H_2SO_4 concentrado para su conservación a 4 °C antes de ser analizada. Las muestras de nitrógeno para el caso de no ser analizadas antes de 1 hora a estas se conservaron agregando 0.5 mL de solución de tiosulfato de sodio (3.5 g/L) por cada litro de muestra. Para la determinación de sólidos, fósforo y DBO_5 la muestra fue analizada en no más de una hora después de tomada la muestra.

Las muestras para coliformes fueron simples, tomadas en frascos de boca ancha previamente esterilizados conteniendo 0.1 mL de tiosulfato de sodio al 1% por cada 100 mL de muestra, para tomar la muestra el recipiente se sumergió totalmente en el agua antes de abrirse, ya sumergido en el agua se abrió para tomar la muestra y se cerró antes de sacarlo del agua. La muestra se conservó a 4 °C, como máximo 12 h después de tomada la muestra.

Caracterización de las muestras de agua residual

La caracterización fisicoquímicamente de la muestra de agua residual fue en términos de: DQO, DBO_5, Sólidos totales (ST), ácidos grasos volátiles (AGV), Nitrógeno disuelto. También se determinaron los coliformes totales por el Método del Número más Probable. Todas la pruebas fueron realizadas según las normas mexicanas para análisis de agua (Tabla 1).

Tabla 1. Métodos de análisis usados para la caracterización del agua residual

Parámetro	Norma Mexicana
DQO	NMX-AA-030-SCFI-2001
DBO_5	NMX-AA-028-SCFI-2001
SST	MX-AA-034-SCFI-2001
pH	NMX-AA-008-SCFI-2011
Conductividad	NMX-AA-093-SCFI-2000
Coliformes fecales	NMX-AA-042-1987
Nitrógeno	NMX-AA-026-SCFI-2001

Caracterización de los residuos de frutas y hortalizas.

 ISSN: 2007 8102

Los residuos de frutas y hortalizas (RFH) utilizados en este estudio se obtuvieron de un local de preparación de jugos y cocteles en Ecatepec de Morelos; Estado de México. Estos fueron transportados al laboratorio en botes de 20 L y se acondicionaron de la siguiente manera: 1.-Se clasificaron los RFH de acuerdo con el tipo de residuo. 2.-Se redujo el tamaño de partícula a un 1 cm aproximadamente, 3.-Se pesó cada residuo para calcular su fracción en la mezcla original. Una vez calculadas las fracciones de cada tipo de residuo se forma una mezcla en las mismas proporciones de residuos que la mezcla original. Esta mezcla fue caracterizada fisicoquímicamente, según los parámetros mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2. Métodos de análisis usados para la caracterización de los residuos de frutas y hortalizas

Parámetro	Método de análisis	Técnica analítica
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016	Electrometría
Conductividad	NMX-AA-093-SCFI-2000	Electrometría
Densidad de empaque	NOM-002-SCFI-2011	Gravimetría
Solidos totales	NMX-AA-034-SCFI-2015	Gravimetría
DQO	NMX-AA-030-SCFI-2001	Espectrofotometría
Proteínas	Folin-fenol	Espectrofotometría
Carbohidratos	Fenol-ácido sulfúrico	Espectrofotometría
Fósforo	NMX-AA-029-SCFI-2001	Espectrofotometría
Nitrógeno orgánico	NMX-AA-026-SCFI-2001	Volumetría
AGV	Titulo métrico	Volumetría

Resultados y discusión

Diagnóstico de la planta de tratamiento de aguas residuales

El Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE) es una institución de educación superior, tiene 11 programas de licenciatura, 3 de maestría y uno de doctorado con una matrícula de 7500 alumnos y 500 trabajadores con una población flotante de alrededor de 100 personas. Considerando que el consumo per cápita de agua en actividades escolares y de trabajo está entre 20 $L \cdot hab^{-1} \cdot d^{-1}$ y 56 $L \cdot hab^{-1} \cdot d^{-1}$, en el TESE se generan un mínimo de 1.9 $L \cdot s^{-1}$ y máximo de 5.3 $L \cdot s^{-1}$, que deberían ser tratados en la PTAR-TESE que está a cargo del departamento de servicios generales de la Institución. Sin embargo, al realizar las mediciones de los flujos de entrada el promedio fue flujo de agua residual (AR) fue de 0.473 $L \cdot s^{-1} \pm 0.152$ $L \cdot s^{-1}$. El perfil de flujos obtenido se muestra en la Figura 2, los valores mostrados fueron tomados en el periodo de marzo a mayo. Los puntos dispersos se presentaron durante las lluvias. Debido a la discrepancia del agua recibida con respecto al AR calculada se procedió a realizar el análisis de la red de drenaje del TESE.

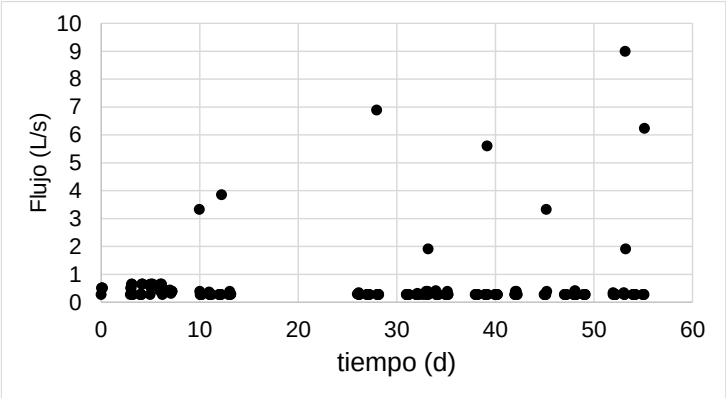


Figura 2. Perfil de flujo a la entrada de la PTAR-TESE, los valores mostrados son en el periodo de marzo- mayo.

Las conclusiones obtenidas después de la revisión fueron: el TESE cuenta con un drenaje mixto, es decir, ahí se recuperan aguas negras, aguas grises y pluviales. El drenaje está dividido en cuatro secciones, la lumbrera 1 dirige el drenaje hacia Av. Central Carlos Hank González, la lumbrera 2 dirige el drenaje hacia Av. Tecnológico, la lumbrera 4 es una fosa séptica que es conectada a la lumbrera 3 y desalojada por bombeo, la lumbrera 4 y lumbrera 5 dirigen el agua hacia la PTAR-TESE (Figura 3).

 ISSN: 2007 8102

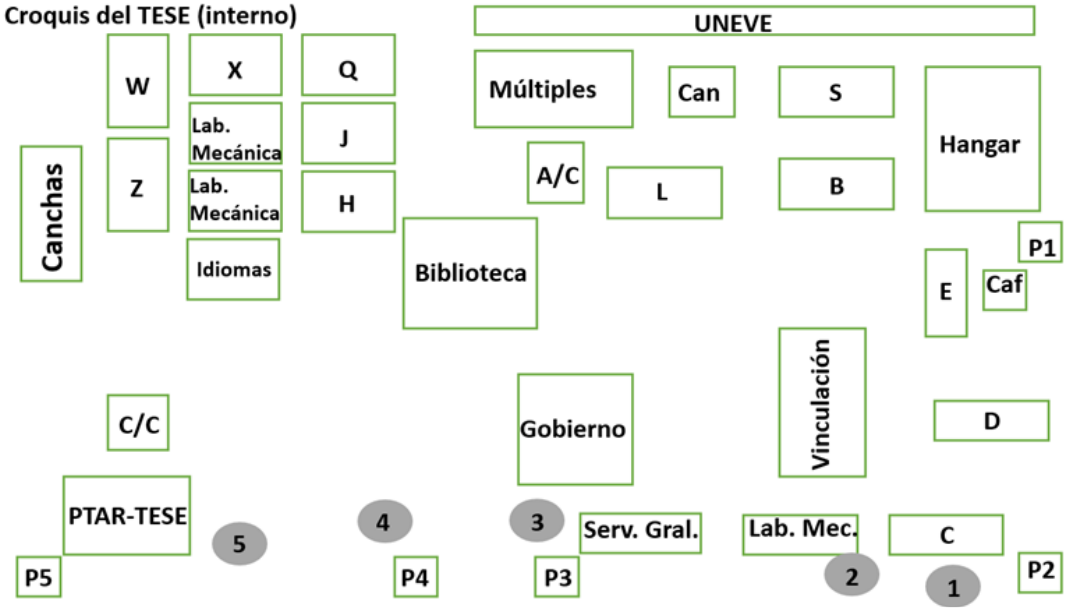


Figura 3. Plano del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Las lumbreras están señaladas con círculos en color gris, las puestas de acceso como Pi en cuadros de contorno verde.

La PTAR-TESE no cuenta con un canal para medición del flujo a la entrada por lo que se diseño un canal tipo parshall para para tener un mejor y más sencillo procedimiento de medición de flujo. El perfil de flujos mostrados en la Figura 4 fueron utilizados para el diseño de un canal Parshall. El perfil de flujo durante las horas de mayor aforo de agua residual en el lapso de las 9 y 20 hrs. del día, durante el mes de julio. El valor mínimo de flujo fue 0.234 $L \cdot s^{-1}$ y el máximo flujo de 2.336 $L \cdot s^{-1}$. Las dimensiones del canal se muestran en la Figura 5.

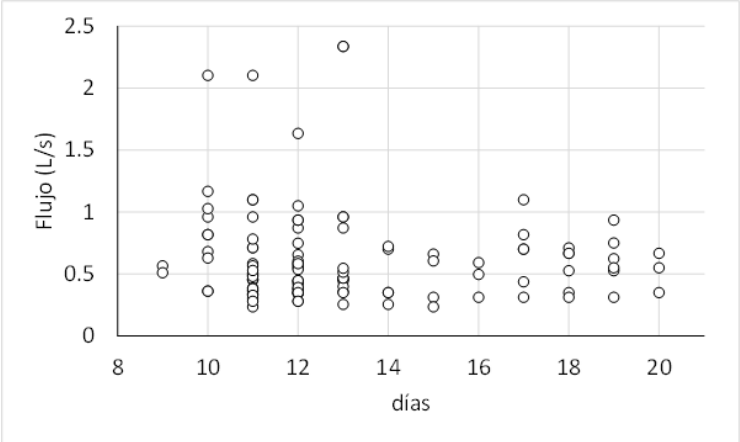


Figura 4. Perfil de flujo durante el mes de julio, en el periodo de 9 a 20 hrs del día

 ISSN: 2007 8102

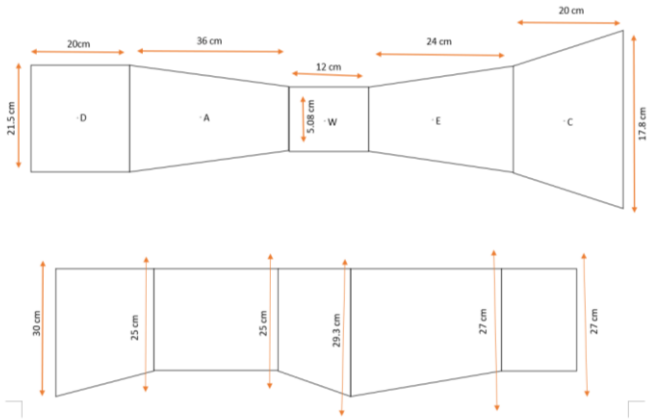


Figura 5. Parshall diseñado para la PTAR-TESE

Condiciones de operación de la PTAR-TESE

La PTAR-TESE operaba de manera discontinua, con tiempos de retención muy grandes, mayores a las 48 h. Debido a los gastos otorgados por el TESE la planta solo operaba alrededor de 20 minutos en tres periodos de tiempo 9:00, 13:00 y 17:00 hrs. Esta forma de operar y las características del agua residual de entrada (tipo doméstica) provocan que la PTAR-TESE tenga eficiencias de remoción de a apenas 30 %, además de provocar una hidrólisis de lodos activados en el RALA provocando un aumento en la DQO a la salida del proceso.

Con la intención de operar el sistema de manera continua durante la jornada de trabajo se propuso agregar un tanque de recirculación de agua tratada, haciéndolo pasar por un lecho de residuos de frutas y hortalizas para aumentar la carga orgánica a la entrada del proceso y así mantener un flujo constante de entrada a la PTAR-TESE durante 10 h.

Para establecer las condiciones de operación el proceso propuesto se obtuvieron las dimensiones de las instalaciones de la PTAR-TESE, las que se describen a continuación: El reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) cuenta con dos módulos con un volumen total de 163 m^3, el agua que abandona el RAFA se alimenta al reactor aerobio de lodos activados (RALA) que tiene un volumen de operación de 55 m^3, los sólidos suspendidos del licor mezclado del RALA se separan en un sedimentador de 20 m^3, el agua tratada se manda a postratamiento y se almacena en una cisterna con 38.5 m^3 de capacidad de almacenamiento.

Considerando las condiciones de diseño de cada uno de los equipos se realizó la propuesta de operación de la PTAR-TESE. Primeramente, se realizó la caracterización fisicoquímica del agua residual de llegada y de los residuos de frutas y hortalizas (RFH), finalmente se establecen las condiciones propuestas para la operación de la PTAR-TESE.

Características fisicoquímicas del agua residual

Muestras compuestas de agua residual generada en el TESE fueron caracterizadas, los valores promedio se muestran en la Tabla 3, por sus características esta agua residual puede ser catalogada como agua residual doméstica.

Tabla 3. Caracterización del agua residual generada en el TESE de abril a noviembre del 2022.

Parámetro	Unidades	Valores promedio
DQO	mg/L	461±112
DBO_5	mg/L	237±87
SST	mg/L	4900±2400
pH	adimensional	8.41-9.90
Conductividad	µS/cm	378 -628.9
Coliformes fecales	NMP/100mL	>24000
Nitrógeno	mg/L	35

Características fisicoquímicas de residuos sólidos orgánicos

La mezcla de residuos utilizada para la caracterización fisicoquímica se realizó a partir de valores promedio de al menos 7 lotes de RFH. En la Tabla 4 se presenta la composición de los residuos de los lotes de RFH utilizados durante esta experimentación. En las mezclas promedio el 77.4 % de los residuos son melón, papaya, sandía, piña y naranja. En la Tabla 5. se muestra la caracterización fisicoquímica de las mezclas de RFH utilizadas en esta investigación. La relación DQO:N:P (350:1.3:0.2) están alrededor de los valores propuesto para residuos con alto contenido de carbohidratos (350:1.3:1 de DQO:N:P).

Tabla 4. Composición de los residuos de los lotes de RFH

Residuo	Masa (kg)	Fracción
Sandia	3.100	0.40
Melón	0.896	0.12
Piña	1.000	013
Naranja	1.836	0.24
Papaya	0.924	0.12
Total	7.756	1.00

Tabla 5. Características fisicoquímicas de los RFH

pH	6.02
Conductividad µS/cm	4393.00
Humedad %	90.00
ST g/ g residuo	0.10
SF g/ g residuo	0.015
SV g/ g residuo	0.089
DQO g/g ST	1.23
DQO g/ g SV	1.06
Carbohidratos g/ g ST	0.288
Proteínas g/g ST	0.236
Fósforo mg/ g ST	2.75
Nitrógeno mg/ g ST	13.2
Densidad de empaque (g/L)	0.69

Modificaciones a la operación de la PTAR-TESE.

El RAFA es un reactor compartimentado de 165 m^3, cada una de las secciones son iguales en dimensiones y volumen. Este tipo de reactores están diseñados para tratar cargas orgánicas (Bv) entre 10 y 40 g DQO·L^{-1}·d^{-1} con tiempos de retención hidráulica (TRH) mayores a 6 horas. Para imponer las condiciones de operación del RAFA de la PTAR-TESE se utilizaron las condiciones establecidas en el proceso anaerobio-aerobio a nivel laboratorio descrito con anterioridad (TRH de 12 h, carga orgánica de 3 g DQO·L^{-1}·d^{-1}), con esta consideración se puede determinar la DQO del efluente que debe entrar al RAFA de la PTAR-TESE, Ecuación 1.

$$DQO = Bv * TRH \qquad Ecuación\ 1$$

En donde la concentración de DQO está en g·L^{-1}, la Bv en g DQO·L^{-1}·d^{-1} y TRH en d.

Entonces la concentración de DQO en el efluente deberá ser de 1.5 g·L^{-1}. Debido a que la concentración promedio de DQO del agua residual que llega a la PTAR-TESE es de 0.461 g·L^{-1} se requiere incrementar esta, para ello se debe mezclar con otro efluente con mayor concentración de DQO. Además, debido a que el flujo promedio de llegada es de 0.626 L·s^{-1} este flujo también debe ser incrementado. El flujo requerido se determina con la Ecuación 2

$$Q = \frac{V}{TRH}\frac{1000}{3600} \qquad Ecuación\ 2$$

En donde Q está en L·s^{-1}, V en m^3 y TRH en h. Las constantes 1000 y 3600 son el factor de conversión de m^3 a L y horas a segundo, respectivamente. Por lo que el flujo requerido es de 3.8 L·s^{-1} para lograr el TRH de 12 h. Para determinar la concentración del efluente adicional requerido para tener una DQO de 1.5 g·L^{-1} se realiza un balance entre los flujos volumétricos (Q) y la concentración de los efluentes de entrada y salida (Figura 6).

 ISSN: 2007 8102

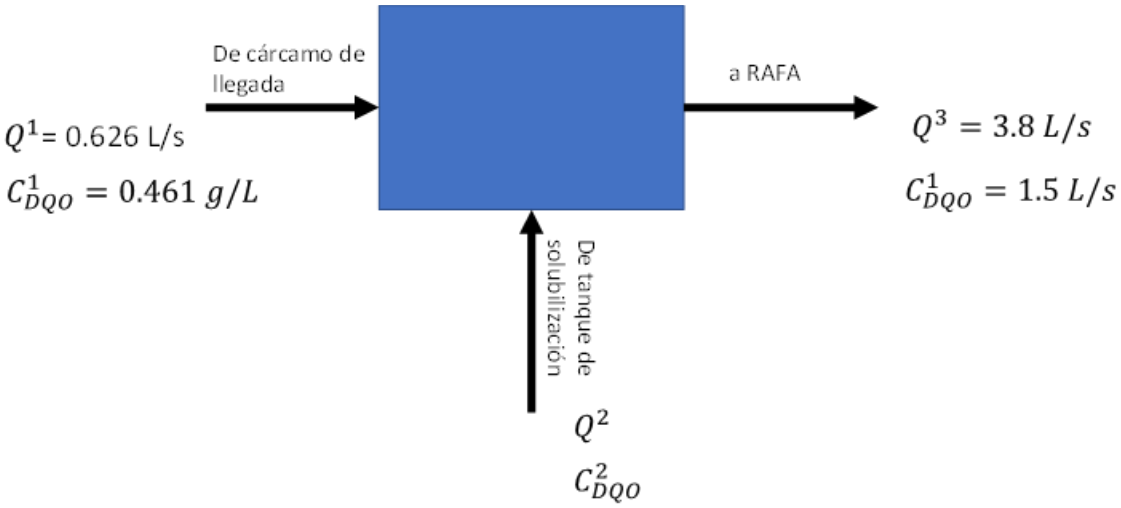


Figura 6. Balance de DQO para la entrada al RAFA de la PTAR-TESE

El balance queda entonces:

$$Q^1 + Q^2 = Q^3 \qquad Ecuación\ 3$$

$$Q^1 C^1_{DQO} + Q^2 C^2_{DQO} = Q^3 C^3_{DQO} \qquad Ecuación\ 4$$

$$Q^2 = 3.8\,\frac{L}{s} - 0.626\,\frac{L}{s} = 3.17\frac{L}{s} \qquad Ecuación\ 5$$

$$C^2_{DQO} = \frac{Q^3 C^3_{DQO} - Q^1 C^1_{DQO}}{Q^2} = \frac{5.41\frac{g}{s}}{3.17\,\frac{L}{S}} = 1.71\,\frac{g}{L} \qquad Ecuación\ 6$$

Con esta información se diseñó un tanque de lixiviación para obtener el flujo y la DQO calculados en la ecuación 5 y 6 respectivamente.

Diseño del tanque de lixiviación de RFH.

Estudios previos han determinado que la solubilización de RFH depende de si el proceso se da con agitación o sin ella [5] y que la fracción de sólidos que migra a la fracción soluble depende de la relación RFH: agua [6]. También se ha determinado que la solubilización de RFH en agua puede modelarse con una cinética de primer orden, estableciendo que la contante de velocidad de solubilización de primer orden es de 0.252 h^{-1} [7]. Además, se ha establecido que cuando se hace pasar una corriente ascendente de agua a través de un empaque de RFH a una velocidad ascensional de 1 $m{\cdot}h^{-1}$ se puede solubilizar el RFH en un 95 % manteniendo un tiempo de retención de sólidos (TRS) de 4 días [8].

En la PTAR-TESE existe un tanque en desuso; con la intención de aprovechar la infraestructura existente se determinaron las condiciones de operación para que ese tanque se pueda usar para la lixiviación de los RFH. El tanque es de 4.12 m^3 (Figura 7), cuenta con un vertedero y una fosa de desagüe que llega al cárcamo de bombeo y se le adaptará un desvase para nivelar el límite del agua y poder alimentar los RFH. Al tanque se le implemento un sistema de distribución de agua de flujo ascendente, para que al pasar esta por el empaque de RFH transporte los compuestos solubles al cárcamo de bombeo y se mezcle con el agua residual otorgada por las instalaciones del TESE. La determinación de las condiciones de operación del tanque se realizará por simulación, considerando un tanque agitado de alimentación continua (Figura 8) y la dinámica de solubilización descrita en el párrafo superior.

 ISSN: 2007 8102

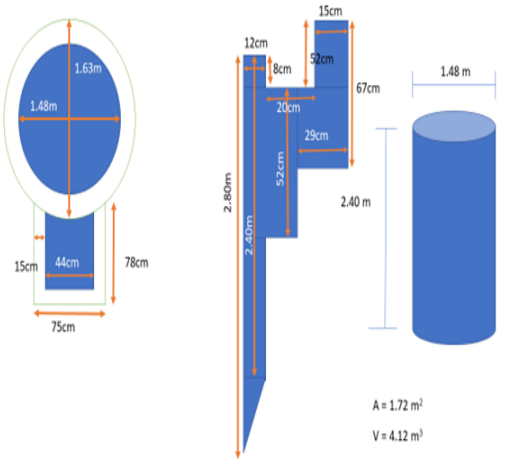


Figura 7. Tanque de solubilización

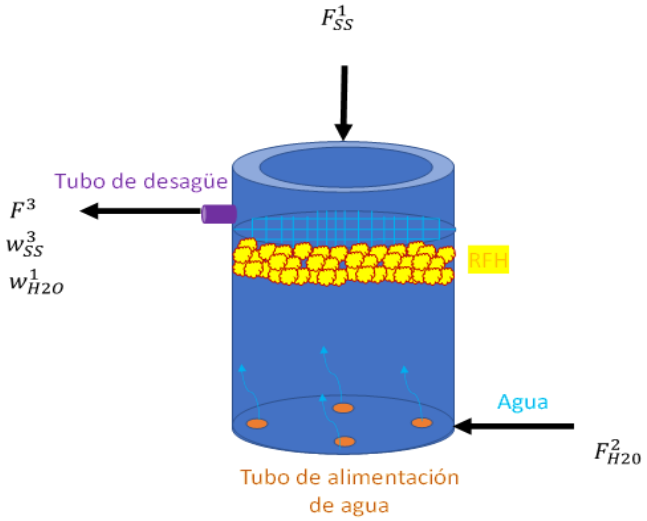


Figura 8. Balance en el tanque de solubilización

El balance de sólidos en el tanque es:

$$\frac{dSS}{dt} = D(SS_o - SS) - r_{SS} \qquad Ecuación\ 7$$

$$\frac{dSD}{dt} = r_{SS} - (D * SD) \qquad Ecuación\ 8$$

$$r_{SS} = k * SS \qquad Ecuación\ 9$$

En donde SSo es la concentración de sólidos suspendidos totales (kg·m^{-3}) en los RFH, SS es la concentración de sólidos suspendidos totales (kg·m^{-3}) en los RFH gastados, Q es el flujo volumétrico (m^3·h^{-1}), r_{SS} es la velocidad de solubilización de SS (kg·m^{-3}·h^{-1}), k es la constante de velocidad de primer orden (h^{-1}).

En la Figura 9 se observa como al arranque del tanque de solubilización de RFH la DQO consigna 1.7 g·L^{-1} se alcanza en 1 hora, por lo que las condiciones de operación para este tanque de solubilización deberán ser: Q = 11.4 m^3·h^{-1} de agua y un flujo másico de sólidos de 5.55 kg·SS·h^{-1}, es decir, 55.5 kg RFH·h^{-1}, lo que implica procesar 1.33 t RFH·d^{-1}.

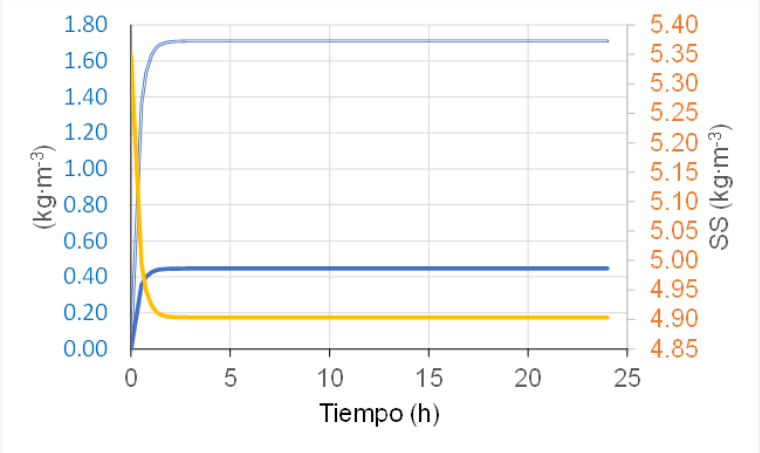


Figura 9. Simulación de la solubilización de RFH en agua, en tanque agitado de flujo continuo. V = 4.12 m3, Q = 11.4 m3·h-1, SSo = 5.35 kg SS·m-3, k = 0.252 h-1, un factor de conversión de 3.83 kg DQO·kg-1 SS, es utilizado para establecer la DQOs a la salida del tanque. SS (----), SD (----), DQOs (====).

Trabajo a futuro

Los trabajos a futuro en el grupo de Tecnología Anaerobia del TESE es la optimización en la operación del tanque de solubilización de RFH y la evaluación final de la adecuación para determinar si es técnica y económicamente factible la reconfiguración de la PTAR-TESE para el tratamiento conjunto de AR y RFH.

Conclusiones

La PTAR-TESE funciona de manera intermitente lo que provoca una baja eficiencia de remoción de DQO y una nula producción de biogás en el RAFA. Por otro lado, el RALA presenta evidencia de hidrólisis de lodo debido a la baja concentración de DQO a tratar.
El tanque de solubilización de RFH en la PTAR-TESE está en periodo de arranque por lo que aún no fue posible evaluar su efecto sobre la eficiencia de remoción de DQO de la planta. Sin embargo, la simulación realizada permite inferir que el tanque mejorará las condiciones de operación de la PTAR-TESE..

Agradecimientos

Al Fondo para la investigación científica y desarrollo tecnológico del Estado de México del COMECyT por el apoyo al proyecto **FICDTEM-2023-144.**

Referencias

[1] SEMARNAT, “Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos,” *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*, Ciudad de México, 2021.
[2] To-Hung Tsui, J. W. Wong, “A critical review: emerging bioeconomy and waste-to-energy technologies for sustainable municipal solid waste management”. *Waste Disposal & Sustainable Energy* vol. 1, pp. 151-167, 2019.
[3] Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, “Norma Méxicana NMX-AA-003-1980, Aguas residuales.-muestreo. *Dirección General de Normas*, Ciudad de México, 1980
[4] M. Montalvo y L. Guerrero, “Tratamiento anaerobio de residuos,” *Universidad Técnica Federico Santa María*. Valparaíso, Chile, 2003.
[5] M. E. Carrera Maldonado y J. P. Mascota Alvarez, “Tratamiento anaerobio-aerobio de residuos de frutas y hortalizas”. Tesis de licenciatura en Ingeniería Bioquímica. *Tecnológico Nacional de México. Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. División de Ingeniería Química y Bioquímica*. Ecatepec de Morelos, Estado de México, 2022.
[6] C. O. Zarate M. M. Montes, S. E. Vigueras-Carmona, “Producción de digestato anaerobio a partir de residuos de frutas y verduras”. *Journal CIM*, Vol. 8, Num. 1, pp 1807-1814, 2020.
[7] E. Sarmiento García, S. E. Vigueras Carmona Sergio Esteban, L. A. Chimal Hernández, M. M. Montes, L. M. Pérez Montoya Luz Mariana, J. A Yáñez Varela, “Propuesta de un modelo para predecir el comportamiento de la operación de solubilización de residuos sólidos orgánicos*,” Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, año 8, num. 8, 2022
[8] J. Vian, S. E. Vigueras-Carmona, A. Velasco-Pérez, H. Puebla, A Novel Up-Flow Anaerobic SludgeBlanket Solid-State Reactor for the Treatment of Fruit and Vegetable Waste. EnvironmentalEngineering Science, Vol. 37 Num. 5, pp 373–381, 2020.

 ISSN: 2007 8102

Producción de biogás a partir de un co-sustrato enriquecido en modo termofílico

Araceli Turincio Estrada[1], [*]Alejandro Torres Aldaco[1], Raúl Lugo Leyte[1], Helen Denise Lugo Méndez[2], Jessica Torres Cervantes[1]

[1]Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad Autónoma Metropolitana, Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco 186 Iztapalapa, 09310, CDMX, México

[2]Departamento de Procesos y Tecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa, Av. Vasco de Quiroga No. 4871, Colonia Santa Fé, 05348, Cuajimalpa, CDMX, México.

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

Mezclar dos o más sustratos permite obtener un sustrato enriquecido, que maximiza la producción de biogás. Se estudió el efecto de la composición del co-sustrato de tres residuos: bovino, equino y porcino; bajo condiciones de operación de modo termofílico, en el intervalo de temperatura de 55 a 56 °C. Se prepararon dos sustratos enriquecidos, el primero se formó con la siguiente proporción en peso: 37.14% bovino, 33.03% porcino y 30.35% equino; el segundo, con 25.80% bovino, 46.66% porcino y 30.53 equino. Para la formación de la mezcla se consideró los siguientes parámetros: contenido nutrimental y contenido de bacterias hidrolíticas y fermentativas de cada sustrato. Los resultados obtenidos en la co-digestión son, tiempo de retención hidráulico de 15 días. Se triplicó la producción de biogás respecto a la operación mesofílica, la concentración de metano obtenida es de 10000 PPM y 275 PPM de dióxido de carbono para el sustrato 2.

***Palabras clave**: Anaerobia, Termofílico, Codigestión, Biogás.*

Abstract

Mixing two or more substrates allows obtaining an enriched substrate that maximizes biogas production. The effect of the composition of the co-substrate of three residues was studied: bovine, equine, and porcine; under thermophilic operating conditions, in the temperature range from 55 to 56 °C. Two enriched substrates were prepared, the first was formed with the following proportion by weight: 37.14% and bovine, 33.03% porcine and 30.35% equine, the second with 25.80% bovine, 46.66% porcine and 30.53 equine. For the formation of the mixture, the following parameters were considered: nutritional content and the content of hydrolytic and fermentative bacteria of each substrate. The results obtained in the co-digestion are, hydraulic retention time of 15 days, biogas production tripled compared to the mesophilic operation, the methane concentration obtained is 10000 PPM and 275 PPM of carbon dioxide for substrate 2.

***Key words**: Anaerobic, Thermophilic, Co-digestion, Biogas.*

Introducción

El crecimiento de población mundial determina un aumento en la demanda de alimentos de origen animal y vegetal, lo que ha provocado un impacto negativo en el medio ambiente, al intensificar el uso de los suelos y aguas, producción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera y la generación de cantidades grandes de residuos que se deben tratar [1]. Ante esta problemática, la digestión anaerobia, puede ayudar a minimizar los impactos al ambiente y dar un segundo uso a los desechos. La digestión anaerobia es un proceso biológico que se puede dirigir al objetivo de la producción de biogás a través de la degradación de la materia orgánica por parte de microorganismos anaerobios. El biogás generado está compuesto por metano y dióxido de carbono principalmente. La ventaja de este proceso es valorizar los residuos animales y vegetales que se producen en grandes cantidades, debido a la actividad agrícola y ganadera. La valorización de desechos orgánicos se puede lograr a través de la producción de energía renovable debido a la posibilidad de utilizar el biogás como biocombustible, en sustitución de los combustibles fósiles de mayor impacto al medio ambiente. El biogás puede generar metano de alta pureza de características similares a las del gas natural. Además, se

 ISSN: 2007 8102

obtienen productos de alto valor agregado de los residuos de la digestión que, pueden ser empleados como ingrediente para la elaboración de fertilizantes agrícolas.

La co-digestión de residuos ganaderos y residuos orgánicos en sistemas de mezcla completa es una metodología exitosa, tanto en régimen termofílico, como en el mesofílico [2]. La principal ventaja de la co-digestión está en aprovechar la sinergia de las mezclas, y compensar carencias de cada uno de los substratos por separado.

Los residuos urbanos e industriales suelen contener altas concentraciones de materia orgánica fácilmente degradable, tales como, lípidos, carbohidratos y proteínas, que presentan un mayor potencial de producción de biogás que los residuos ganaderos, de 30 a 500 m^3/ton [2,3], mejorando la viabilidad económica de las plantas. Sin embargo, estos residuos pueden presentar problemas para su digestión, como deficiencia en nutrientes necesarios para el desarrollo de los microorganismos anaerobios, baja alcalinidad, o excesivo contenido en sólidos que provoque problemas mecánicos [3]. Los residuos ganaderos, y en concreto los de cerdo, pueden ser una buena base para la co-digestión, porque generalmente, presentan un contenido de agua más alto que la mayoría de residuos industriales, una mayor resistencia a las variaciones del pH y aportan una amplia variedad de nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos anaerobios [4].
La introducción de co-sustratos en un reactor puede presentar problemas de inhibición y sobrecarga orgánica y la capacidad de preverlo, puede ser vital para el funcionamiento de una planta de tratamiento. Por lo anterior, en este trabajo se estudia el comportamiento dinámico de un reactores anaerobio empleando co-sustratos, para determinar la mejor combinación de sustratos que enriquecen la mezcla, empleando los sustratos de bovino, cerdo y equino, bajo un modo de operación termofilico a 55ºC. El objetivo es lograr mejores rendimientos en la producción de biogás y observar la presencia de inestabilidades en el reactor por efecto de la temperatura, tales como las reportadas en la digestión anaerobia empleando lodos activados. El pH es una variable fundamental en los sistemas anaerobios, cuyo comportamiento dinámico influye en multitud de los procesos que ocurren en un reactor anaerobio, tanto biológicos como físico-químicos. El principal modulador de la digestión anaerobia de residuos ganaderos, es la inhibición por amoníaco libre [4], cuya concentración es una función del pH y de la temperatura, aumentando con dichas variables. Pero si el efecto tóxico aumenta, el pH puede bajar, debido a la acumulación de ácidos grasos volátiles, que son los principales intermediarios del proceso, con lo que disminuirá la concentración de amoníaco libre y, por tanto, el efecto inhibidor. Además el pH afecta a las velocidades de crecimiento de los microorganismos anaerobios.

La composición del sustrato y del desarrollo del proceso, requieren de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios, como los ácidos grasos volátiles (AGV) que podrían producir una disminución del pH.
Para residuos en los que la materia orgánica se encuentra en forma de partículas, como las deposiciones ganaderas, la fase restrictiva es la hidrólisis, proceso enzimático cuya velocidad depende de la composición del sustrato. [5] Esta limitante hace que los tiempos de proceso sean del orden de semanas. Para aumentar la velocidad de degradación de la materia orgánica, una de las estrategias es los pretratamientos para disminuir el tamaño de partícula y ayudar a la disolución, como por ejemplo la maceración, ultrasonido y el pretratamiento térmico para eliminar gérmenes patógenos.

Las deficiencias de nutrientes y agentes tóxicos que se encuentran en el sustrato, tienen efectos adversos en la productividad del proceso de monodigestión, porque puede afectar las funciones de las bacterias y los microrganismos metanógenos que facilitan el proceso. Sin embargo, a través de la co-digestión (mezcla de dos o más sustratos) se amortigua las variaciones temporales de la composición y producción de cada residuo por separado. En la mayoría de los casos, el uso de sustratos auxiliares aumenta la producción de biogás, ya que se crea una sinergia positiva con el medio de fermentación y se aprovechan los nutrientes que faltan en algunos sustratos. Se adquiere su uso para lograr un mejor equilibrio en parámetros nutricionales como: relación C/N, pH, nutrientes, compuestos inhibitorios/tóxicos y materia orgánica biodegradable [2].

Un parámetro que afecta el proceso de digestión anaerobia es la temperatura, porque es altamente sensible a los cambios bruscos; sin embargo, tiene un impacto en la tasa de crecimiento de las bacterias metanogénicas. La co-digestión anaerobia termofílica tiene ventajas, ya que reduce los agentes patógenos e incrementa los ácidos orgánicos durante el proceso de fermentación. Pero el proceso es más inestable y requiere de un suministro de calor adicional para mantener las condiciones de operación.

El pH determina el efecto de inhibición o toxicidad de las bacterias y el crecimiento óptimo de los microbiomas en cada etapa del proceso de digestión anaerobia. Los microrganismos metanogénicos son sensibles a las fluctuaciones de pH. Para un proceso óptimo el valor del pH se debe encontrar en 7. Sin embargo, las bacterias

 ISSN: 2007 8102

acidogénicas operan en el rango de 5.5 a 6.5, mientras que, las bacterias metanogénicas operan entre valores de 7.8 a 8.2.

Otro factor que interviene en el proceso es la relación carbón-nitrógeno, éstos son las principales fuentes de alimento para las bacterias metanogénicas; el carbón produce energía y el nitrógeno forma nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, se cree que la relación óptima de los dos elementos en la materia prima está entre 20:1 y 30:1. Para sustratos con un alto contenido de carbón mayor a 35:1, la descomposición ocurre más lenta por el bajo crecimiento y desarrollo bacteriano. debido a la falta de nitrógeno, pero el ciclo de generación de biogás es más largo. Por otro lado, si la relación C/N es menor a 8:1, la actividad de la bacteria se inhibe debido a la formación de un contenido excesivo de amonio, que es tóxico e inhibe el proceso de digestión anaerobia. [10]

Las fuentes de residuos animales como: el rumen, contenido intestinal y estiércol son importantes, debido a su alto contenido orgánico y baja proporción C/N comparada con los residuos vegetales. El tratamiento de estos residuos se puede lograr por la digestión anaerobia. Sin embargo, estos tienen un alto contenido de proteína, generando concentraciones de amonio, provocando en algunos casos inhibición en el proceso. [5]

El contenido de bacterias en la materia orgánica es un factor importante a considerar, dada la función que tienen en la digestión anaerobia. En la Tabla 1 se presenta la composición de la relación C/N para los residuos bovino, equino y porcino, y el porcentaje de bacterias fermentativas e hidrolíticas. Dentro de las bacterias fermentativas se presentan concentraciones mayores al 50%, presentando una mayor concentración para porcino y equino; mientras que, la concentración de bacterias hidrolíticas es mayor para los residuos de bovinos y porcinos. [6], [7]

Metodología

Para formar el co-sustrato enriquecido con la materia orgánica de porcino, bovino y equino se consideró establecer la relación C/N al valor de 25, que se establece como la relación óptima para la digestión anaerobia. La proporción de materia orgánica de cada especie para la mezcla se determina a partir de establecer un conjunto de ecuaciones de la 1 a la 6 y resolver el sistema de ecuaciones empleando el solucionador GRG contenido en solver de excel, que es un algoritmo de optimización no lineal [11]. El solucionador usa dos técnicas para la determinación de la dirección de búsqueda, el método de Quasi-Newton, basado en el gradiente y la segunda n es el método de gradiente conjugado.

De la solución del sistema de ecuaciones donde se determina la cantidad de carbono y nitrógeno, la concentración de bacterias hidrolíticas y fermentativas de cada residuo. La composición de los nutrientes tales como, carbohidratos, proteínas y lípidos, más alta posible.

El analizar la composición de los residuos orgánicos tiene particular importancia, debido a los distintos componentes que participan y se degradan durante el proceso de hidrólisis y acidogénesis. La Tabla 1, presenta la composición de los nutrientes tales como, proteínas, carbohidratos y lípidos de los residuos, basada en la composición promedio.

Tabla 1. Composición química de los sustratos de bovinos, porcinos y equinos [6,7].

Sustrato	Lípidos %	Proteínas %	Carbohidratos %
Bovino	3.23	9.05	21.49
Porcino	11.5	10.95	35.57
Equino	2.7	5	35

Se observa que los residuos de porcino triplican la concentración de lípidos con respecto a los residuos de bovino y equino, es un factor que hay que considerar en la formación del co-sustrato, debido a que los lípidos retardan el proceso de digestión, concentraciones elevadas de lípidos incrementan el tiempo de retención hidráulico. El equipo empleado en la biodigestión tiene un volumen de 20 L de capacidad. El experimento se realizó con el propósito de determinar la proporción ideal del sustrato compuesto para la co-digestión. La formulación del co-

 ISSN: 2007 8102

sustrato considero cuatro aspectos, un sustrato compuesto por estiércol de bovino, porcino y equino, la concentración de nutrientes, la concentración de bacterias hidroliticas y fermentativas y la relación C/N. El biodigestor se utilizó al 70% de su capacidad con la mezcla de agua-estiércol [10] para que el biogás producido ocupe un volumen de 6 L. El volumen de la mezcla se consideró con base al volumen ocupado en el biodigestor, que corresponde a un volumen de 14 L. La mezcla agua sustrato se preparó al 8% en peso. Con lo anterior se observa que se requiere 1.12 kg de estiércol; para satisfacer uno de los parámetros fundamentales como la relación C/N, en el caso de la co-digestión que no se tiene un valor de la relación C/N, se realiza una proporción, utilizando la ecuación 1.

$$m_B + m_P + m_E = m_{Tot} \quad (1)$$
$$w_{carb-B}(m_{B)} + w_{carb-P}(m_P) + w_{carb-E}(m_E) \geq w_{carb-B}(m_{Tot}) \quad (2)$$
$$w_{lip-B}(m_B) + w_{lip-P}(m_P) + w_{lip-E}(m_E) \leq w_{lip-P}(m_{Tot}) \quad (3)$$
$$w_{bh-B}(m_B) + w_{bh-P}(m_P) + w_{bh-E}(m_E) \geq w_{bh-B}(m_{Tot}) \quad (4)$$
$$w_{bf-B}(m_B) + w_{bf-P}(m_P) + w_{bf-E}(m_E) \geq w_{bf-B}(m_{Tot}) \quad (5)$$
$$[C_B(m_B)+C_P(m_P) + C_E(m_E)]/[N_B(m_B)+N(m_P) + N_E(m_E)] = K \quad (6)$$

K = relación carbón/nitrógeno de la mezcla de materia orgánica
C = Contenido de carbón en la relación carbón nitrógeno de cada materia orgánica
N = Contenido de nitrógeno orgánico de cada materia orgánica
m = Peso de cada sustrato [Kg]

La relación C/N del sustrato enriquecido es de 25:1, que se determina a partir de los valores que se presentan en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Porcentaje de carbón y nitrógeno de sustratos animales [8.9]

Sustrato	C %	N %	m (kg)
Bovino	30	1.3	0.4
Porcino	25	1.5	0.4
Equino	40	0.8	0.32

Las Tablas 3 y 4 presentan los parámetros considerados para elaborar el co-sustrato enriquecido con los diferentes sustratos animales. Se presentan los contenidos de nutrientes de cada sustrato y la cantidad de materia orgánica empleada de cada residuo animal para formar la mezcla enriquecida.

Tabla 3. Contenido de nutrientes y bacterias de los distintos sustratos empleados en la co-digestión co-sustrato 1.

Sustrato	C %	N %	m (kg)	Carbohidratos %	Lípidos %	Proteínas %	Bacterias Fermentativas %	Bacterias Hidrolíticas %
Bovino	30	1.3	0.416	8.336	1.253	3.510	21.760	3.301
Porcino	25	1.5	0.370	13.797	4.461	4.247	25.755	4.771
Equino	40	0.8	0.340	10.182	0.785	1.455	17.164	0.582
SUMA			1.12	32.314	6.499	9.212	64.679	8.654
		K	25.82					

Tabla 4. Contenido de nutrientes y bacterias de los distintos sustratos empleados en la co-digestión co-sustrato 2.

 ISSN: 2007 8102

Sustrato	C %	N %	m (kg)	Carbohidratos %	Lípidos %	Proteínas %	Bacterias Fermentativas %	Bacterias Hidrolíticas %
Bovino	30	1.3	.289	6.217	0.934	2.618	16.231	2.462
Porcino	25	1.5	.489	17.391	5.23	5.354	32.465	6.014
Equino	40	0.8	.342	11.961	0.923	1.709	20.163	0.683
SUMA			1.12	35.570	7.48	9.681	68.859	9.159
		K	25.0					

El co-sustrato uno para la co-digestión se formó con la siguiente composición en peso: estiércol de bovino con 37.14%, porcino 33.03% y equino con 30.35% en peso; relación C/N de 25.82, 32.31% de concentración en peso de carbohidratos, 9.22% de proteínas y 8.65% de concentración de lípidos, 64.67% de concentración de bacterias fermentativas y 8.65% de concentración de bacterias hidrolíticas. El co-sustrato dos se formó con la siguiente composición en peso: estiércol de bovino con 25.80%, porcino 46.66% y equino con 30.53% en peso; relación C/N de 25, 35.57% de concentración en peso de carbohidratos, 9.68% de proteínas y 7.48% de concentración de lípidos, 68.85% de concentración de bacterias fermentativas y 9.15% de concentración de bacterias hidrolíticas. Las Tablas 3 y 4 presentan las cantidades de cada sustrato, obtenidas de la solución del conjunto de ecuaciones 1 a 6 para obtener las cantidades del os sustratos de bovino, porcino y equino que satisfagan la relación carbono/nitrógeno cercano a 25. La solución de las ecuaciones arrojó dos soluciones muy cercanas la primera que corresponde a la tabla 3 con C/N de 25.82 y la segunda con C/N de 25 que corresponde a la tabla 4, a los resultados obtenidos se les llamo sustrato uno y sustrato dos respectivamente.

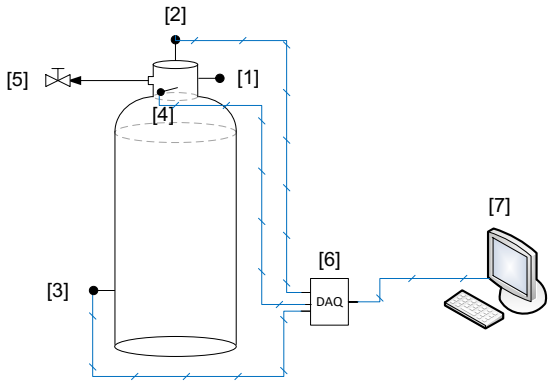
Materiales

El sistema experimental, con los diferentes sistemas auxiliares de medición y control se muestra en la Figura 1. Se usó un biodigestor anaerobio tipo batch de acero con capacidad de 20 litros, instrumentado. Para el control de la temperatura se desarrolló un código en el ambiente de programación Arduino. Se empleó una resistencia eléctrica de calentamiento para mantener la temperatura, en el intervalo de 54 a 56°C. Se instalaron en el biodigestor un sensor de concentración de CH_4, CO_2, tipo MQ compuestos por un sensor electroquímico que varía su resistencia al estar en contacto con las sustancias, sensor de presión de la serie XDB401 de acero inoxidable, con voltaje de alimentación de 0 a 5 volts y sensor de pH 014 con electrodo 201 BNC, con alimentación de 0 a 5 volts. El seguimiento de la digestión fue en tiempo real durante todo el tiempo de retención hidráulico (TRH). El biodigestor se instaló en la cabina con elementos de aislamiento, para reducir pérdidas de calor con el medio ambiente. En la Figura 1, también se muestra el circuito de conexión de la tarjeta adquisidora Arduino y la interconexión de los componentes utilizados para medir y seguir la tendencia de las condiciones de operación en tiempo real.

Desarrollo

La rutina de experimentación se inició con la recolección del estiércol de vacuno, porcino y equino, se pesaron las proporciones requeridas de el sustrato 1 y el sustrato 2 en la balanza digital OHAUS Scout. Los sustratos se prepararán con una disolución 12:1, empleando agua destilada, con la finalidad de que la mezcla estiércol/agua no se solidifique dentro del tanque. Se realizó un pretratamiento térmico, diluyendo la materia orgánica en agua caliente a 70 °C, esto es para eliminar los agentes patógenos. El tanque de digestión se mantiene caliente a 55 °C. Después de mezclar la materia orgánica con el agua, se homogeniza la mezcla con un caframo modelo BDC 6015, durante 15 min a 240 rpm. Posteriormente la mezcla homogénea se vierte al biodigestor, utilizando una bomba de vacío se extrae el excedente de aire que ingresó durante el proceso de vaciado. Se colocan los sensores dentro del biodigestor y se revisa que todas las entradas se encuentren cerradas y no se presenten fugas. Se colocó un calentador eléctrico dentro de la cabina, a su vez el biodigestor se envuelve con una resistencia eléctrica conectada a un controlador de temperatura, posteriormente, se cierra la cabina, se monitorean cada 20 min los parámetros temperatura, pH, presión, CO_2 y CH_4 y se registran durante un periodo de 20 días.

 ISSN: 2007 8102



[1] Manómetro (160 PSI)
[2] Sensor de presión (10bar)
[3] Sensor de pH (sensorex S200CD)
[4] Termopar (tipo K)
[5] Válvula de esfera (1/4'')
[6] Tarjeta de adquisición de datos Arduino.
[7] CPU

Figura 1. Sistema experimental de digestión y sus componentes.

Resultados y discusión

El alto contenido de nitrógeno del estiércol animal constituye un obstáculo para proporcionar la relación C/N óptima necesaria para la digestión anaeróbia. Para abordar este problema, es necesario aumentar el contenido de carbono del estiércol animal antes de proceder a la digestión anaeróbica. Los materiales lignocelulósicos, incluidos los desechos agrícolas, son candidatos potenciales para compensar la deficiencia de carbono del estiércol animal, ya que contienen un alto contenido de carbono pero difícilmente pueden usarse como único sustrato para la digestión anaeróbica.

La co-digestión anaerobia con un sustrato compuesto de excretas de bovino, porcino y equino, con una proporción de excretas/agua de 1:12, en modo termofílico a una temperatura de 55ºC, bajo las condiciones mencionadas el proceso de co-digestión finalizó con un TRH de 15 días; considerando el punto de termino cuando la variación en la presión y el pH, en el tiempo, fueron de 0.1 atm y 1% en el pH, respectivamente. Se alcanzó un estado de estabilidad de la temperatura del sistema. La Figura 2, muestra los perfiles de temperatura de las mezclas 1 y 2, ésta se mantuvo en el intervalo de 54 a 56 °C, que corresponde al proceso de encendido y apagado del controlador, de la resistencia eléctrica; así mismo, durante los quince días de experimentación, cada ciclo de calentamiento fue de 2 horas que evitó que ocurrieran grandes fluctuaciones de temperaturas que pudieran alterar el proceso de co-digestión de la materia orgánica. La mezcla 2, durante la etapa de hidrólisis presentó un aumento en la temperatura de 1.25 ºC que coincide con la finalización de la etapa de hidrólisis, mientras que la mezcla 1, no presentó este incremento de la temperatura.

La variación del pH durante la digestión permite identificar las diferentes etapas involucradas en la digestión anaerobia. En la Figura 3, se muestra la evolución de la digestión anaerobia a través de los cambios definidos del pH para las mezclas 1 y 2. Para ambas mezclas, la etapa de hidrólisis tuvo una duración de 72 horas, el tiempo de esta etapa fue 50% menor, que el tiempo en modo mesofílico, ésta alcanza un valor máximo de pH de 8.8, en un periodo de 24 horas, posteriormente se redujo, debido al crecimiento de la población de bacterias hidrolíticas, el contenido alto de carbohidratos en el sustrato y la temperatura de operación de 55ºC del modo termofílico. Se observó hidrólisis acelerada mediante la adición de la cantidad adecuada de residuos de condiciones termofílicas mostró una mayor tasa de conversión en la hidrólisis y en la acidogénesis.

La etapa acidogénica inició en el tercer día, se identifica por el incremento sostenido del pH durante 48 horas. En la etapa de acidogénesis, que corresponde a la segunda etapa de la digestión anaerobia, se alcanza un valor máximo en el pH de 8.8 para la mezcla 1, mientras que la mezcla 2 presentó un pH máximo de 7.5, debido a la intervención de bacterias fermentativas, que actúan sobre los productos intermedios, fermentando éstos de manera acelerada. Se presenta un incremento en el pH de 1.6 para la mezcla 1 y 0.3 para la mezcla 2. La acidogénesis tuvo una duración de 120 horas, que corresponde a un tiempo 45% menor que el modo mesofílico. La etapa de acetogénesis, se inició a partir del octavo día, alcanzó un valor máximo de pH de 8.6, el pH tuvo un incrementó de 2.5 para la mezcla 1, mientras que, para la mezcla 2 el valor máximo del pH fue 7.2, con un incremento de 1.2 de pH. Provocado por el aumento de la población de bacterias acetogénicas, estas bacterias

 ISSN: 2007 8102

tienen la capacidad de convertir los productos de la acidogénesis en compuestos tales como, acetato, hidrógeno y dióxido de carbono.
La acetogénesis tuvo una duración de 48 horas, el tiempo es también 82% menor que la operación mesofílica. En esta etapa no sólo la temperatura es un factor que aceleró el proceso, también a participación de los sustratos con un contenido balanceado de nutrientes contribuyó en forma importante en acelerar la degradación. En el décimo día, inicio la etapa metanogénica, la mezcla 1, alcanzó un valor máximo de pH de 8.8, durante etapa se incrementó el pH en 1.9; para la mezcla 2, alcanzó un valor máximo de pH de 7.6, durante esta etapa de metanogénesis el pH se incrementó 1.3, estas condiciones se mantuvieron por más de 12 horas, con lo que se establece que los sustratos han alcanzado la estabilidad y con esto finaliza el proceso de degradación. En la Figura 4, se muestra el perfil de presiones generado, debido a la producción de biogás durante el proceso de digestión, en modo termofílico, para la mezcla 1 y la mezcla 2. El incremento de la presión durante las etapas de hidrólisis y acidogénesis es nulo. En la etapa de acidogénesis se inicia la producción de biogás, la mezcla 1 presenta un incremento máximo en la presión de 0.72 atm; la mezcla 2 presenta un incremento máximo en la etapa de 1.0 atm., la presión se mantiene hasta alcanzar la etapa de acetogénesis. En la etapa de acetogénesis se produce un incremento de presión hasta alcanzar 4.1 atm. Para la mezcla 1, que se produce en dos periodos: el primero cuando se alcanza el pH máximo en el día 9 de la digestión, donde incrementa hasta 2.1 atm., posteriormente, se alcanza la presión de 4.1 atm., la mezcla 2 produce un incremento de 2.5 atm, y posteriormente alcanza el máximo de 4.1 atm., de forma similar a la mezcla 1.

Este aumento durante la etapa acetogénica se debe a la producción de acetato que posteriormente, en contacto con las bacterias metanogénicas activan la producción de metano. En la etapa metanogénica, el acetato producido en la acetogénesis y los subproductos se transforman para incrementar la producción de metano y dióxido de carbono, debido a las diferentes rutas metabólicas que siguen en la degradación del sustrato, que permitió alcanzar la presión de 7.3 atm., para la mezcla 1. Mientras que para la mezcla 2 se alcanza la presión de 8.3 atm., y después de 15 días, el biodigestor se encuentra en un estado estable.

Las concentraciones de CH_4, CO_2, alcanzadas en la digestión anaerobia son indicadores de la eficiencia del proceso, las condiciones de operación tales como, temperatura, pH, relación C/N del sustrato, concentración de bacterias hidrolíticas y fermentativas, influyen en forma determinante de la concentración de metano que se puede obtener en la digestión.

La Fig. 5 muestra los perfiles de producción de CH_4 para las mezclas 1 y 2. Durante los primeros días la concentración de metano fue despreciable para ambas muestras, estableciendo que durante las etapas de hidrólisis y acidogénesis no hay una producción de biogás. Ésta se alcanza hasta el séptimo día donde se detectan trazas de CH_4. Durante la etapa acetogénesis, sólo incrementó 1327 PPM, las mezclas 1 y 2 incrementó a 1700 PPM a partir de este punto. La tendencia de producción de metano es exponencial para ambas mezclas. Una vez alcanzada la etapa de metanogénesis se incrementa la concentración de metano en 7402 PPM, para la mezcla 1, y para la mezcla 2, la concentración de metano es de 7800 PPM.
La máxima concentración de CH_4 en la etapa metanogénica para la mezcla 1 fue de 8730 PPM, y para la mezcla 2 la concentración alcanzó 10,000 PPM. En la etapa de metanogénesis, la mezcla 1 mantuvo el pH en el intervalo de 8 a 8.5; mientras que la mezcla 2 el pH se mantuvo en el intervalo de 7 a 7.5. De acuerdo con la literatura, el pH óptimo para la etapa de metanogénesis es 7, pero existen casos particulares donde la producción de metano no se inhibe hasta valores de pH de 8.4. Con base a lo anterior, la mezcla 2 presentó valores de pH cercanos al óptimo, mientras que, la mezcla 1 presentó valores de pH de los casos particulares que reporta la literatura con producción de metano sin inhibición, pero comparado con la mezcla 2, la producción es 20% menor, debido a la diferente composición del co-sustrato.
La mezcla de residuos aumentó hasta un 50 %, la producción de metano en modo mesofílico y termofílico. La aplicación de cosustrato mejora significativamente las características del alimento, que resulta en un mayor potencial de metano. Datos reportados de varios sistemas confirman un mayor rendimiento final de metano a partir de un cosustrato,
los rendimientos de metano de la digestión termófila fueron mayores en 19 a 29 % que los obtenidos en modo mesofílico.
Ahn y Forster (2000) informaron que la digestión termófila, intrínsecamente, tendría una mayor capacidad degradante y actividad metanogénica.
Además, la mayoría de los estudios de co-digestión termófila coincidieron en que la condición termofílica era un sistema de fermentación más equilibrado en la producción de biogás Griffin (1997), Del Borghi (1999).

 ISSN: 2007 8102

En un estudio realizado por Wang (2012). Se investigó la codigestión de estiércol de ganado vacuno y de pollo y paja de trigo reportan que la codigestión mejoró el rendimiento del proceso. Creían que el efecto sinérgico de estos materiales era responsable de la mejora de la digestión anaeróbica.

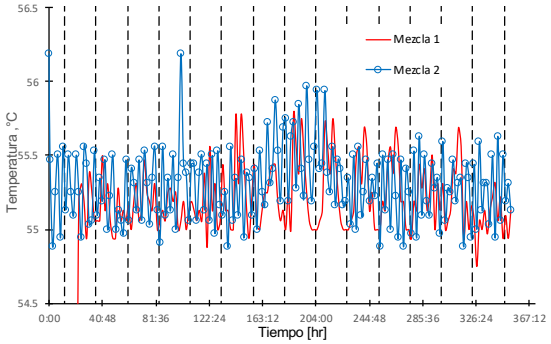


Figura 2 Perfil de temperatura en el biodigestor para las mezclas 1 y 2 durante el tiempo de retención hidraúlico.

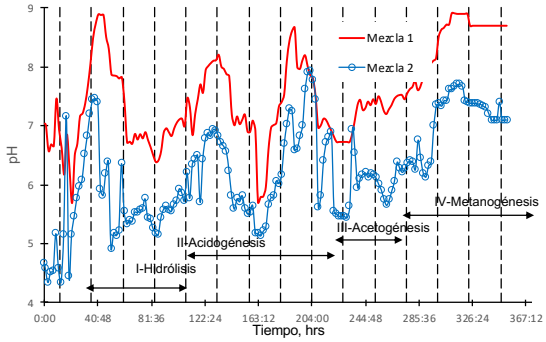


Figura 3 Evolución de la digestión anaerobia en función del pH durante el tiempo de retención hdráulico para las mezclas 1 y 2

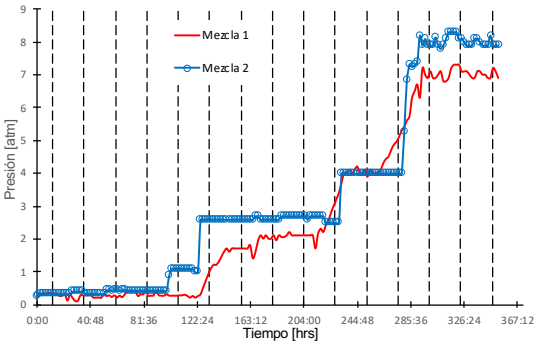


Figura 4 Perfil de presión para las mezclas 1 y 2 durante el tiempo de retención hidráulico.

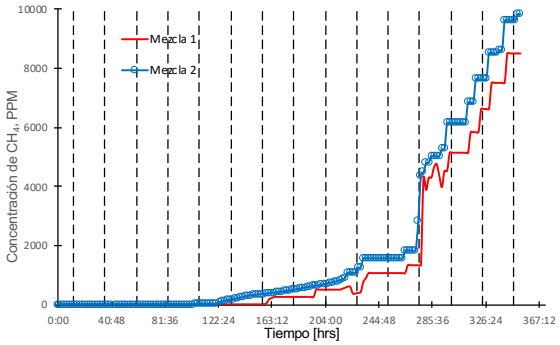


Figura 5 Perfil de concentración de CH_4 para las mezclas 1 y 2 durante el tiempo de retención hidráulico.

La Figura 6 muestra los perfiles de concentración del CO_2 para las mezclas 1 y 2. Se observa que hasta el septimo día, en la etapa de acidogénesis, inicia la producción de CO_2 para ambas mezclas. Durante la etapa de acidogénesis la mezcla 1 alcanza 100 PPM y la mezcla 2 alcanza 150 PPM. Pero en la etapa de metanogenesis ambas mezclas incrementan su concentración a valores máximos de 230 y 275 PPM, respectivamente.

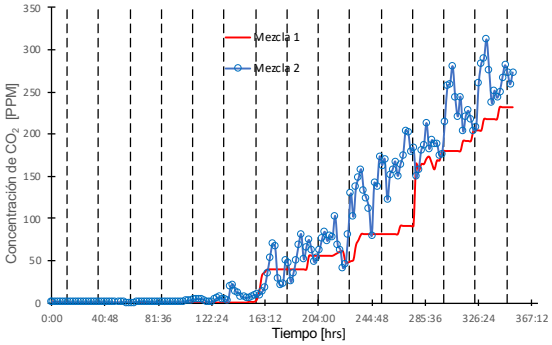


Figura 6 Perfil de concentración de CO_2 para las mezclas 1 y 2 durante el tiempo de retención hidráulico.

 ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

Se planea continuar estudiando el efecto de la carga orgánica en el sustrato, de tal forma que se alcancen las condiciones para maximizar la producción de biogás. También, se va a explorar el efecto de la relación nitrógeno/fósforo para enriquecer el co-sustrato, buscando mejorar los rendimientos hacia biogás en la digestión anaerobia.

Conclusiones

El co-sustrato 2 resultó ser la mejor mezcla, ya que, la composición en peso fue de estiércol de bovino con 25.80%, porcino 46.66% y equino con 30.53%, relación C/N de 25, 35.57% de concentración de carbohidratos, 9.68% de proteínas y 7.48% de concentración de lípidos, 68.85% de concentración de bacterias fermentativas y 9.15% de concentración de bacterias hidrolíticas, el rendimiento de producción a biogás es 20% mayor que el co-sustrato uno.

El aumento en 4% de bacterias fermentativas y 0.5% de bacterias hidrolíticas, así como la reducción de lípidos en 1.17% y la relación C/N de 25 mantuvieron el pH en la etapa de metanogénesis muy cercano del pH óptimo de 7, bajo estas condiciones ideales para la producción de biogás se logró triplicar la producción con respecto a la digestión en modo mesofílico a temperatura ambiente.

El residuo de porcino compensó ampliamente la desventaja de elevar la concentración de lípidos de la mezcla contribuyendo con un mayor porcentaje de proteínas, carbohidratos y bacterias hidrolíticas y fermentativas.
La digestión anaerobia en modo termofílico se estableció con un tiempo de retención hidráulico de 15 días, la digestión bajo este régimen no presentó inestabilidades en el sistema, cada etapa de la digestión se presentó de forma muy definida, a diferencia de como ocurre en la digestión de la mezcla 1, donde se presentan variaciones grandes en el pH. La concentración de oxígeno disuelto en el sustrato no fue un factor en la digestión anaeróbica, por efecto de la temperatura, fue menor a 5 PPM. En la etapa de metanogénesis el pH alcanzó a un punto de equilibrio de 7.5 para la mezcla 1.
El rango óptimo para la producción de biogás se estableció en el intervalo del pH de 7 a 7.5. La producción máxima de biogás ocurrió en los días 12 a 14 del TRH. La etapa hidrolítica se alcanzó en un periodo de 24 horas. La etapa acidogénica se inició a las 72 horas. La etapa metanogénica se alcanzó en 11 días.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) pues gracias a su financiamiento este proyecto ha podido realizarse, A la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa y específicamente al Posgrado de Energía y Medio Ambiente quienes me acogieron y son parte importante de mi formación y muy especialmente al M.en I.Q Alejandro Torres Aldaco y el Dr. Raúl Lugo Leyte.

Referencias

[1] X.Flotast. (2010) “Biogás Biogás y gestión de deycciones ganaderas”, SUIS/IVIS (72) pp. 22-29, 2010
[2] L.Lopez-Gonzalez. “Codigestión anaerobia del residuo del secado del arroz y excreta porcina en sistema discontinuo”*RTQ*, Vol.39, no.2, pp.286-300, 2019.
[3] M. Lopes, P. Baptista, E Duarte, Moreira ALN. (2019) “Enhanced biogas production from anaerobic co-digestion of pig slurry and horse manure with mechanical pre-treatment”. Environ Technol.;Vol 40, no. 10, pp. 1289-1297., doi: 10.1080/09593330.2017.1420698.
[4] L.Bernal, L. Suárez. (2018) “Diseño conceptual de un biodigestor partiendo de estiércol vacuno y avícola, producido en la finca el garumal, para la obtención de biogás”. Fundación Universidad América, Colombia
[5] R.Parra. (2015) “Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria”., Rev. P+L Vol.10 no.2, Caldas.

[6] JA. Lara-Duran, M. Silva-Vega, R. Bañuelos-Valenzuela, L. Delgadillo-Ruiz, O. Delgadillo-Ruiz. (2019) Incidencia de Escherichia coli O157:H7 en heces de rumiantes lactantes con síndrome diarreico. Rev MVZ España. , Vol. 24, n.3, pp.7339-7345. DOI: https://doi.org/10.21897/rmvz.1232
[7] M. Roca Canudas. (2008) Estudio del ecosistema bacteriano del tracto digestivo del cerdo mediante técnicas moleculares. Tesis Doctoral, Facultad de Veterinària, Universidad Autónoma de Barcelona..
[8] INTA. (2014) Curso: Nutrición Animal. Aplicada. En Grupo de Nutrición Animal INTA. EEA Argentina.
[9] M.V. Mercedes Piñaneli. (2018) Avances en el manejo de la nutrición equina., BAGUNAC S.A., Argentina.
[10] FAO. (2019) Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores.
[11] Lasdon Leon S., Warren Allan D. (1981) GRG2: an all-FORTRAN general purpose nonlinear optimizer.,ACM SIGMAP Bulletin Issue 30 pp 10 -11.U.S.A., https://doi.org/10.1145/1111268.1111270
[12] Ahn, J.H. & Forster C.F. (2000) A comparison of mesophilic and thermophilic anaerobic up flow filters. Bioresource technol. 73, pp. 201-205.
[13] Del Borghi, A., Converti, A., Palazzi, E. &Del Bhorghi, M. (1999) Hydrolysis and thermophilic anaerobic digestion od sewage sludge and organic fraction of municipal solid waste. Bioprocess Eng. 20, pp. 553-560.
[14] Griffin, M.E., McMahon, K.D., Mackie, R.I. & Raskin, L. (1998) Methanogenic population dynamics during start-up of anaerobic digesters treating municipal solid waste and sewage sludge. Biotechnol. Bioeng. 57(3), pp. 342–35.
[15] X. Wang,G. Yang, Y. Feng,G.Ren, X. Han (2012) Optimizing feeding composition and carbon–nitrogen ratios for improved methane yield during anaerobic co-digestion of dairy, chicken manure and wheat straw Bioresour Technol,120), pp.78-83.

 ISSN: 2007 8102

Evaluación de la vida útil de un té variando las condiciones de almacenamiento.

Mónica Rivera Rivera [1*], *Martha Patricia Valencia Pérez [1], Marco Antonio Godínez Ruiz[1], Rebeca Gloria Tejeda [1,]Araceli Pérez Silva[1]*

[1] Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Tecnológico Nacional México. Calzada Dr. Víctor Bravo Ahuja No. 561. Col. Predio el Paraíso. C.P. 68350. Tuxtepec, Oaxaca, México*

**monica_ri_ri@hotmail.com*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

Como un complemento al tratamiento de diabetes, en el presente trabajo se evaluó la vida útil de un té a base de nopal y zacate limón, en una proporción 70:30 respectivamente, utilizando dos tipos de empaque: celofan y polietileno; para ello se realizó una evaluación sensorial en diferentes periodos de tiempo 0, 30, 60 y 90 dias, evaluando los atributos de olor, color, sabor y nivel de agrado, mostrando mayor preferencia de color en el empaque de celofán, en tanto que el olor y sabor fueron similares para ambos empaques. El nivel de agrado del té en ambos empaques fue el mismo durante toda la prueba. Los valores de humedad, cenizas, proteínas y fibra cruda al final de la prueba fueron 9.82±0.08, 9.68±0.08, 7.28±0.28 y 7.55±0.48 para el empaque de celofán y para el de polietileno los resultados fueron 10.96±0.01, 10.09±0.08, 6.40±0.28 y 8.62±0.28 respectivamente.

***Palabras clave**: Diabetes,Vida Util, Nopal, Zacate Limón*

Abstract

As a complement to the treatment of diabetes, in the present work the useful life of a nopal and lemon grass-based tea was evaluated, in a 70:30 ratio respectively, using two types of packaging: cellophane and polyethylene; For this, a sensory evaluation was carried out in different periods of time 0, 30, 60 and 90 days, evaluating the attributes of smell, color, flavor and level of liking, showing a greater preference for color in the cellophane packaging, while the smell and taste were similar for both packages. The taste level of the tea in both packs was the same throughout the test. The values of humidity, ashes, proteins and crude fiber at the end of the test were 9.82+0.08, 9.68±0.08, 7.28±0.28 and 7.55±0.48 for the cellophane packaging and for the polyethylene the results were 10.96+0.01, 10.09 ±0.08, 6.40±0.28 and 8.62±0.28 respectively.

***Key words**: Diabetes, Shelf Life, Nopal, Lemongrass*

Introducción

La Diabetes es una enfermedad que afecta a más de 200 millones de personas en el mundo, se estima que para el año 2030 aproximadamente 320 millones padecerán diabetes [1], prevaleciendo un 10.9 % a nivel nacional [2]. La Diabetes es causada por la deficiencia relativa o absoluta de insulina, no es curable solo es controlable, por lo que el paciente diabético requiere cambiar sus hábitos alimenticios, hacer ejercicio y mantener un peso adecuado [3].

Para el tratamiento de la diabetes por lo lo general se utiliza medicina de patente, sin embargo exite medicina alternativa. La medicina herbolaria comprende desde un té elaborado de plantas medicinales hasta productos que tienen que ser aprobados por Instituciones reguladoras de salud [4]. México tiene una gran variedad de plantas medicinales, entre ellas se encuentra el nopal el cual por sus propiedades hipoglucemiantes ayuda en el control de la glucosa en la sangre, beneficiando en el tratamiendo de la diabetes.[5]

ISSN: 2007 8102

El nopal es una cactacea, se caracteriza por ser una planta carnosa engrosada y espinosa [6]. Se localiza generalmente en climas aridos o semiaridos a lo largo de toda America. Actualmente se encuentra en una gran variedad de condiciones agroclimaticas ya sea en forma silvestre o cultivada, por tal motivo se ha difundido a todo el mundo [7]. En 2022 la producción de nopal en México fue 872.3 miles de toneladas [8].

Para mejorar la caracteristicas sensoriales de un té a base de nopal se pueden incorporar otros ingredientes como el zacate limón, el cual es una hieba perenne que pertenece a la familia poaceaes, que crece en climas tropicales y subtropicales. Posee un agradable aroma a limón y propiedades terapeuticas como ansiolítico, antiespsmódico,neumonía, problemas gaastrointestinales. Por su elevado contenido de compuestos fenolicos es un antioxidante [9].

Las infusiones como el café, el té, entre otros pierden aroma y sabor durante su almacenamiento si no son consevados en las condiciones adecuadas. Debido a esto hay que cuidar el material de empaque que se utiliza. El empaque seleccionado debe de cumplir con los estandares de calidad y aumentar la vida util del producto. El celofán es un polimero derivado de la celulosa. Es una pelicula fina, tranparente flexible y no toxica, gracias a su semipermeabilidad, es usado como membrana de diálisis. Su permeabilidad a la humedad hace que el celofán sea el producto perfecto para permitir que los productos respiren mientras se almacenan. El celofán actualmente se ha sustituido por el polipropileno esto debido a los costos de fabricación. El polietileno es un polímero sintético termoplastico que se obtiene por polimerización del etileno [10].

El interés de este trabajo fue evaluar el comportamiento de dos materiales de empaque diferentes (celofan y polietileno) en la conservacion de un té a base nopal y zacate limón.

Metodología

Obtención del té a base de nopal y zacate limón

Se selecciono el cladodio del nopal con un grado de maduración medio y las hojas del zacate limón para mejorar el aroma y sabor del producto. Se eliminaron las impurezas presentes y se desinfectaron por inmersión en una solución de hipoclorito de sodio (NaOCl) equivalente a 15 ppm de cloro. El nopal se introdujo en un secador por convección marca Yamato a 60°C por 2 horas, para evitar perdida de líquido durante su segmentado. Posteriormente los vegetales seleccionados se cortaron con un juego de cuchillas con una separación de 0.7cm. Los vegetales picados se introdujeron por separado a un secador por convección a 60°C hasta que la humedad fuera del 8%. Se combinaron los productos secos de acuerdo a una proporción 90:10. Posteriormente se envasaron porciones de 5 g en bolsas impermeables a la humedad. El té elaborado a base de nopal y zacate limón fue empaquetado en bolsas de polietileno y celofán, para realizar los diferentes análisis al tiempo 0,30,60 y 90 días.

Determinación del químico proximal

La composición química proximal del té a base de nopal y zacate limón se determinó por triplicado de acuerdo a los métodos de la AOAC [2005]: humedad (925.10), cenizas (923.03), grasas (920.39) y proteínas (920.87). El contenido de fibra cruda se determinó por digestión ácido-alcalina (925.08) [11].

Prueba de aceptación

El té obtenido a base de nopal y zacate limón empaquetado en bolsas de polietileno y celofán sé evaluó sensorialmente, considerando los atributos de color, sabor, aroma y la aceptabilidad general a los 0, 30, 60 y 90 días aplicando una prueba de aceptación de escala hedónica con diez puntos, a panelistas no entrenados. La prueba se realizó en la ciudad de Tuxtepec, Oaxaca.

Análisis estadístico

Para analizar los resultados se consideró el promedio de tres determinaciones con su desviación estándar, mediante un análisis de ANOVA y se determinaron las diferencias entre las medias mediante una prueba de diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de confianza del 95%.

ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos al inicio y al final de la prueba de químico proximal utilizando los dos tipos empaque: celofán y polietileno se muestran a continuación:

Tabla 1. Resultados del químico proximal al t = 0

MUESTRA	HUMEDAD %	CENIZAS %	PROTEINAS %	FIBRA CRUDA %
Bolsa de Celofán	7.55 ± 0.04^{a}	11.25 ± 0.05^{a}	8.12 ± 1.08^{a}	9.64 ± 0.22^{a}
Bolsa de Poliet	8.74 ± 0.85^{a}	$11{,}49\pm0.18^{a}$	7.91 ± 0.06^{a}	10.15 ± 1.33^{a}

Nota: letras diferentes en columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$)

Tabla 2. Resultados del químico proximal al t= 90 días

MUESTRA	HUMEDAD %	CENIZAS %	PROTEINAS %	FIBRA CRUDA %
Bolsa de Celofán	9.82 ± 0.08^{a}	9.68 ± 0.08^{a}	7.28 ± 0.28^{a}	7.55 ± 0.48^{a}
Bolsa de Polietileno	10.96 ± 0.01^{b}	10.09 ± 0.08^{b}	6.40 ± 0.28^{b}	8.62 ± 0.28^{b}

Nota: letras diferentes en columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$)

Analizando la tabla 1 y 2 se puede observar que los valores de humedad en ambos empaques durante el periodo de prueba aunque se incrementaron, dicho incremento no es tan alto que pueda afectar la calidad del producto.

En la literatura no se encuentran resultados del análisis químico proximal para mezclas de nopal y zacate limón como es este caso, sin embargo se puede observar que los resultados obtenidos de proteinas en el empaque de celofán fue de 7.28 ± 0.28 y para el empaque de polietileno fue de 6.40 ± 0.28 , en tanto que el contenido de cenizas fue de 9.68 ± 0.08 para celofan y 10.09 ± 0.08 para polietileno al termino de la evaluación, son semejantes a los reportados por González et al., 2020 [12], el cual realizó un estudio sobre el valor bromatológico y contenido de mucilago en el nopal de invernadero indicando valores de 9.09% de proteinas y 9.40% de cenizas. Otro estudio realizado por Gúzman et al., 2014 [13], indica que la composición química proximal del nopal amarillo para consumo humano varia de acuerdo a la edad que tiene la muestra de nopal, específicamente para proteinas y cenizas entre más joven es el nopal los valores son mas altos. En cuanto al contenido de fibra el autor demuestra que conforme va madurando el cladodio va aumentando su contenido en fibra, esto debido a que en la parte interna del cladiodo se forma una red densa de celulosa.

La evaluación sensorial se realizó a 100 panelistas no entrenados, haciendo uso de una prueba hedónica de 10 puntos donde 0 indica el valor mas bajo y 10 el valor más alto.

Prueba Sensorial (polietileno)
Al analizar los resultados en la Figura 1, se observa que el atributo de olor evaluado en el té a los 90 días, el 30% de la población pudo percibir el aroma con una valoración de 8, indicando que se esté atributo se conservó a lo largo de toda la prueba.

ISSN: 2007 8102

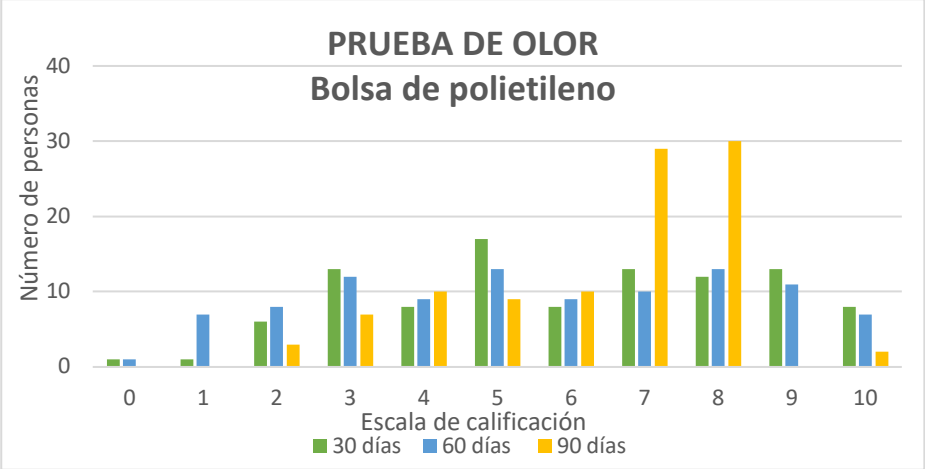


Figura 1. Comparación de la prueba de olor del té en bolsa de polietileno en los diferentes períodos de tiempo

En la Figura 2. se puede observar que el atributo de color evaluado al té al final de la prueba, el 85 % de la población percibió el color del té con puntuaciones entre 5 y 9.

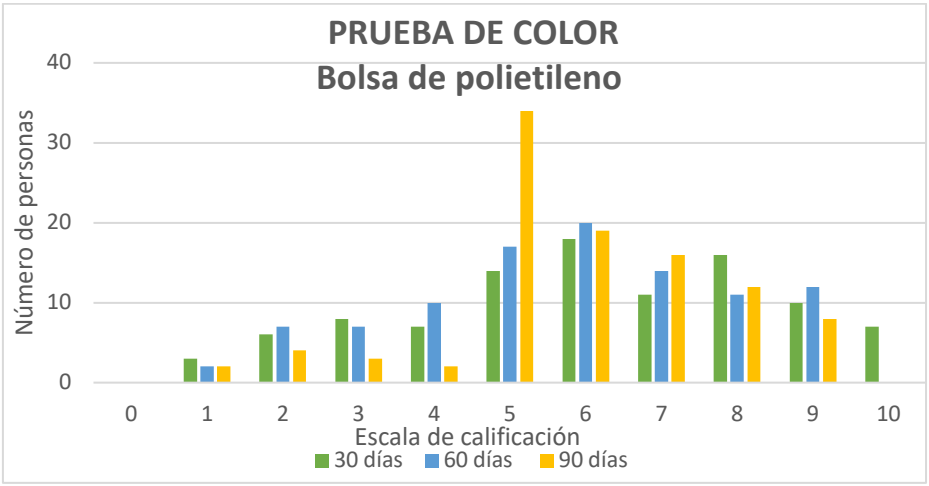


Figura 2. Comparación de la prueba de color del té en bolsa de polietileno en los diferentes períodos de tiempo

En la Figura 3 en el periodo que corresponde a los 90 días el 34% de panelistas que realizaron la evaluación otorgaron valores de 6 al atributo de sabor, valor que esta por arriba del valor medio.

 ISSN: 2007 8102

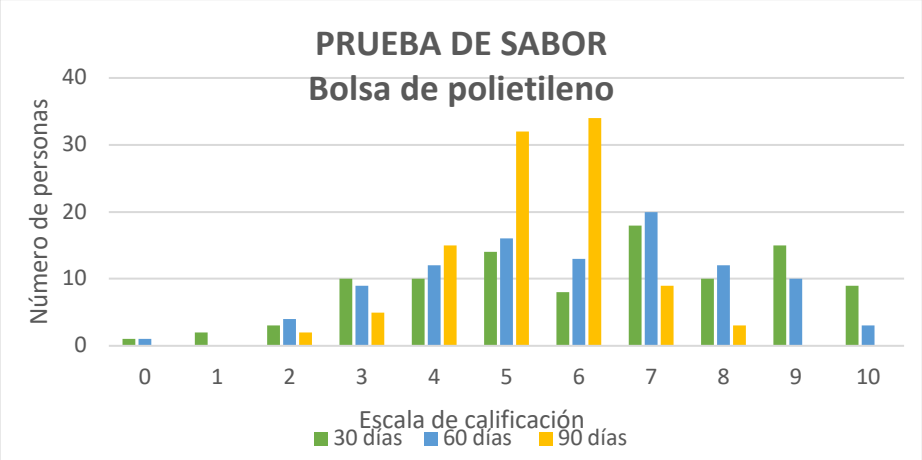


Figura 3. Comparación de la prueba de sabor del té en bolsa de polietileno en los diferentes períodos de tiempo

Prueba sensorial (celofán)

En la Figura 4 se puede observar que el atributo de olor realizado al té empaquetado en bolsas de celofán, el 30% de la poblacion encuestada otorgo valores de 8 indicando que el olor se pudo percibir al final de la prueba sensorial.

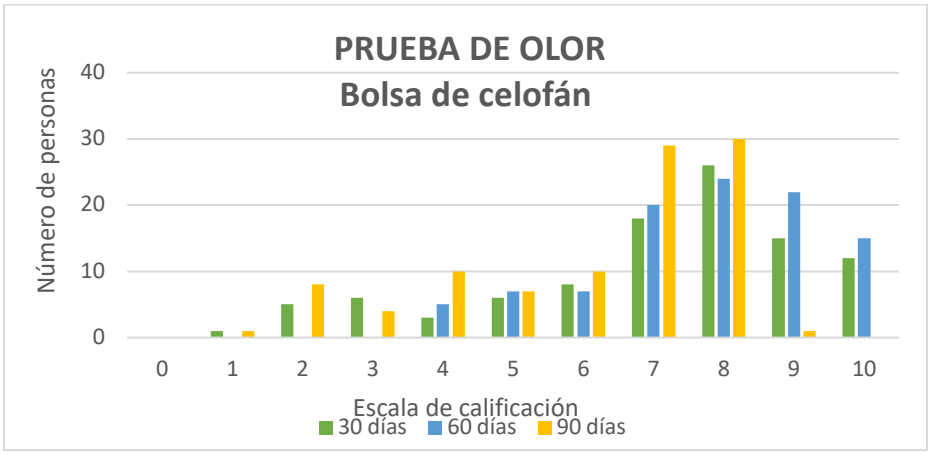


Figura 4. Comparación de la prueba de olor del té en bolsa de celofán en los diferentes períodos de tiempo

En la Figura 5, se aprecia que a los 30 y 60 días el 21% de las personas encuestadas evaluaron con un valor de 8 el sabor del té y a los 90 días el 36% de las personas valoró el té con 6, indicando así una disminución en la evaluación de este atributo, pero un incremento en el número de personas que lograron percibir el color hasta el final del periodo de prueba

 ISSN: 2007 8102

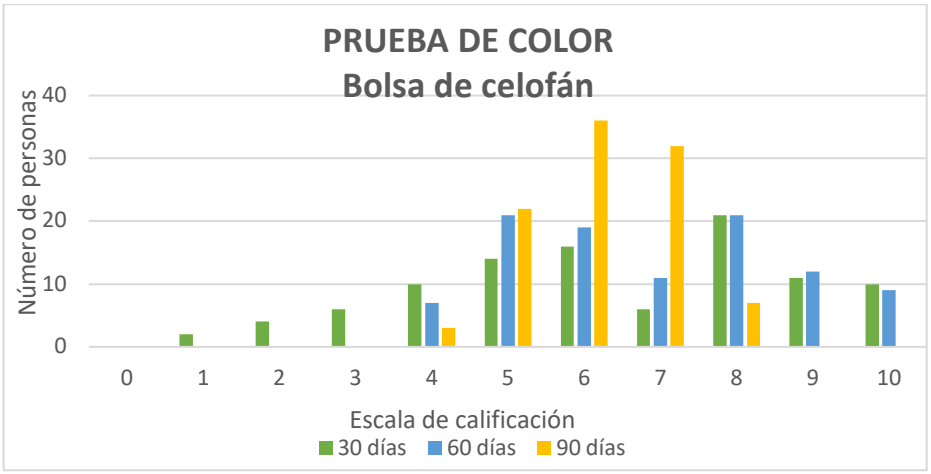


Figura 5. Comparación de la prueba de color del té en bolsa de celofán en los diferentes períodos de tiempo

En la Figura 6, se aprecia que en los 30 días el 22% de las personas encuestadas valoraron con 7 el sabor del té, mientras que, a los dos meses el 23% tuvo una aceptación favorable con valores de 8. Al final, es decir a los 90 días el 26% de las personas valoró el té con 6, indicando así una disminución en la percepción del sabor de dicho producto.

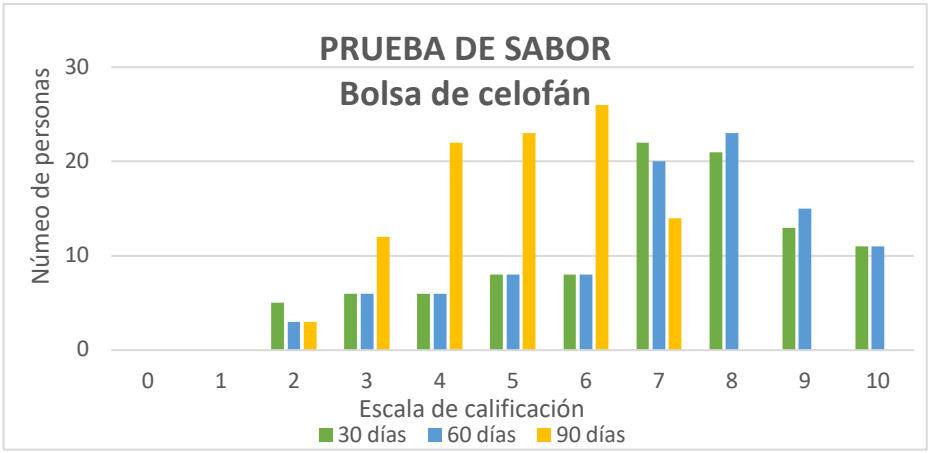


Figura 6. Comparación de la prueba de sabor del té en bolsa de celofán en los diferentes períodos de tiempo

En la Figura 7, se muestra el nivel de agrado comparando los dos tipos de empaque utilizados en la evaluación sensorial: polietileno y celofán. Se puede observar que, tanto a los 30 días como a los 60 días, los panelistas prefirieron la bolsa de celofán, mientras que a los 90 días no hubo ninguna preferencia significativa por el té empaquetado en bolsa de celofán o bolsa de polietileno ya que el resultado fue exactamente el mismo.

 ISSN: 2007 8102

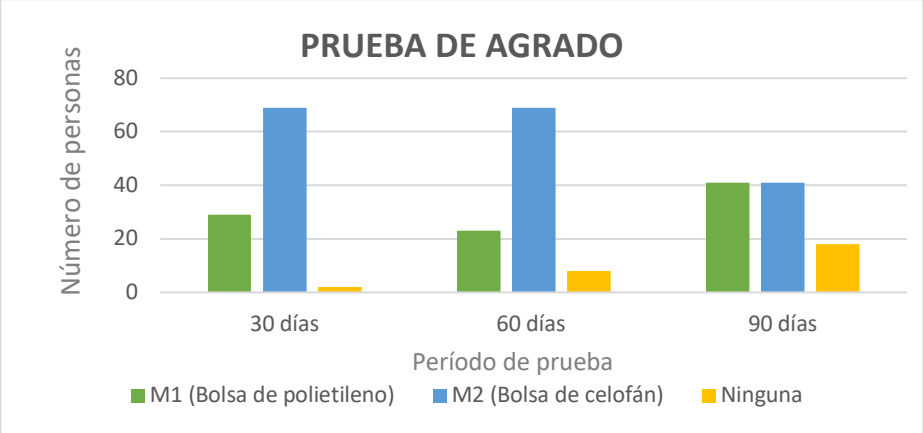


Figura 7. Comparación del agrado de la muestra en los diferentes períodos de tiempo

Comparando los resultados obtenidos en las evaluaciones realizadas a los atributos de color, sabor y olor utilizando los empaques de celofán y polietileno y considerando el porcentaje más alto de personas que evaluaron los atributos, se observa que al final de la prueba tanto en el empaque de celofán como de polietileno el atributo de olor alcanzó una valoración de 8 puntos. En el caso del atributo de color con respecto al empaque de polietileno el valor obtenido fue de un punto abajo con respecto al empaque de celofán que fue de 6 puntos. Finalmente, en el caso del atributo que corresponde al sabor los valores máximos obtenidos a los 90 días tanto para el empaque de celofán como de polietileno alcanzaron valores de 6 puntos como máximo. Con lo anterior se puede verificar que la preferencia que predomino fue el empaque de celofán esto debido a que los valores obtenidos le dieron la preferencia, aunque fue mínima y solo en el atributo de color.

Trabajo futuro

Realizar un plan de negocio para comercializar el té de nopal y zacate limón.

Conclusiones

En los resultados obtenidos mediante un análisis de varianza con niveles de significancia de ($p < 0.05$) a los valores obtenidos en el análisis químico proximal, mostrarón que existe una diferencia significativa en el material de empaque utilizado durante el almaceniento del té. Los valores de humedad en los dos empaques evaluados aumentaron ligeramente al final de la evaluación sin poner en riesgo la conservación del té.

Aunque los datos obtenidos de ceniza, proteina y fibra cruda muestran diferencias significativas entre un empaque y el otro a los 90 días de prueba, los valores obtenidos de la prueba sensorial con respecto al olor y sabor del té elaborado a base nopal y zacate limón al final de la evaluación en ambos empaques (celofan y polietileno) fueron similares. A diferencia del atributo de color donde fue mejor calificado el empaque de celofan que el de polietileno. El nivel de agrado que manifestaron los panelistas se mantuvo hasta el final de la prueba en los dos tipos de empaque utilizados.

Agradecimientos

Reconocimiento a la Organización Fruticultora de Cotzocón de María Lombardo de Caso, Oaxaca por el apoyo brindado para la realización de esta investigación, así como al Tecnológico Nacional de México (TecNM) y al Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Oaxaca (I.T.Tuxtepec) por el apoyo económico y las facilidades prestadas en la realización de este proyecto.

Referencias

 ISSN: 2007 8102

[1] M. Hernández-Ávila, J.P Gutiérrez, N. Reynoso-Noverón. Diabetes mellitus en México. El estado de la epidemia. Salud Publica Mex;55 supl 2:S129-S136. 2013.

[2] A.C. Hernández Romieu, A. Elnecavé Olaiz , N. Huerta Uribe , N. Reynoso Noverón. Análisis de la encuesta poblacional para determinar los factores asociados al control de la Diabetes Mellitus en México. Salud Pública Méx; 53:34-39. 2011.

[3]. G. C Fuentevilla, M., & Ríos, R. Tinoco Ojanguren Diabetes Mellitus II: autoatención y experiencias del padecimiento, San Cristóbal, Chiapas.Tesis Doctoral dissertation, El Colegio de la Frontera Sur. 2011.

[4] E. R.Carrillo. C. Bolivar-Lara. J. M. Ruíz-Morales. Hierbas, medicina herbolaria y su impacto en la práctica clínica. Médica Sur, *17*(3), 124-130. 2010.

[5]. R. L. Torres-Ponce, D.Morales-Corral, M. D. L. Ballinas-Casarrubias & G. V. Nevárez-Moorillón Nopal: semi-desert plant with applications in pharmaceuticals, food and animal nutrition. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *6*(5), 1129-1142. 2015.

[6] J. L. López .Use of Opuntia Cactus as a Hypoglycemic Agent in Managing Type 2 Diabetes Mellitus Among Mexican Patients. Nutrition Bytes. Vol. 12. No.1. 2007.
https://escholarship.org/uc/item/555845bf

[7]. M. D. C. Loyo Godoy. "Evaluación de los efectos del uso del mucílago de nopal opuntia ficus-indica y la temperatura en la clarificación de jugo de caña sobre el color de la panela,".Tesis. Universidad Técnica del Norte. Ecuador . 2018. [Online]. Disponible en: http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8018.

[8] SIAP(Servicio de información agroalimentaria y pesquera, Gobierno de México.2022.

[9] V. Roque-Martinez, M.E. Alonso Palacios, I.E.Champion Mrtinez, D. Hernandez Ramos, G. Zarate Castillo Viabilidad del uso de zacate limón (Cymbopogon citratus)en la elaboración de alimentos funcionales.Universidad Tecnológica de Tecamachalco).2018.

[10] J. DaLuz Castro. Análisis de los requerimientos y caracteristicas de materiales polimericos de empaque en el sector de la insudtria de alimentosen Costa Rica.Tesis .Universidad de Costa Rica.2015.

[11] AOAC.Official Methods of Analysis of AOAC. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gathersburg, MD, USA. 2005.

[12] F. González Rodríguez , et al Determinación del valor bromatológico y contenido de cladiodo de mucilago en el nopal (Opuntia spp.) de cerro y de invernadero, del estado de Michoacán. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol.5:184-188. 2020.

[13] D. Guzmán Loayza, J. Chavez. Estudio bromatologico de Cladiodo de nopal (Opuntia ficus indica) para el consumo humano. Rev. Sociedad Química del Perú. Vol. 73:41-45. 2007.

 ISSN: 2007 8102

GENERACIÓN DE ENTROPÍA DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO NATURAL

María Fernanda García-López[a], Eduardo González Peto[a], Sergio Castro Hernández[a], Helen Denise Lugo Méndez [b], Raúl Lugo Leyte[a]*

[a] Área de Ingeniería en Recursos Energéticos, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco No. 186, Colonia Leyes de Reforma 1ª Sección, Iztapalapa, 09310, Ciudad de México, México.
cbi2223804253@xanum.uam.mx
[b] Departamento de Procesos y Tecnología, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa, Av. Vasco de Quiroga 4871, Santa Fé, Cuajimalpa, 05348, Cuidad de México, México.

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

En este trabajo se realiza un análisis de Segunda Ley de la Termodinámica para determinar la generación de entropía debido al proceso de intercambio de calor entre la corriente de agua y aire atmosférico. Se comienza determinando las propiedades termodinámicas de presión y temperatura del aire seco, vapor de agua, la mezcla y el agua. Para este caso de estudio el aire entra a 25°C, con una humedad relativa de 24.63% y una producción de entropía de 0.02127 kW/K. De los resultados obtenidos se determinó, para una humedad relativa del 58%, una generación de entropía igual a cero debido al aumento de la temperatura de bulbo húmedo.

***Palabras clave**: Torre de enfriamiento, humedad relativa, temperatura ambiente, generación de entropía.*

Abstract

In this work, an analysis of the Second Law of Thermodynamics is carried out to determine the entropy generation due to the heat exchange process between the water current and atmospheric air. We begin by determining the thermodynamic properties of pressure and temperature of dry air, steam, the mixture, and water. For this case study, the air enters at 25°C, with a relative humidity of 24.63% and an entropy production of 0.02127 kW/K. From the results obtained, for a relative humidity of 58%, an entropy generation equal to zero was determined due to the increase in the wet bulb temperature.

***Key words**: Cooling tower, relative humidity, ambient temperature, entropy generation.*

Introducción

En los últimos años, el planeta ha experimentado un deterioro ambiental en el cual las condiciones climáticas se han modificado, teniendo cada año niveles más altos en la temperatura global, lo que ha provocado que el clima, los ecosistemas y la población en general sufra las consecuencias negativas [1]. Con el fin de minimizar los cambios nocivos en la temperatura, se han realizado diversas acciones en diferentes sectores para disminuir las emisiones al medio ambiente. De 1978 a 2018 las emisiones mundiales de CO_2 relacionadas con la generación de energía eléctrica aumentaron un 87%, ya que las principales fuentes de energía primaria estaban cubiertas por carbón, petróleo y gas [2]. Una de las estrategias empleadas para lograr un equilibrio entre la generación de energía eléctrica y el medio ambiente, es emplear equipos que disipen el calor a menor temperatura, como es el caso de la torre de enfriamiento. Las torres de enfriamiento son equipos que se utilizan en las centrales eléctricas para eliminar el calor; una ventaja de estos equipos es que no consumen energía; sin embargo, el enfriamiento de estos equipos se ve afectada por la temperatura ambiente, es decir, cuanto más alta sea la temperatura ambiente, menor será el flujo de transferencia de calor a la atmósfera. Por ello, las torres de enfriamiento de tiro natural están sobredimensionadas para satisfacer la carga de enfriamiento deseada en todo momento [3].

Las torres de enfriamiento o columna de refrigeración son equipos que enfrían el agua de proceso que ha pasado de una caldera hacia una turbina y posteriormente a un condensador, dejando claro que las torres de enfriamiento

 ISSN: 2007 8102

no condensan, este sistema trabaja mediante la transferencia de calor entre el aire y el agua de manera directa; es decir, mezclándose para poder disminuir la temperatura del agua de proceso y volver a utilizarla [4]. Debido a la importancia que tiene la torre de enfriamiento, en este trabajo se hace realiza un análisis de Segunda Ley de la Termodinámica para calcular la entropía generada debido al proceso de intercambio de calor entre el flujo de agua y aire. Se parte del análisis energético para determinar las propiedades del aire atmosférico y el agua de entrada y salida como tales como la presión, la temperatura, el volumen específico y la entalpía. Dentro de este análisis se determinar la temperatura del punto de rocío, la humedad específica, la temperatura de bulbo húmedo y la presión del vapor. Posteriormente se determinaron los parámetros de desempeño tales como el flujo másico del aire y el agua, la carga térmica, la eficiencia térmica de la torre de enfriamiento y su altura. Finalmente, con las propiedad mencionadas, se realiza un balance de Segunda Ley para determinar la generación de entropía de la torre de enfriamiento adiabática.

Caso de estudio

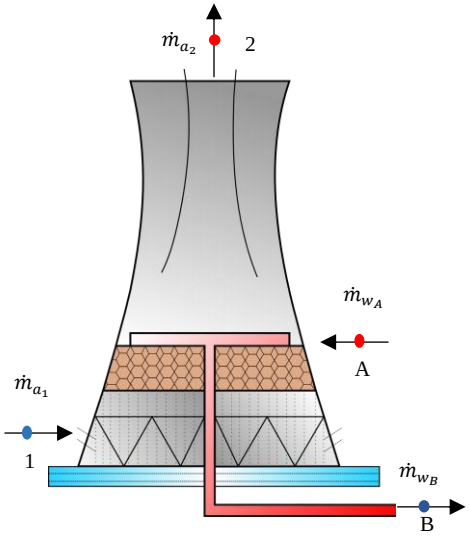


Figura 1. Torre de enfriamiento de tiro natural.

La Figura 1 muestra una torre de enfriamiento de tiro natural, que se utiliza como caso de estudio. A este sistema, ingresa aire atmosférico en el estado a_1 bajo condiciones ambientales de 25°C y 0.78 bar y una humedad relativa de 24.63%; dentro del sistema hay una caída de presión de 0.00072 bar. El gasto volumétrico de agua de circulación que ingresa a la torre de enfriamiento en el estado A es de 208.92 m^3/min y tiene a una temperatura de 38.05°C. A la salida de la torre de enfriamiento, a_2, el aire se encuentra saturado a una temperatura de 35°C.

Consideración

- La torre de enfriamiento es adiabática.
- Se desprecia la energía cinética y potencial de los fluidos.
- Se considera al aire como gas ideal.
- El sistema opera en flujo estable.

Metodología

El término de aire atmosférico o aire húmedo se refiere a una mezcla de aire seco y vapor de agua; el aire seco hace referencia al aire que no contiene vapor de agua; es decir, su humedad relativa es cero. A medida que se añade vapor de agua, la humedad específica y relativa aumentan hasta que el aire seco ya no absorba más humedad; en este punto se dice que el aire está saturado y tiene su humedad relativa del 100%. La humedad relativa es la relación entre la presión del vapor contenida en el aire y la presión de saturación de la temperatura de bulbo seco; es decir, es la cantidad de humedad que contiene el aire con respecto a la cantidad máxima de humedad del aire A, una temperatura dada y ésta se expresa como

$$\phi = \frac{P_v}{P_{sat@T_{bs}}} \tag{1}$$

La humedad específica indica la cantidad de agua contenida en una mezcla con respecto a la cantidad de aire seco, es decir, es la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco

$$\omega = 0.622 \frac{P_v}{P_{atm} - P_v} \tag{2}$$

 ISSN: 2007 8102

Con el fin de lograr la saturación en una mezcla de aire-vapor de agua existen tres procesos, los cuales son: la compresión isotérmica, el enfriamiento isobárico y el enfriamiento adiabático. En la Figura 2 se muestran los tres procesos para lograr la saturación. El primer proceso consiste en un enfriamiento isobárico, desde el estado 1 hasta el estado 2_P, la temperatura de saturación del vapor se conoce como la temperatura del punto de rocío, T_{pr}; el segundo proceso se debe a una compresión isotérmica, desde el estado 1 hasta el estado 2_T, la presión donde comienza la condensación se llama presión de saturación y con este proceso se define a la humedad relativa; el último proceso para lograr la saturación, es el enfriamiento adiabático evaporativo, a T_{ad} que es aproximadamente igual a la T_{bh}. La T_{bs} es la temperatura del aire atmosférico o bien es la temperatura asociada al calor latente. La T_{bh} es la temperatura que refleja el proceso de evaporación del agua en el aire. La T_{pr} es la temperatura a la cual el aire se satura cuando se enfría a presión constante y esta permanece constante a menos que la humedad relativa del aire cambie.
Cuando el aire se encuentra saturado, es decir, que el valor de la humedad relativa es igual a 1, la temperatura de punto de rocío, la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo convergen al mismo valor, como se muestra en la Figura 3.

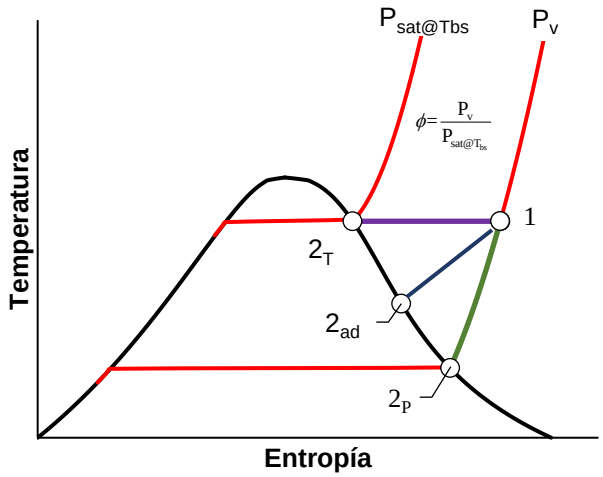


Figura 2. Diagrama Temperatura-Entropía de un proceso de saturación.

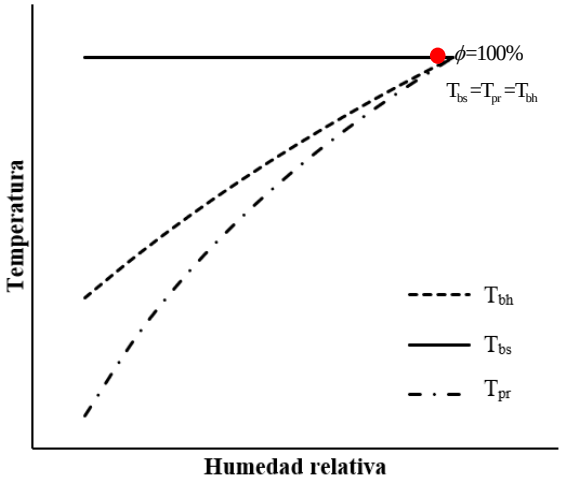


Figura 3. Saturación de una mezcla de aire-vapor.

Análisis energético

Para determinar la producción de entropía de la torre de enfriamiento se parte del análisis energético, donde se determinan las propiedades termodinámicas del agua y del aire a la entrada y salida del sistema. A continuación, se muestran los modelos matemáticos para determinar estas propiedades.

- Propiedades del aire

En la Tabla 1 se presentan los modelos matemáticos de temperatura, presión y la humedad relativa para determinar las propiedades del vapor de agua y el aire seco que constituyen al aire atmosférico

Tabla 1. Propiedades termodinámicas del aire seco y del vapor de agua que ingresa a la torre de enfriamiento.

	T	ϕ	P
amb	T_{bs}	ϕ_{amb}	$P_{sat@T_{bs}}$
v	$T_{pr}=T_{sat@P_v}$	1	$P_v=\phi P_{sat@T_{bs}}$
as	T_{bs}	0	$P_{as}=P_{atm}-P_v$

En la Tabla 2 se presentam los modelos matemáticos de la temperatura, presión, volumen específico y entalpía

Tabla 2. Propiedades termodinámicas del aire a la entrada y salida de la torre de enfriamiento.

 ISSN: 2007 8102

Estado	T	P	*v*	h	ϕ
a_1	T_{bs_1}	P_{atm}	$\left(\frac{1}{PM_{as}}+\frac{\omega_1}{PM_v}\right)\frac{R_u T_1}{P_1}$	$c_{P_{as}} T_{bs_1}+\omega_1 h_{g@T_{bs1}}$	ϕ_{amb}
a_2	T_{bs_2}	P_{atm}	$\left(\frac{1}{PM_{as}}+\frac{\omega_2}{PM_v}\right)\frac{R_u T_2}{P_2}$	$c_{P_{as}} T_{bs_2}+\omega_2 h_{g@T_{bs2}}$	1

Para determinar a la T_{bh_1} se hace un balance de energía en la cámara adiabática, y se expresa que la humeada específica de saturación es

$$\omega_{sat@T_{bh\,1}}=0.622\left(\frac{P_{sat@T_{bh\,1}}}{P_{atm}-P_{sat@T_{bh\,1}}}\right) \quad (3)$$

Para determinara la T_{bh_1} es necesario iterar para determinar una humedad específica iterativa (ω_{ITE}), con el fin de que converja con la humead específica del estado 1 (ω_1), es decir, hasta que la diferencia sea igual a cero $(\omega_1-\omega_{ITE}=0)$; para comenzar la iteracion se considera que la $T_{bh_1}=T_{pr_1}$

$$\omega_{ITE}=\frac{c_{P_a}(T_{bh\,1}-T_{bs\,1})+\omega_{sat@T_{bh\,1}} h_{fg@T_{bh\,1}}}{h_{g@T_{bs\,1}}-h_{f@T_{bh\,1}}} \quad (4)$$

- Propiedades del agua

Los estados A y B corresponden a los estados de entrada y salida de agua en la torre de enfriamiento; en el caso del estado A, se conoce la temperatura a la que ingresa el fluido y el gasto volumétrico; el estado B corresponde a la salida del agua en la torre de enfriamiento, para este estado no se conoce ninguna propiedad que permita determinar el resto de las propiedades termodinámicas; sin embargo, se conoce al rango y la aproximación. En la Figura 4 se muestra un diagrama del rango y aproximación en una torre de enfriamiento

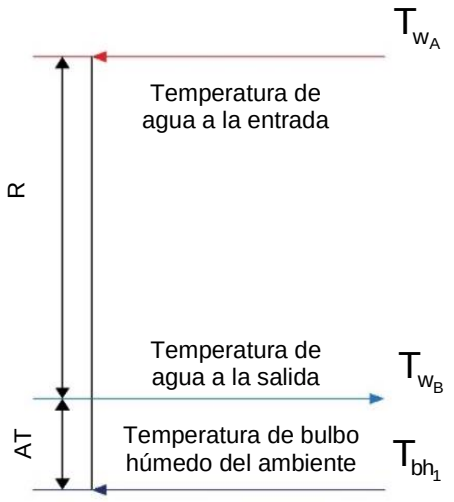


Figura 4. Rango y aproximación

La aproximación de la torre de enfriamiento es la diferencia de la temperatura de bulbo seco del agua que sale de la torre de enfriamiento y la temperatura de bulbo húmedo del aire del medio ambiente

$$AT=T_{w_B}-T_{bh_1} \quad (5)$$

Esta diferencia de temperaturas es de gran importancia en el diseño, tamaño y costo de la torre, mientras menor sea la diferencia, mayor será la torre. Un rango económico y común de la aproximación de la torre es de 20 °C a 35 °C.

El rango es la diferencia entre la temperatura de entrada y salida del agua en la TE; esta diferencia depende de la carga térmica y del flujo del agua.

$$R=T_{w_A}-T_{w_B} \quad (6)$$

En la Tabla 3 se muestran la manera para determinar las propiedades termodinámicas de estos estados A y B.

Tabla 3. Propiedades termodinámicas de entrada y salida del agua.

 ISSN: 2007 8102

Estados	T	v	h
A	Dato	$v_{f@T_{w_A}}$	$h_{f@T_{w_A}}$
B	T_{w_A} -R	$v_{f@T_{w_B}}$	$h_{f@T_{w_B}}$

Se hace un balance de masa para determinar el flujo de aire seco en la TE

$$\dot{m}_{as_1}=\dot{m}_{as_2}=\dot{m}_{as} \tag{7}$$

En la Tabla 4 se presentan los flujos másicos del aire y del agua

Tabla 4. Flujos másicos del aire y del agua.

Aire	Agua
$\dot{m}_{as}=\frac{\dot{m}_{w_A}}{Le_A}$	$\dot{m}_{w_A}=\dot{v}_{w_A}\rho_{w_A}$
$\dot{m}_{v_1}=\omega_1\dot{m}_a$	$\dot{m}_{w_B}=\dot{m}_{w_A}-\dot{m}_{eva}$
$\dot{m}_{v_2}=\omega_2\dot{m}_a$	$\dot{m}_{eva}=\dot{m}_{as}(\omega_2-\omega_1)$
$\dot{m}_{a_1}=\dot{m}_{as}(1+\omega_1)$	
$\dot{m}_{a_2}=\dot{m}_{as}(1+\omega_2)$	

Parámetros de desempeño de la Torre de enfriamiento

La eficiencia de la torre de enfriamiento es la relación entre el rango de temperaturas y la aproximación de la torre

$$\eta_{TE}=\frac{R}{R+AT} \tag{8}$$

La altura de la torre de enfriamiento es la relación entre la caída de presión en la torre de enfriamiento y el producto de la gravedad y la diferencia de densidades de la mezcla de aire-vapor a la entrada y salida de la torre de enfriamiento

$$Y=\frac{\Delta P_{TE}}{g\left(\rho_{m_1}-\rho_{m_2}\right)} \tag{9}$$

La carga térmica es el producto del flujo de agua a la entrada de la torre y la diferencia de entalpías del agua a la salida y a la entrada de la torre de enfriamiento.

$$Q_{TE}=\dot{m}_{w_A}(h_{w_B}-h_{w_A}) \tag{10}$$

El flujo volumétrico del agua de la torre de enfriamiento se expresa de la siguiente manera

$$\dot{v}_w=\frac{\dot{m}_w}{\rho_w} \tag{11}$$

Aplicación de la Primera y Segunda Ley de la Termodinámica

 ISSN: 2007 8102

Bajo las consideraciones que no hay acumulación dentro de la torre de enfriamiento y flujo estables, el balance de energía o la Primera Ley de la Termodinámica se define como

$$\dot{Q}-\dot{W}=\sum_{out}\dot{m}h^{\circ}-\sum_{in}\dot{m}h^{\circ} \tag{12}$$

donde h° es la metalpía que se compone de la entalpía, la energía cinética y la energía potencial. Como se desprecia la energía cinética y potencial, además, la torre de enfriamiento es de tiro natural no se produce trabajo y opera de manera adiabática, por lo tanto, el balance de energía de la torre de enfriamiento es

$$\left[\dot{m}_{a2}h_{a2}+\dot{m}_{wB}h_{wB}\right]=\left[\dot{m}_{a1}h_{a1}+\dot{m}_{wA}h_{wA}\right] \tag{13}$$

La Segunda Ley de la Termodinámica para estado estable se define como

$$\dot{S}_{gen}=\sum_{out}\dot{m}s-\sum_{in}\dot{m}s-\sum_{i=0}^{n}\frac{\dot{Q}_n}{T_0} \tag{14}$$

De acuerdo con la ec. (14), la sumatoria de la entropía de entrada y de salida está compuesta por la entropía del aire atmosférico y la entropía asociada al flujo de agua.

La entropía del aire atmosférico está en función de la entropía del aire seco, la humedad específica y la entropía de referencia del vapor.

$$s_{ah}=s_{as}+\omega s_v \tag{15}$$

donde la entropía del aire seco es

$$s_{as}=s_{ref}+c_{P,a}\ln\left(\frac{T_i}{T_0}\right)-R_{as}\ln\left(\frac{P_i}{P_0}\right) \tag{16}$$

La entropía del vapor es función de la presión y la temperatura

$$s_v=s_{@P,T} \tag{17}$$

Resultados y discusión

Análisis energético

En la Tabla 5 se muestra las propiedades termodinámicas del estado 1 y 2, que corresponden a los estados de entradas y salida del aire de la torre de enfriamiento.

Tabla 5. Propiedades termodinámicas de los estados 1 y 2.

Edo	T (°C)	P (bar)	h (kJ/kg)	ω (kg_v/kg_{as})
1	25	0.78	41.090	0.0062
2	35	0.78	159.10	0.0483

En la Tabla 6 se muestran las propiedades termodinámicas de los estados A y B que corresponden a los estados de entrada y salida de la TE del agua.

Tabla 6. Propiedades termodinámicas de los estados A y B.

 ISSN: 2007 8102

	T (°C)	h (kJ/kg)
A	38.05	159.44
B	14.54	61.14

En la Tabla 7 se presentan los valores que se obtuvieron para los flujos másicos del aire y el agua.

Tabla 7. Flujos másicos del aire y agua.

Aire (kg/s)	Agua (kg/s)
$\dot{m}_{as}$=2765.83	$\dot{m}_{w,A}$=3457.29
$\dot{m}_{v,1}$=17.38	$\dot{m}_{w,B}$=3340.96
$\dot{m}_{v,2}$=133.71	$\dot{m}_{eva}$=116.33
$\dot{m}_{a,1}$=2783.22	
$\dot{m}_{a,1}$=2783.22	

Parámetros de desempeño de la torre de enfriamiento

En la Tabla 8 se exhiben algunos parámetros que fueron calculados mediante las propiedades termodinámicas de cada estado.

Tabla 8. Parámetros de desempeño de la Torre de enfriamiento.

η_{TE}=0.51	Y=87.23 m	$\dot{Q}_{TE}$=339.85 MW

La figura 5 muestra que a medida que la humedad relativa aumenta el flujo másico de aire también lo hace; mientras que, el flujo de agua de reposición disminuye. Es decir, se requiere menor cantidad de agua de reposición para lugares con mayor humedad para enfriar el agua. En un incremento de la humedad relativa del 60% al 90%, el flujo de aire húmedo aumente un 32.30% y el flujo másico del agua de reposición disminuye un 0.9915%.

 ISSN: 2007 8102

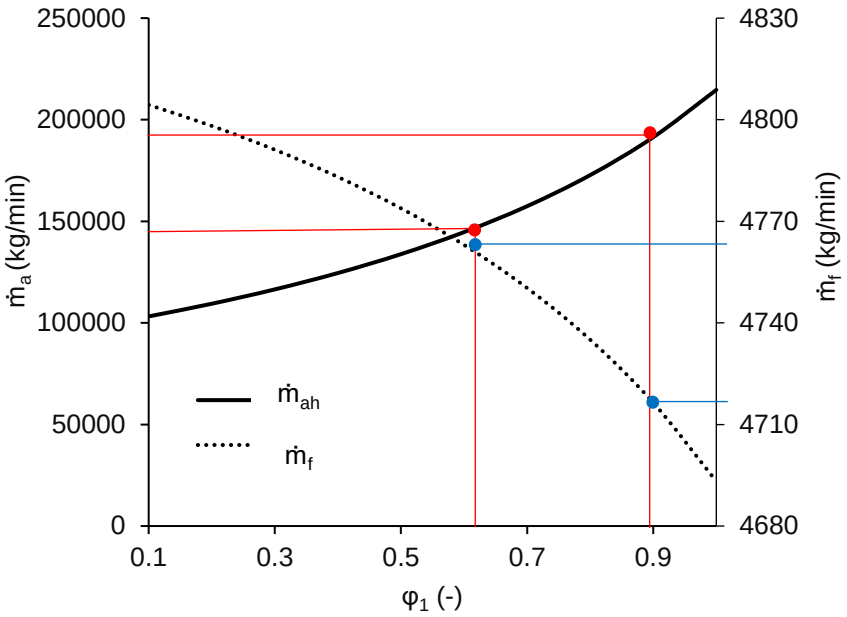


Figura 5. Diagrama del flujo másico del aire y flujo másico de reposición en función de la humedad relativa.

Realizando un análisis paramétrico, en la figura 6 se muestra que el aumento en la altura de una torre de enfriamiento es directamente proporcional al aumento en la humedad relativa, es decir, en lugares donde la humedad relativa es mayor se requiere una torre de enfriamiento con mayor altura para enfriar el agua y disipar calor al medio ambiente. Por ejemplo, un aumento de la humedad relativa del 60% al 90% representa un 18.4819% en la altura. En esta figura también se muestra el comportamiento de la carga térmica con respecto a la humedad relativa; en ella se muestra que a medida que incrementa la humedad relativa en el sitio, la carga térmica disminuye debido a que la temperatura del agua a la salida de la torre de enfriamiento aumenta cuando la humedad relativa aumenta, este fenómeno se asocia a los flujos másicos del aire atmosférico y agua de entrada y salida.

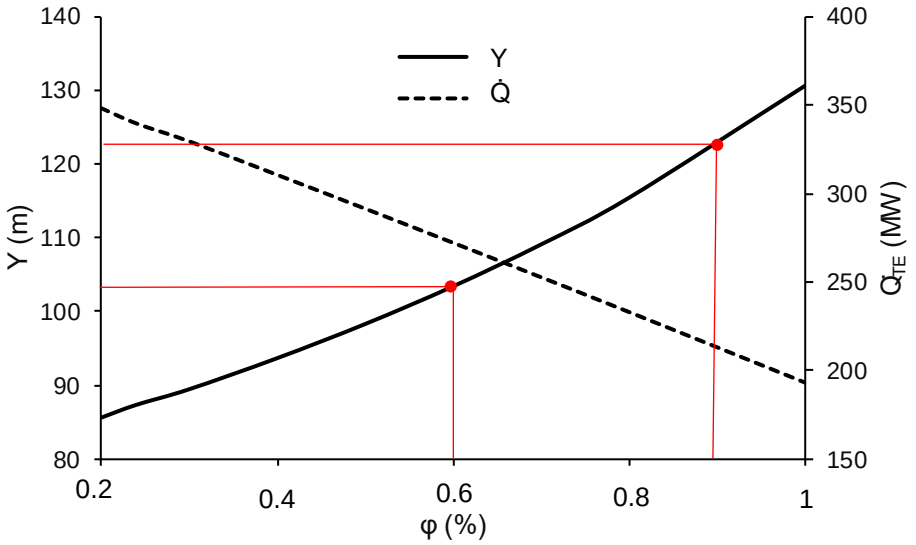


Figura 6. Altura y carga térmica en función de la humedad relativa.

Producción de entropía

 ISSN: 2007 8102

En la Tabla 9 se muestra la generación de entropía de la torre de enfriamiento en función de la humedad relativa.

Tabla 9. Producción de entropía e irreversibilidad en la Torre de enfriamiento.

ϕ (-)	$\dot{S}_{gen}$ (kW/K)
0.00	0.030000
0.05	0.028747
0.10	0.027248
0.15	0.025503
0.20	0.023512
0.2463	0.021275
0.30	0.018792
0.35	0.016063
0.40	0.013088
0.45	0.009867
0.50	0.006400
0.55	0.002687
0.58	0.000000
0.60	-0.001272

En la figura 7 se muestra el comportamiento de la producción de entropía en función de la humedad relativa, en la figura se muestra que, para el caso de estudio, con una humedad relativa de 24.63% la generación de entropía es de 0.02127 kW/K; sin embargo, conforme la humedad en el aire atmosférico a la entrada de la torre de enfriamiento disminuye la generación de entropía hasta ser cero. Con una humedad relativa del 58% la generación de entropía es cero; esto se debe a que la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre aumenta.

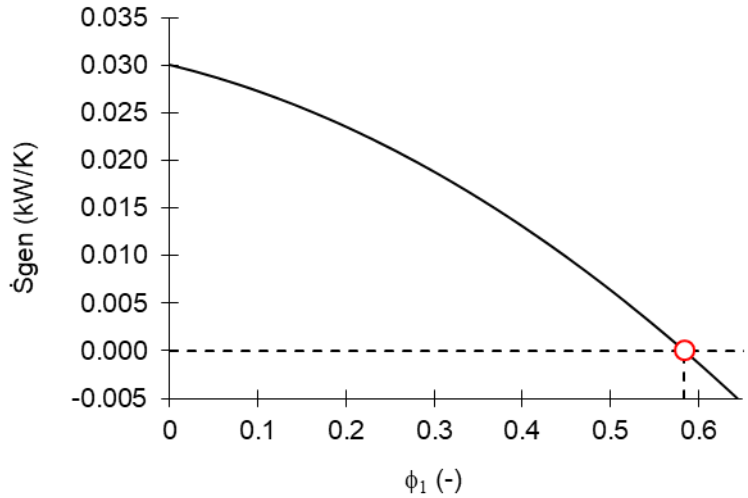


Figura 7. producción de entropía en función de la humedad relativa.

Trabajo a futuro

Para trabajos futuros se pretende realizar el análisis exergético a la torre de enfriamiento de tiro natural y para una torre de enfriamiento de tiro forzado y comparar ambos sistemas.

Conclusiones

 ISSN: 2007 8102

El análisis del desempeño de una torre de enfriamiento variando la humedad relativa del aire se representa físicamente con las variaciones ambientales en su ubicación. Por ejemplo, en épocas de lluvia la humedad relativa aumenta y entre más húmedo sea el ambiente, se necesitará introducir un mayor flujo másico de aire por lo que se requiere diseñar una torre de enfriamiento de mayor altura. De manera contraria, en época de calor, la humedad relativa del ambiente es menor, lo que significa que se tendrá un menor flujo másico de aire y por este motivo se tendrá que diseñar una torre de enfriamiento de una menor altura.

Con respecto a la generación de entropía, cuanto más aumenta la humedad relativa del aire a la entrada de la torre de enfriamiento, la generación de entropía disminuye; esto se debe a que la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada aumenta. Para este caso de estudio con el 58% de humedad en el aire, la generación de entropía es cero, posterior a esta humedad la entropía es negativa y violando la Segunda Ley de la Termodinámica.

Agradecimientos

Se agradece al posgrado en Ciencias en Energía y Medio Ambiente (PEMA) de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAMI), el cual, pertenece al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT, por la beca recibida. De la misma manera, se agradece a la Planta Piloto 2 de la UAMI.

Referencias

[1] Cárdenas-Rodríguez, R. E., Solorzano, L. A. G., Lopez, C. J. E., Peña, J. R. M., & Arellano, J. F. N. (2023). Sistemas de Enfriamiento Evaporativo para uso en elementos verticales: una revisión del estado del arte. *Ciencia Nicolaita*, (87).
[2] Carreto Hernandez, L. G. (2023). Estudios de Convección Natural y Forzada en un Sistema Caseta-Torre de Viento sin/con Humidificación.
[3] Pérez Moreno, G. C. Evaluación del potencial de sistemas de enfriamiento evaporativo en la república mexicana (2020).
[4] Escaff López, J. C., & Herrera Ceballos, J. E. (2012). Balance de masa y energía de una torre de enfriamiento de tiro inducido de la empresa Propilco SA.
[5] Lu, Y., Klimenko, A., Russell, H., Dai, Y., Warner, J., & Hooman, K., “A conceptual study on air jet-induced swirling plume for performance improvement of natural draft cooling towers”. *Applied energy*, *217*, 496-508, (2018).
[6] Zunaid, M., Murtaza, Q., & Gautam, S., “Energy and performance analysis of multi droplets shower cooling tower at different inlet water temperature for air cooling application”. *Applied Thermal Engineering*, 121, 1070-1079, (2017).
[7] Pandelidis, D., Drąg, M., Drąg, P., Worek, W., & Cetin, S., “Comparative analysis between traditional and M-Cycle based cooling tower”. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 159, 120124, (2020)

 ISSN: 2007 8102

Análisis Termodinámico a la Central Ultra Supercrítica de Jiaxing

A. Hernández de la Cruz[1], R. Lugo Leyte[1], L. E. Méndez Cruz[2] , M. Salazar Pereyra[2], H. D. Lugo Méndez[3]*

[1] Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, 09340, CDMX, México.
[2] Tecnológico Nacional de México/ TES de Ecatepec. División de Ingeniería Mecánica, Mecatrónica e Industrial, Av. Tecnológico S/N Colonia Valle de Anáhuac, C.P. 55210, México.
[3]Departamento de Procesos y Tecnología. Universidad Autónoma Metropolitana – Cuajimalpa. Av. Vasco de Quiroga No. 4871, Colonia Santa Fé, 05348, Cuajimalpa, CDMX, México.

**cbi2163010671@titlani.uam.mx*
***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

En este trabajo se realiza un análisis termodinámico a la Central Térmica Ultra Supercrítica de Jiaxing, China. Esta central genera una potencia de 1,000 MW y utiliza como combustible el carbón. Dentro del análisis energético se evalúan los principales parámetros de desempeño, trabajo motor, calor suministrado, eficiencia térmica y flujo másico de vapor y de combustible. Por otro lado, el análisis exergético tiene como objetivo determinar el flujo de irreversibilidades de cada uno de sus componentes y determinar su eficiencia exergética. Los resultados muestras que la caldera ultracrítica genera las mayores cantidades de irreversibilidades de 199.78 MW, y, además, dicha central tiene una eficiencia exergética de 75.69%.

***Palabras clave**: Ciclo Ultra Supercrítico, Análisis termodinámico, Eficiencia térmica, Eficiencia exergética.*

Abstract

In this paper a thermodynamic analysis is carried out of the Ultra Supercritical Thermal Power Plant in Jiaxing, China. This power plant has a power generation capacity of 1,000 MW and utilizes coal as its fuel. The energy analysis evaluates the main performance parameters, including motor work, supplied heat, thermal efficiency, and the mass flow of steam and fuel. On the other hand, the exergy analysis aims to determine the flow of irreversibilities for each of its components and determine the exergetic efficiency of the power plant. The results show that the ultra-critical boiler generates the highest irreversibilities of 199.78 MW, and furthermore, the power plant has an exergetic efficiency of 75.69%.

***Key words**: Ultra Supercritical Cycle, Thermodynamic Analysis, Thermal Efficiency, Exergetic Efficiency.*

Introducción

Las turbinas de vapor son las más utilizadas para la generación de energía en plantas: ultra críticas y supercríticas (carboeléctricas), subcríticas, (termoeléctrica convencional), geotérmica, ciclos combinados y en sistemas de cogeneración. L.E. Méndez et al (2019) establecieron que los ciclos supercríticos y ultra críticos presentan un mejor comportamiento y aumento de la eficiencia térmica en comparación con los ciclos subcríticos ya que la configuración de estos ciclos es más robusta y permite tener un mayor número de etapas en la turbina de vapor [1]. M. Salazar et al (2011) mencionaron que los ciclos supercríticos presentan un aumento del 6% en la eficiencia térmica y por consecuencia se disminuye el consumo térmico unitario y consumo específico de vapor, además de generar una mayor potencia [2]. Vieira et al (2017) mostraron que, para aumentar la eficiencia térmica y minimizar las irreversibilidades asociadas en el tren de calentamiento de las centrales supercríticas y ultra críticas se requiere de una configuración entre 8 y 10 calentadores, además de tener un aumento en la temperatura de precalentamiento [3]. A. Tumanovskii et al (2017) concluyeron que la construcción de centrales eléctricas supercríticas y ultra supercríticas de alta capacidad se debe convertir en una prioridad en el desarrollo de la industria energética del carbón en el mundo [4]. De acuerdo con Retzlaff y Ruegger (1996) mencionaron que,

ISSN: 2007 8102

para avanzar en el desarrollo de la tecnología de las turbinas de vapor, se puede realizar mediante las mejoras en la eficiencia termodinámica al aumentar la presión y temperatura a la que opera la turbina [5]. Haojie Fan et al (2018) reportaron que China es la base generadora instalada más grande del mundo y tiene el récord de eficiencia de las plantas ultra supercríticas (USC) alimentadas con carbón; así mismo, la tecnología USC de China ha experimentado un rápido desarrollo para mejorar la eficiencia y mitigar las emisiones de CO_2 [6]. Kotas (2012) establece la metodología exergética de evaluación de las turbinas de vapor con multi-etapas de expansión [7]. Finalmente, otros autores como Zhigang Zhao et al (2017), Hermann et al (2005), Khaliq et al (2004), Gholam et al (2016) y Song et al (2002) cuantificaron las irreversibilidades que se producen en una central de generación de potencia específica [8]. Las centrales USC son una nueva generación de plantas de energía térmica, que utilizan tecnología avanzada para aumentar la eficiencia de térmica del ciclo y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Estas centrales operan con presiones de vapor vivo superiores a la presión del punto crítico. El rango de operación de las centrales supercríticas y ultracríticas abarca presiones que van desde más de 221 bar hasta menos de 300 bar, y con temperaturas que oscilan entre 540°C y 700°C [9]. Estas plantas de energía operan bajo un ciclo Rankine regenerativo que incluye una caldera ultracrítica alimentada con carbón como fuente de combustible. El agua absorbe el calor de los gases de combustión y se convierte en vapor transcrítico en la caldera ultracrítica. El vapor resultante, de alta presión y temperatura, se expande a través de una turbina de vapor, transformando la energía en trabajo mecánico para alimentar un generador eléctrico y generar electricidad.

Es por ello que es imperativo hacer un énfasis en el estudio de este tipo de centrales de potencia eléctrica. Por tal motivo, en este trabajo se hace un análisis termodinámico a una central USC ubicada en Jiaxing, China. Esta central de potencia cuenta con una tecnología avanzada que representa una alta eficiencia térmica y alta generación de potencia. El análisis termodinámico se hace con base a los datos técnicos obtenidos del balance térmico de la central USC. En México se tienen dos centrales carboeléctricas supercríticas en operación ubicadas en los estados de Coahuila y Guerrero, que representan el 6.3% del total de la capacidad instalada; sin embargo, la información referente a los parámetros técnicos de dichas centrales no es posible obtenerla. Por lo tanto, el análisis termodinámico realizado a la central USC de Jiaxing tiene la finalidad de comprender el funcionamiento de las centrales carboeléctricas principalmente.

Descripción del Ciclo Rankine Ultra Supercrítico

La central térmica con la que se realiza este trabajo es una unidad ultra supercrítica con una potencia nominal de 1,000MW, la presión y temperatura nominal del vapor sobrecalentado es de 246 bar y de 600°C. En la Figura 1 se muestra una representación de la central ultra supercrítica de Jiaxing. Esta central consta de una caldera ultra supercrítica con recalentamiento y un sistema de turbina de vapor ultra supercrítica que comprende una turbina de alta presión, una de presión intermedia y dos de baja presión conectadas mediante un eje, que a su vez está vinculado a un generador eléctrico, seguido de un condensador. El sistema de calentamiento consta de ocho calentadores, con tres calentadores cerrados ubicados en la zona de alta presión, seguidos de un calentador abierto (deareador) y cuatro calentadores cerrados situados en la zona de presión intermedia y baja, lo que da un total de ocho extracciones, desde las turbinas hacia el sistema de calentamiento. Finalmente, se encuentra un sistema de dos bombas, la primera situada en la zona de baja presión para elevar la presión del fluido condensado hasta la presión del deareador, y la segunda ubicada en la zona de alta presión, que aumenta la presión del agua hasta la entrada de la caldera ultra crítica. En comparación con las centrales termoeléctricas convencionales, la configuración de esta central ultra supercrítica es más compleja debido a que, las presiones ultra críticas con la cual opera la planta juegan un papel importante, ya que, es indispensable poder analizar el cambio de fase del agua, debido a que va a existir un cambio brusco de líquido comprimido a vapor sobrecalentado, esto quiere decir que el agua opera como un fluido supercrítico, lo que implica que no hay una distinción clara entre agua líquida y vapor sobrecalentado en el proceso, además, a diferencia de las centrales eléctricas generales, no hay domos de vapor que separe el vapor y el agua, ya que, el agua se transforma completamente en vapor y se sobrecalienta en los tubos de la pared de agua de la caldera y se distribuye a las líneas de vapor principal a través de los cabezales. Por esta razón, el agua que ingresa a la caldera debe tener niveles de pureza extremadamente altos, si la calidad del agua de entrada no es buena, el arrastre de impurezas puede generar depósitos en los álabes de la turbina.

 ISSN: 2007 8102

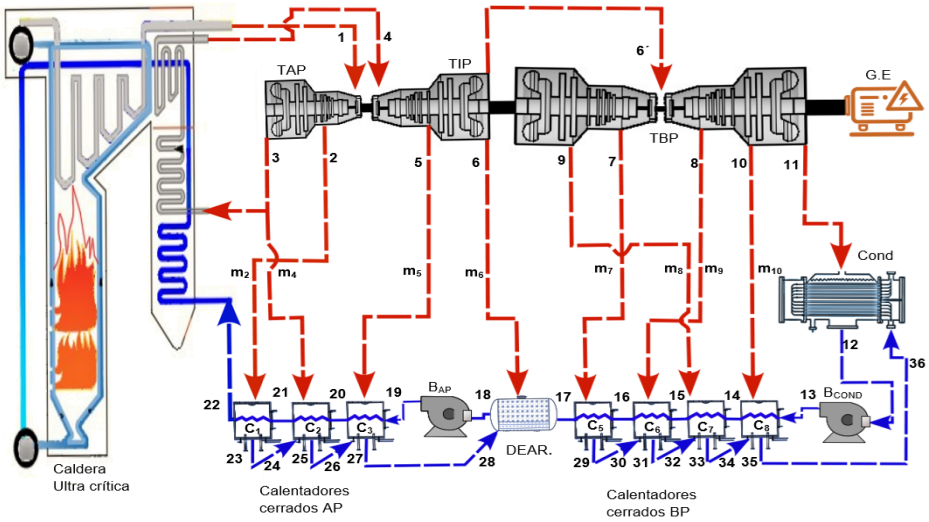


Figura 1. Central térmica de la central USC de Jiaxing.

Metodología

Análisis energético

A continuación, se presentan las expresiones de los principales parámetros de desempeño de la central USC; trabajo motor, calor suministrado, eficiencia térmica, flujo de vapor y el flujo de combustible suministrado en la caldera USC. El trabajo producido por la turbina de alta, intermedia y baja presión es

$$w_{Tv} = (h_1 - h_2) + (1 - m_2)(h_2 - h_3) + \left(1 - m_2 - \sum_{i=4}^{10} m_i\right)(h_n - h_{n-1}) \tag{1}$$

En donde el i-ésimo representa la fracción másica extraída en cada una de las etapas de la turbina de vapor. Por otro lado, el n-ésimo indica el estado termodinámico inicial del proceso de expansión. Así mismo, el trabajo suministrado a la bomba de condensado y la bomba de alta presión se expresa de la siguiente manera

$$w_B = (h_{13} - h_{12})(1 - m_2 - m_4 - m_5 - m_6) + (h_{19} - h_{18}) \tag{2}$$

Por lo tanto, el trabajo motor generado por la central es la diferencia entre el trabajo total generado en los tres cuerpos de la turbina de vapor y el trabajo total suministrado al sistema de bombeo es

$$w_m = w_{TAP} + w_{TIP} + w_{TBP} - w_{B_{COND}} - w_{BAP} \tag{3}$$

El calor suministrado al agua por unidad de masa en el EC, SC y REC de la caldera USC se expresa como

$$q_{sum} = (h_1 - h_{22}) + (1 - m_2 - m_4)(h_4 - h_3) \tag{4}$$

La eficiencia térmica del ciclo es la relación entre el trabajo motor y el calor suministrado

$$\eta_{th} = \frac{w_m}{q_{sum}} \tag{5}$$

El flujo de vapor que se requiere para generar la potencia de la central USC es

$$\dot{m}_{vapor} = \frac{\dot{W}_m}{w_m} \tag{6}$$

Así mismo, el flujo de combustible requerido para generar una potencia de 1,000 MW es

$$\dot{m}_{comb} = \frac{q_{sum}\ \dot{m}_{vapor}}{PCI_{carbón}} \tag{7}$$

 ISSN: 2007 8102

En donde el PCI del carbón pulverizado es de 32,000 kJ/kg$_{com}$.

Análisis exergético

En la Figura 3 se muestra el diagrama exergía – entalpía de la central USC. El flujo de vapor vivo que entra a la turbina de alta presión presenta la mayor cantidad de energía disponible con casi 1,600 kJ/kg, mientras que, la mayor cantidad de energía del ciclo corresponde a las condiciones de entrada de la turbina de presión intermedia. De acuerdo con la configuración de la central USC se muestra que, las expansiones tanto de la turbina de alta presión y de la turbina de presión intermedia se encuentran por encima de los 1,000 kJ/kg y, por lo tanto, es en estos dos componentes en donde se aprovecha la mayor cantidad de energía disponible del sistema. Posteriormente, el flujo de vapor se expande en las cinco etapas de la turbina de baja presión, en donde, la exergía con la que sale el flujo de vapor de este equipo es muy cercana a cero; sin embargo, la cantidad de energía que posee es superior a los 2,300 kJ/kg. Por lo tanto, al tener una casi nula disponibilidad de energía, el flujo de vapor se condensa para bombearlo nuevamente a través de la bomba de condensado y de la bomba de alta presión. Así mismo, el precalentamiento de la línea de agua en el tren de calentamiento contribuye al incremento de la exergía y la entalpía de hasta 400 kJ/kg y valores cercanos a los 1,500 kJ/kg, respectivamente.

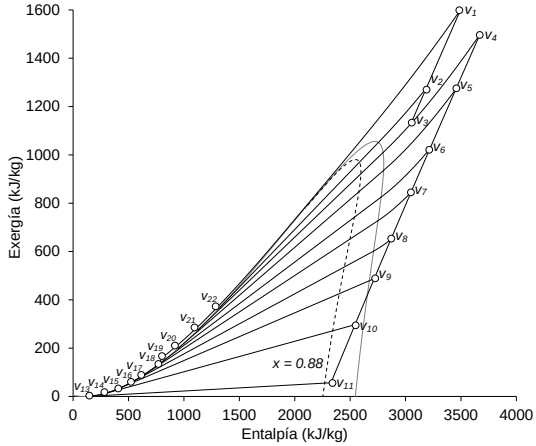


Figura 2. Diagrama exergía - entalpía de la central USC de Jiaxing.

El análisis exergético que se presenta en este trabajo considera únicamente a la exergía física. Para el agua como fluido de trabajo, la exergía física por estado termodinámico se determina de la siguiente manera

$$\dot{E}_{x,j} = \dot{m}_k \left[\left(h_j - h_0 \right) - T_0 \left(s_j - s_0 \right) \right] \tag{8}$$

en donde *j*-ésimo representa a los estados termodinámicos del ciclo USC sin considerar a los gases de escape y *k*-ésimo representa al flujo de agua que circula en el sistema. La exergía física de los gases de combustión considerando gas perfecto y que los gases se encuentren a la presión del medio ambiente se determina de la siguiente manera

$$\dot{E}_{gc} = \dot{m}_{ge} c_{p_{ge}} \left[\left(T_{gl} - T_0 \right) - T_0 \ln \frac{T_{gl}}{T_0} \right] \tag{9}$$

en donde *i*-ésimo representa a los estados termodinámicos desde g_{in} a g_{out}. Las condiciones del estado muerto se consideran a una temperatura y presión, T_0 = 25 °C y P_0 = 1.01325 bar, respectivamente. El flujo de irreversibilidades de los componentes de la central USC se determina a partir de un balance de exergía

$$\dot{I}_i = \sum \dot{E}_{ent_i} - \sum \dot{E}_{sal_i} \tag{10}$$

La eficiencia exergética en función del flujo total de irreversibilidades generadas y el flujo de exergía de los gases de escape es

$$\eta_{exer} = 1 - \frac{\sum \dot{I}_i}{\Delta \dot{E}_{g_{in} - g_{out}}} \tag{11}$$

En donde, el cambio del flujo de exergía de los gases de combustión es

 ISSN: 2007 8102

$$\Delta \dot{E}_{g_{in}-g_{out}} = \dot{m}_{gc} c_{p_{gc}} \left[\left(T_{g_{in}} - T_{g_{out}} \right) - T_0 \ln \left(\frac{T_{g_{in}}}{T_{g_{out}}} \right) \right] \tag{12}$$

En la Tabla 1 se presentan los balances de los flujos de exergía de entrada y de salida para cada uno de los componentes del sistema, la diferencia entre estos flujos es el resultado de las irreversibilidades que existen en cada equipo.

Tabla 1. Balance de exergía de los componentes de la central USC de Jiaxing.

Componente	$\sum \dot{E}_{ent} - \sum \dot{E}_{sal}$
TAP	$\dot{E}_1 - \dot{E}_2 - \dot{E}_3 - \dot{E}^{\dot{W}_{TAP}}$
TPI	$\dot{E}_4 - \dot{E}_5 - \dot{E}_6 - \dot{E}_{6'} - \dot{E}^{\dot{W}_{TPI}}$
TBP	$\dot{E}_{6'} - \dot{E}_7 - \dot{E}_8 - \dot{E}_9 - \dot{E}_{10} - \dot{E}_{11} - \dot{E}^{\dot{W}_{TBP}}$
B_{cond}	$\dot{E}_{12} + \dot{E}^{\dot{W}_{B_{cond}}} - \dot{E}_{13}$
B_{AP}	$\dot{E}_{18} + \dot{E}^{\dot{W}_{B_{AP}}} - \dot{E}_{19}$
C_1	$\dot{E}_{21} + \dot{E}_2 - \dot{E}_{22} - \dot{E}_{23}$
C_2	$\dot{E}_{20} + \dot{E}_4 + \dot{E}_{24} - \dot{E}_{21} - \dot{E}_{25}$
C_3	$\dot{E}_{19} + \dot{E}_5 + \dot{E}_{26} - \dot{E}_{20} - \dot{E}_{27}$
DEAR	$\dot{E}_{17} + \dot{E}_6 + \dot{E}_{28} - \dot{E}_{18}$
C_5	$\dot{E}_{16} + \dot{E}_7 - \dot{E}_{17} - \dot{E}_{29}$
C_6	$\dot{E}_{15} + \dot{E}_8 + \dot{E}_{30} - \dot{E}_{16} - \dot{E}_{31}$

Componente	$\sum \dot{E}_{ent} - \sum \dot{E}_{sal}$
C_7	$\dot{E}_{14} + \dot{E}_9 + \dot{E}_{32} - \dot{E}_{15} - \dot{E}_{33}$
C_8	$\dot{E}_{13} + \dot{E}_{10} + \dot{E}_{34} - \dot{E}_{14} - \dot{E}_{35}$
VE_{C1}	$\dot{E}_{23} - \dot{E}_{24}$
VE_{C2}	$\dot{E}_{25} - \dot{E}_{26}$
VE_{C3}	$\dot{E}_{27} - \dot{E}_{28}$
VE_{C5}	$\dot{E}_{29} - \dot{E}_{30}$
VE_{C6}	$\dot{E}_{31} - \dot{E}_{32}$
VE_{C7}	$\dot{E}_{33} - \dot{E}_{34}$
VE_{C8}	$\dot{E}_{35} - \dot{E}_{36}$
CALD	$\dot{E}_{gc_{in}} + \dot{E}_{22} + \dot{E}_3 - \dot{E}_{gc_{out}} - \dot{E}_1 - \dot{E}_4$
COND	$\dot{E}_{11} + \dot{E}_{36} - \dot{E}_{12}$

Condiciones de Operación

El análisis energético y exergético se realiza en función de las condiciones de operación reales de la central térmica ultra supercrítica de Jiaxing y del medio ambiente, éstas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Condiciones de operación de la central USC de Jiaxing [10].

Variable	Valor	Variable	Valor
Presión de vapor vivo, (bar)	246	Presión de extracción 7, (bar)	5.30
Temperatura de vapor vivo, (°C)	600	Presión de extracción 8, (bar)	2.23
Presión de recalentamiento, (bar)	46	Presión de extracción 9, (bar)	0.95
Temperatura de recalentamiento, (°C)	600	Presión de extracción 10, (bar)	0.28
Presión de extracción 2, (bar)	82.00	Presión del condensador, (bar)	0.05
Presión de extracción 4, (bar)	46.00	Temperatura ambiente, (°C)	25
Presión de extracción 5, (bar)	23.89	Eficiencia isoentrópica de la turbina η_{SIT}	0.90
Presión de extracción 6, (bar)	10.50	Eficiencia isoentrópica de la bomba η_{SIB}	0.85

Resultados y discusión

En la Figura 3 se muestra el trabajo motor generado por la central y la calidad del vapor al final de la expansión de la turbina de baja presión en función de la variación de la presión y temperatura de vapor vivo. Las condiciones de operación con las que el flujo de vapor sale con la mayor calidad y produce la mayor cantidad de trabajo motor corresponden a una temperatura de vapor vivo de 700 °C y una presión de 221 bar, con un trabajo de 1,550 kJ/kg y una calidad de vapor de 0.95. En la Figura 4 se muestra el comportamiento del trabajo motor y la eficiencia térmica en función de la presión y temperatura de vapor vivo. En este caso se muestra que existen dos diferentes condiciones de operación, en donde se tiene la mayor cantidad de trabajo motor, que corresponde a una temperatura de vapor vivo de 700 °C y una presión de 221 bar; mientras que, la mayor eficiencia térmica se tiene bajo la misma temperatura de vapor vivo, pero la presión corresponde a 300 bar. La central USC analizada opera

 ISSN: 2007 8102

bajo una temperatura y presión de vapor vivo de 246 bar y 600 °C produciendo un trabajo motor de 1,358.89 kJ/kg con una eficiencia térmica de 0.522. Entonces, ésta central de potencia opera bajo condiciones que se encuentran cercanas a la mayor producción de trabajo motor.

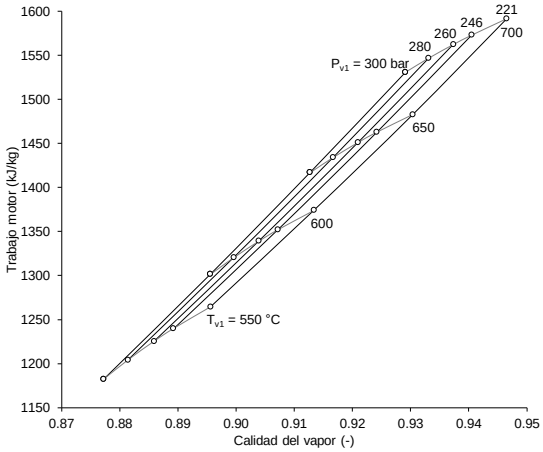


Figura 3. Trabajo motor y calidad del vapor en función de la presión y temperatura de vapor vivo.

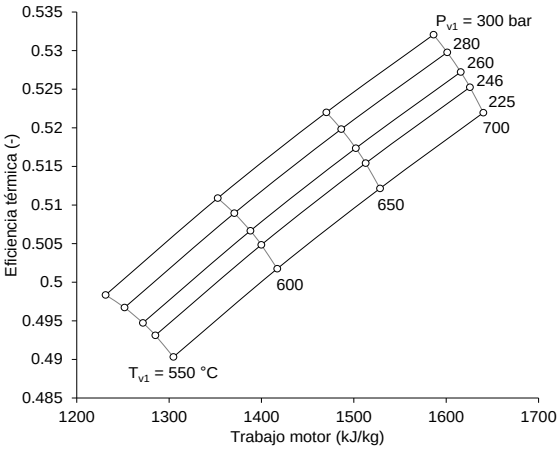


Figura 4. Eficiencia térmica y trabajo motor en función de la presión y temperatura de vapor vivo.

En la Figura 5 se muestra el comportamiento del flujo de irreversibilidades de los componentes de la central ultra crítica para diferentes presiones y temperaturas de vapor vivo. La mayor cantidad de irreversibilidades generadas corresponde a la caldera ultra crítica, seguido de la turbina de vapor, condensador y finalmente, en conjunto, el sistema de bombeo, tren de calentamiento y las válvulas de expansión. La misma figura muestra que, para las diferentes temperaturas de vapor vivo, la TV, CALD y COND, presentan una disminución del flujo de irreversibilidades con el incremento de la presión de vapor vivo, mientras que, los equipos B + Ci + VE_{Ci} tienen un ligero aumento de las irreversibilidades en promedio de 1 MW. Por otro lado, a medida que se tiene un aumento tanto de la temperatura y la presión de vapor vivo, el flujo de irreversibilidades total disminuye, teniendo en este caso las menores irreversibilidades a una presión de 300 bar y una temperatura de 700 °C, con 260.90 MW. Mientras que, para las condiciones de operación reales de la central ultra crítica existe un aumento del 25.65% de las irreversibilidades totales. Por otro lado, de acuerdo con las condiciones del medio ambiente en donde se encuentra la central ultra crítica. La Figura 6 muestra el cambio del flujo de irreversibilidades en función de la variación de la temperatura ambiente bajo las condiciones reales de operación de la planta. En este caso se muestra que, las menores irreversibilidades se tienen a la menor condición de la temperatura ambiente de 5 °C con 306.27 MW, y a la temperatura ambiente de 35 °C existe un aumento del flujo de irreversibilidades de 34.88 MW en donde se debe en gran medida a la generación de irreversibilidades en la caldera ultra crítica.

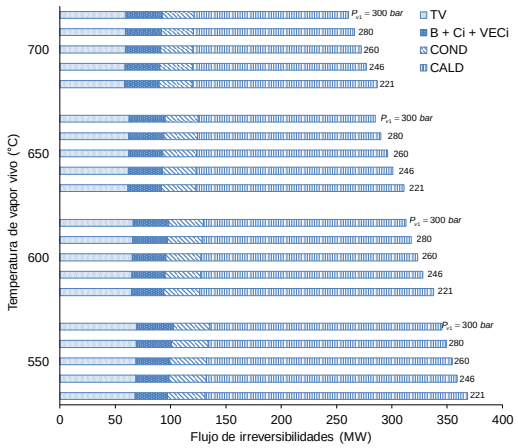


Figura 5. Flujo de irreversibilidades en función de la presión y temperatura de vapor vivo.

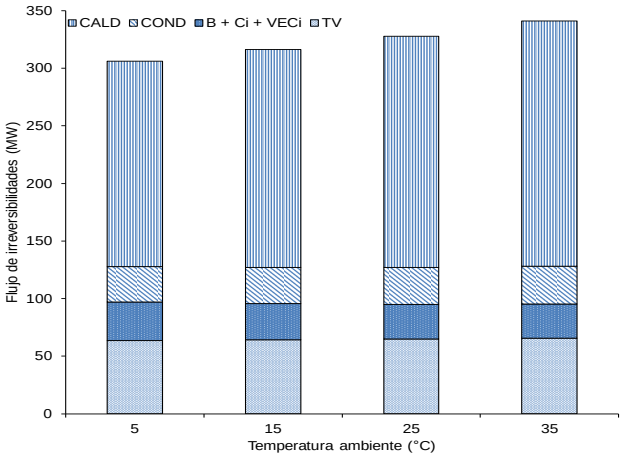


Figura 6. Flujo de irreversibilidades en función de la temperatura ambiente.

La Figura 7 muestra el diagrama de Grassmann de la central USC, en donde se muestra la distribución del flujo de exergía de entrada de los gases de combustión, el flujo de irreversibilidades generadas por los equipos y la potencia generada por el ciclo. La caldera de la central USC representa las mayores cantidades de

 ISSN: 2007 8102

irreversibilidades generadas por el sistema, seguido por las tres secciones de la turbina de vapor, el condensador y finalmente el sistema de bombeo, tren de calentamiento y las válvulas de expansión en conjunto. Por tanto, del 100% del flujo de exergía de los gases de combustión que ingresan al sistema, solo se aprovecha el 75.72% y este valor corresponde a la eficiencia exergética de la central USC.

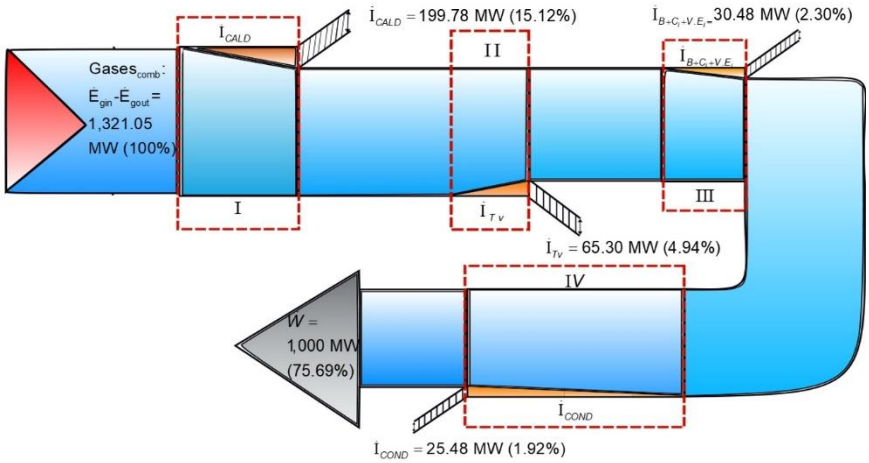


Figura 7. Diagrama de Grassmann de la central USC de Jiaxing.

Trabajo a futuro

En un trabajo a futuro, se pretende realizar el análisis exergoeconómico a la central USC con el objetivo de determinar los costos de las corrientes del sistema y el costo que se tiene por producir un kWh.

Conclusiones

Con base a los resultados que arroja el análisis energético de la central térmica USC de Jiaxing se tiene que dichos resultados se encuentran muy próximos a los resultados que reporta la planta real térmica, donde coincide con la eficiencia térmica del ciclo que es del 50% y en el prontuario es del 48%, esto se debe a que el análisis se realizó sin considerar las caídas de presión en la planta; por lo tanto, se tiene un CTU de 7,128.71 kJ/kWh ,además, se obtiene un consumo específico de combustible de 0.218 $kg_{carbón}$/kWh y un trabajo motor de 1,358.89 kJ/kg; por lo tanto se concluye que, la configuración de esta central térmica ultra supercrítica que genera 1,000 MW cumple con los estándares en los nuevos ciclos ultra supercríticos, que contribuyen a reducir las emisiones de CO_2 al ser una planta muy eficiente, además, como se observa en el análisis paramétrico, incrementar la presión y temperatura del vapor vivo permite obtener mayores eficiencias y trabajo motor en la generación de energía ultra supercrítica. Por otro lado, con base al análisis exergético, los resultados muestran que, la central térmica USC tiene una eficiencia exergética del 75%, esto quiere decir que, de toda la energía útil proporcionada por el flujo de los gases de combustión del carbón pulverizado, tres cuartas partes se aprovechan en la generación de potencia. Las mayores irreversibilidades en el ciclo USC se presentan en la caldera ultra crítica, seguido por la turbina de baja presión y el condensador.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa, a los integrantes de la Planta Piloto 2, a la Licenciatura en Ingeniería en Energía y a la División de Ingeniería Mecánica, Mecatrónica e Industrial del Tecnológico de Ecatepec.

Referencias

[1]. Méndez-Cruz, Ladislao E., Salazar-Pereyra, Martín, Bonilla-Blancas, Angélica E., & Lugo-Leyte, Raúl. (2019). Análisis Termodinámico de las Turbinas de Vapor para los Ciclos Ultra críticos, Supercríticos, Subcríticos y Geotérmicos. Información Tecnológica, 30(4), 237-248. https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000400237

[2]. Salazar-Pereyra, M. & Leyte, Raúl & Zamora, Juan & Ruiz-Ramírez, O & González-Oropeza, R. (2011). ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE LOS CICLOS RANKINE SUPERCRÍTICOS Y SUBCRÍTICOS. Power generation systems View project Porous Media View project.

https://www.researchgate.net/publication/319131137.
[3]. Vieira, A. F., N. Fraidenraich, y L. De Souza, Optimum Efficiency Analysis of Regenerative Cycle with Feed Water Heaters, doi: 10.4236/jpee.2017.58004, Journal of Power and Energy Engineering, 5, 45-55 (2017).
[4]. Tumanovskii, AG, Shvarts, AL, Somova, EV et al. Revisión de las centrales eléctricas de vapor a carbón, supercríticas y ultrasupercríticas. Termia. Ing. 64, 83–96 (2017). https://doi.org/10.1134/S0040601517020082
[5]. K. M. Retzlaff and W. A. Ruegger, “Steam Turbines for Ultrasupercritical Power Plants”, GE Power Systems, Schenectady, NY, GER-3945a, 1-18, 1996.
[6]. Haojie Fan, Zhongxiao Zhang, Jiancong Dong, Wei Xu,China’s R&D of advanced ultra-supercritical coal-fired power generation for addressing climate change. Thermal Science and Engineering Progress,Volume 5,2018, Pages 364-371,ISSN 2451-9049.
[7]. Kotas, TJ (2012). El método exergético de análisis de plantas térmicas. Editorial Paragón.
[8]. Gholam R.A. y T. Davood, Energy and exergy analysis of Montazeri Steam Power Plant in Iran, https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.074, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 56, 454-463 (2016)
[9]. Zhang, Dongke. (2013). Ultra-Supercritical Coal Power Plants: Materials, Technologies, and Optimisation. Woodhead Publishing Series in Energy, Elsevier Number 41.
[10]. Thermoflow Inc. 2017 – Webinar: ST Performance Matching in Steam Pro, July 19, 2017, STAN. KAVALE

Nomenclatura

Símbolos

CEC	consumo específico de combustible [kg $_{comb}$ (kWh)$^{-1}$]
CEV	consumo específico de vapor [kg$_{vapor}$ (kWh)$^{-1}$]
CTU	consumo térmico unitario [kJ (kWh)$^{-1}$]
$\dot{E}$	Flujo de exergía [kW]
h	entalpía por unidad de masa [kJ (kg)$^{-1}$]
$\dot{I}$	Flujo de irreversibilidades [kW]
$\dot{m}$	flujo másico [kg (s)$^{-1}$]
P	Presión [bar, kPa]
PCI	poder calorífico inferior [kJ (kg$_{comb}$)$^{-1}$]
$\dot{Q}$	flujo de calor [kW]
q	calor por unidad de masa [kJ (kg)$^{-1}$]
s	entropía por unidad de masa [kJ (kg °C)$^{-1}$]
T	Temperatura [K o °C]
$\dot{W}$	Potencia [kW]
w	trabajo por unidad de masa [kJ (kg)$^{-1}$]
x	Calidad (-)

Subíndices

m	motor
s	isoentrópico
SIB	isoentrópica de la bomba
SIT	isoentrópica de la turbina
sum	suministrado
th	térmica

Abreviaturas

B_{AP}	Bomba de alta presión
B_{COND}	Bomba de condensado
Cond	Condensador
TAP	Turbina de alta presión
TBP	Turbina de baja presión
TPI	Turbina de presión intermedia
T_V	Turbina de vapor
USC	Ultra supercrítico

Letras griegas

Δ	Diferencia
η	Eficiencia

 ISSN: 2007 8102

Influencia del método de síntesis de óxidos semiconductores en procesos fotoinducidos: caso TiO_2

Luis Ricardo Morales Juarez[1], Erika López Sánchez [2], Guadalupe Castillo Ramírez [3], Gerardo Gorzo Arroyo[4], Odilón Vázquez Cuchillo[5*]

1 Tecnológico Nacional de México / I.T. Puebla. Av. Tecnológico 420, Col. Maravillas, Puebla, Puebla. 72220. México, ricardo.morales@puebla.tecnm.mx
2 Tecnológico Nacional de México / I.T. Puebla. Av. Tecnológico 420, Col. Maravillas, Puebla, Puebla. 72220. México, erika.lopez@puebla.tecnm.mx
3 Tecnológico Nacional de México / I.T. Puebla. Av. Tecnológico 420, Col. Maravillas, Puebla, Puebla. 72220. México, guadalupe.castillo@puebla.tecnm.mx
4 Tecnológico Nacional de México / I.T. Puebla. Av. Tecnológico 420, Col. Maravillas, Puebla, Puebla. 72220. México, Gerardo.gorzo @puebla.tecnm.mx
5 Tecnológico Nacional de México / I.T. Puebla. Av. Tecnológico 420, Col. Maravillas, Puebla, Puebla. 72220. México, odilon.vazquez@puebla.tecnm.mx

***Área de participación**: ingeniería Química*

Resumen

El desarrollo de materiales multifuncionales modernos con diversas aplicaciones orientadas a la descontaminación ambiental por proceso foto-inducidos, trae consigo la necesidad de sintetizarlos buscando que tengan morfología y tamaños altamente homogéneos para buscar la potencialización de sus propiedades. Es por ello, que en el presente estudio presentamos la síntesis, de materiales de TiO_2, por los métodos de síntesis como son las rutas de sol-gel y coloidal, se presenta la caracterización fisicoquímica y foto catalítica de estos compuestos para la foto-conversión de CO_2 y eliminación de VOC´s. Se muestra como la obtención de materiales altamente homogéneos en tamaño y morfología potencializar su actividad foto-catalítica en la degradación de contaminantes orgánicos.

***Palabras clave**: Fotocatalisis, CO_2, COV´s*

Abstract

The development of modern multifunctional materials with various applications aimed at environmental decontamination by photoinduced processes brings with it the need to synthesize them looking for highly homogeneous morphology and sizes to seek the potentialization of their properties. That is why, in the present study, we present the synthesis of TiO_2 materials by different synthesis methods that include the sol-gel and colloidal routes, the physicochemical and photocatalytic characterization of these compounds for the CO_2 photoconversion and VOC's removal. It is shown how obtaining materials that are highly homogeneous in size and morphology enhance their photocatalytic activity in the degradation of organic pollutants.

***Key words**: Photocatalysis, CO_2, COV´s.*

Introducción

La revolución científica y tecnológica sin precedentes que hemos vivido en el siglo XX y XXI ha llevado consigo un cambio enorme de hábitos sociales y la creación de necesidades antes desconocidas. Una de estas necesidades, desarrollada principalmente a finales de siglo y con un peso cada vez más importante en nuestra

sociedad, hace referencia a la preocupación por el medio ambiente [1], entonces la preocupación por la influencia en nuestra salud de los procesos industriales que se llevan a cabo para la sostenibilidad de nuestra sociedad y los residuos que éstos generan es cada vez más alucinante, dentro de esta preocupación se incluye el incremento de gases nocivos en la atmósfera [2]. Siendo una alternativa de gran auge entre los países de primer mundo es la implantación de tecnologías que involucren a la catálisis heterogénea como opción altamente rentable [R5]. Ya que estas técnicas han probado su eficacia en la obtención de nuevos materiales con propiedades específicas y de gran valor económico, además la industria de la catálisis se ha convertido en los últimos años en una prioridad para el desarrollo económico de los países del primer mundo, porque sólo así podrán mantener las ventajas tecnológicas y dominio sobre los demás países, ya que el 80% de los procesos químicos y el 85% de los procesos de transformación del petróleo son procesos catalíticos. Estas cifras engloban a los procesos químicos en general, que involucran a sectores como son: petroquímicos, de combustibles, poliméricos, de química fina y farmacéuticos, así como las tecnologías del sector ambiental. Por ello la catálisis debe ser considerada un sector estratégico. Las predicciones para el año 2007 indicaban una cifra global en el mercado mundial de catalizadores de 13000 millones de dólares [3]. Los últimos adelantos en técnicas en síntesis de catalizadores han mostrado que la utilización de nanoestructuras acelera su rendimiento que se ven potencializados al controlar morfologías y tamaños de estos materiales nanoestructurados [4,5].
Se han reportado en la literatura diversos óxidos semiconductores, que presentan fotoactividad en la reacción de conversión del agua, fotoconversion de CO_2 y eliminación de VOC´s [6-8]; empleando los procesos avanzados de oxidación (PAO´s) los cuales ofrecen ventajas significativas frente a otras por su mayor factibilidad termodinámica y una velocidad de oxidación muy elevada por la participación de radicales libres, principalmente el radical hidroxilo (HO·), con propiedades adecuadas para degradar cualquier compuesto orgánico en concentraciones bajas. Por lo que, en la literatura, algunos investigadores presentan esta ruta como una tecnología que permite la completa mineralización de la mayoría de los compuestos orgánicos tóxicos presentes en las aguas residuales y aire [7-8] y que se pueden adaptar fácilmente a los procesos convencionales
Los esfuerzos por llevar a cabo el proceso fotocatalítico de una manera más eficiente, van encaminados hacia la búsqueda de mejorar la respuesta del TiO_2 como fotocatalizador o de buscar nuevos materiales con propiedades semiconductoras con una combinación favorable de estructura electrónica y propiedad de absorber la luz, además de adsorber eficientemente los reactivos. Para establecer la relación estructura-propiedad, se requiere necesariamente llevar a cabo los estudios desde la síntesis del material, su caracterización y la realización de las pruebas catalíticas. En este escrito se discutirá la influencia del método de síntesis (sol-gel y coloidad) y sus propiedades fotocatalíticas relacionadas con la obtención de materiales semiconductores con morfologías controlados, con el fin de potencializar los resultados obtenidos hasta hoy en la eliminación de contaminantes orgánicos volátiles y fotoreducción de CO_2.

Metodología

A. Preparación del TiO_2 por Sol-Gel.

Para la preparación del TiO_2 por el método sol-gel se realizó según la metodología reportada anteriormente [11] se emplearon como precursores el butóxido de titanio (IV), ($Ti[O(CH_2)_3CH_3]_4$, (Sigma Aldrich; 97%), agua desionizada y como catalizador de hidrólisis se empleó ácido acético (CH_3COOH concentrado, DEQ). El procedimiento experimental consistió en colocar un matraz de tres bocas sobre una parrilla de agitación y acoplarlo a un sistema de reflujo y temperatura de 80° C. Enseguida se colocó el agua desionizada y posteriormente se adicionó el ácido, catalizador de la hidrólisis, con una relación ácido: alcóxido, 0.14:1. Posteriormente se incorporó gota a gota el butóxido de titanio. La relación molar agua:álcóxido de 43:1. A partir de la incorporación de este último reactivo se dejó reaccionar a la mezcla por 2 horas. Una vez finalizado el tiempo de reacción el gel obtenido fue secado en la estufa a 100º C y finalmente fue tratado térmicamente a 400º C durante 4 horas con una rampa de calentamiento de 1º C/min.

B. Preparación del TiO_2 por reacción coloidal.

La preparación del TiO_2 por el método coloidial se realizó según lo reportado en la literatura [12] se llevó a cabo colocando la cantidad de etilenglicol, ($C_2H_6O_2$, DEQ) y de butóxido de titanio (IV), (TBT. ($Ti[O(CH_2)_3CH_3]_4$, Sigma Aldrich); grado reactivo; 97%) en un matraz de tres bocas, con la siguiente relación R= TBT/ Sur= 0.1. La mezcla se dejó en vigorosa agitación durante 20 horas a temperatura ambiente. Posteriormente se adicionaron la acetona al 98% para producir la hidrólisis y se dejó agitando durante 1 hora a temperatura ambiente. Se dejó

reposando la suspensión coloidal durante 12 horas para después decantar el sólido precipitado, el cual fue lavado 3 veces con una mezcla agua/etanol 1:1 en volumen. El sólido lavado se dejó secar a 100° C durante toda la noche y posteriormente se trató térmicamente a 400° C durante 4 horas con una rampa de 1° C/min. Además de adicionar en la mezcla inicial 0.5 mL de HOAc.

C. Caracterización.

La caracterización de la morfología por MEB fueron analizados en un microscopio electrónico de barrido de bajo vacío 6490LVde JEOL, acoplado a una sonda de microanálisis de dispersión de energía de rayos X (EDS en ingles) INCA X-Sight de OXFORD instruments. La preparación de la muestra para su análisis consistió en colocar una capa delgada del semiconductor sobre una cinta de carbón adherida al porta-muestras. Posteriormente, la muestra fue introducida en la cámara de vacío dentro del Microscopio Electrónico de Barrido (MEB). Para realizar el análisis elemental vía EDS, las muestras se recubrieron previamente con oro para hacerlas conductoras por medio de un equipo de recubrimiento Denton Vacuum Desk IV. La preparación de las muestras en polvo para su análisis por DRX consistió en moler finamente la muestra en un mortero de ágata hasta asegurar una completa homogenización del oxido metálico. Posteriormente, la muestra fue colocada en un porta muestras y este a su vez fue posicionado sobre la regleta del equipo para dar inicio al barrido. El análisis será realizado en un Difractómetro de Rayos-X D8 Advance de Bruker. Para la determinación del ancho de banda prohibida en polvo, se realizó por medio de mediciones de reflectancia corregido por Kubelka-Munk en un espectrofotómetro UV–Vis Perkin Elmer lambda 35. La medición de área superficial se determinó por medio de la técnica de Fisisorción de nitrógeno (N_2), utilizando el método Brunauer-Emmett-Teller (BET).

D. Pruebas foto catalíticas.

Las pruebas foto catalíticas se realizado según lo reportado en [13] y adaptado para este trabajo, donde la foto conversión de CO_2 hacia otros productos y la degradación de Benceno como molécula modelo de VOC´s se realizó en un reactor batch de 7 cm de diámetro usando una celda de irradiación interna de dos lámparas Pen-Ray de radiación UV con una longitud de onda de 254 nm con intensidad típica cercana a los 254 a 4400 $\mu W/cm^2$, inmersas en dos tubos de cuarzo localizado en el eje Z, Primeramente 100 mL of agua destilada fue adicionada en el foto-reactor, para posteriormente adicionar 200 mg del fotocatalizador el cual fue dispersado vigorosamente por 30 minutos. En el caso de la foto conversión de CO_2 se realizó un vacío e inmediatamente se purgo el sistema con CO_2 por 60 minutos a un flujo de 5 mL por minuto para posteriormente sellar el foto-reactor y colocarlo en recirculación y colocado en línea con el sistema de cromatografía, para proceder a encender las lámparas. Para el caso del Benceno como VOC´s se adiciono la concentración suficiente para tener 100 ppm de Benceno en la solución. La desaparición de CO_2 y Benceno fue monitoreada junto con la producción de metanol en línea con cromatógrafo de gases Perkin Elmer Clarus 680 con un detector TCD y FID, la inyección fue realizada con una válvula de seis vías, la evolución de la reacción fue analizado a intervalos de tiempo de 30 min durante 12 h.

Resultados y discusión

Caracterización de los Nanomateriales: TiO_2

Los resultados de MEB para las muestras sintetizadas de Oxido de titanio por la ruta Sol-Gel se presentan en la figura 1, observándose una heterogeneidad en el tamaño de las partículas en el intervalo de 0.1 μ hasta 1 μ. En general es una característica de la ruta de síntesis al no tener una hidrolisis controlada. Sin embargó, las muestras sintetizadas por la técnica coloidal presentan una gran homogeneidad en la morfología esférica, así como en el tamaño con un promedio de 400 nm, esta característica se debe al control adecuado de la velocidad de hidrolisis efectuada, debido a que cuando se agrega el etilenglicol se produce una interacción directa en la nucleación del TiO_2 al formarse un glicolato de titanio este se hidroliza lentamente al ponerse en contacto con la acetona agregada para tal fin lo que permite generase partículas esféricas de titanio que al ir nucleando produce el correspondiente proceso de crecimiento de TiO_2[13].

Los análisis de Difracción de rayos X (DRX) se muestran en la figura 2, observándose muestran las reflexiones características a la fase anatasa como fase predominante independientemente de la ruta de síntesis seguida.

ISSN: 2007 8102

Las principales reflexiones de los materiales sintetizados y son: (101), (004), (200), (211), (204), (220), (2015) y (315), de la fase anatasa cristalina (JCPDS Expediente N° 21-1272), mostrando una mayor cristalinidad en las muestras sintetizadas por sol-gel en comparación con la ruta coloidal, probablemente debido a la presencia de un catalizador de hidrolisis ya que diversos estudios demuestran que a mayor medio acido se produce mayor cristalinidad [12].

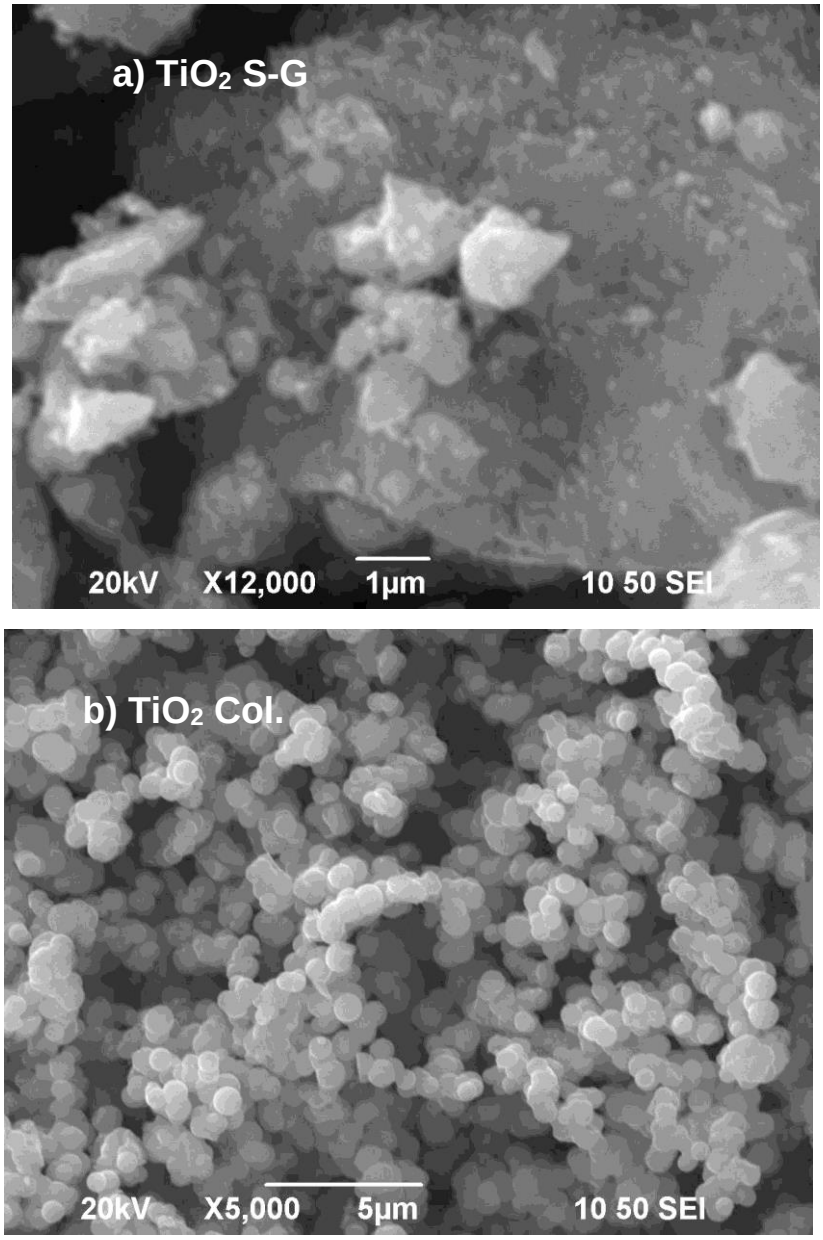


Figura 1. Micrografías de MEB de las muestras de TiO_2 obtenidos por el método Sol-gel y b) coloidal.

Como se ha mencionado, una característica importante en los óxidos metálicos con aplicaciones de descontaminación ambiental por vía foto catalítica, es la determinación de su ancho de banda, el cual fue determinado a partir de los espectros de reflectancia difusa con un ajuste por Kubelka-Munk, esta medición se efectúo en el óxido de titanio sintetizado por las dos rutas, resultando el valor de 3.2 eV para los materiales sintetizados. Lo cual nos indica que este valor determinado no es determinado en los resultados obtenidos. Por otra parte, el área superficial resulta ser un parámetro sumamente importante cuando un material es utilizado en la eliminación de contaminantes por tecnologías foto catalíticas por lo tanto también se determinó el valor y los resultados obtenidos de las áreas superficiales de los materiales de titanio por el método sol-gel y coloidal

 ISSN: 2007 8102

muestran una similitud en valor, por sol-gel presenta un valor de 125 m^2/g y para el material sintetizado por el método coloidal presento un valor de 118 m^2/g.

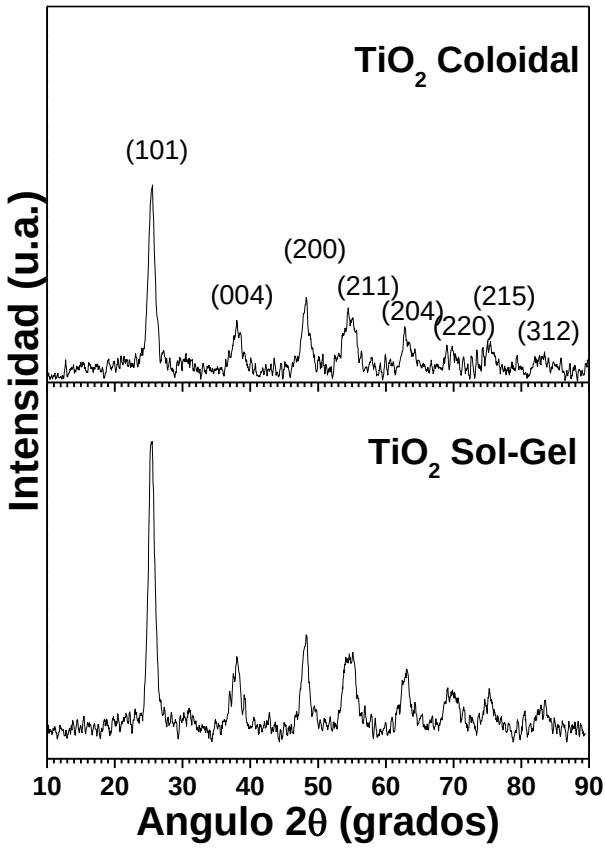


Figura 2. Difracción de Rayos X del TiO_2, sintetizado por a) sol-gel y b) coloidal, tratados a 400 °C

Reacción foto catalítica.

La figura 3. Muestra los resultados de la evolución de la desaparición de CO_2 hacia otros productos, además de la evolución de la desaparición de benceno, para el caso del CO_2, se monitoreo producción de CH_4 y CO y para el caso del Benceno se monitoreo su desaparición. Ambas reacciones fueron monitoreadas en los catalizadores mencionados, TiO_2 sintetizado por son gel y el sintetizado por la ruta coloidal, el tiempo de monitoreo fue cada 30 minutos por 12 horas. Los resultados muestran para el caso dela foto reducción de CO_2, la aparición de 43 y 65 μmol de CO para el TiO_2 sintetizado por sol-gel y Coloidal respectivamente. En cambio, para la eliminación de Benceno los resultados fueron la desaparición del 26 y 35 % para ambos fotocatalizadores respectivamente. Por lo cual, como se mencionó anteriormente el área superficial y valor de Eg es muy similar, por lo cual resultan parámetros no importantes para los resultados de fotoactividad presentados. Entonces el cambio la fotoactividad de los fotocatalizadores de TiO_2, puede ser debido a la cristalinidad y morfología de las mismas. Se ha reportado por diversos autores que un control sobre la morfología de los materiales sintetizados a nano escala permite aumentar la fotoactividad de los materiales [14-15], se ha demostrado que el tamaño de partículas pequeñas es beneficioso en términos de aumentando la probabilidad de que la relación de electron-hueco fotogenerados permiten una mayor actividad en las reacciones realizadas [16]. Aunado que los materiales con alta morfología homogénea tienen una alta actividad atribuida a la presencia de un mayor número de vértices en morfologías [14-15], como es nuestro caso. Esta alta morfología provoca un cambio en la densidad electrónica puntual del material permitiendo una mejor absorción de los contaminantes orgánicos en la superficie del fotocatalizador tal como fue reportado para el caso de hidrogeno con materiales similares [13].

 ISSN: 2007 8102

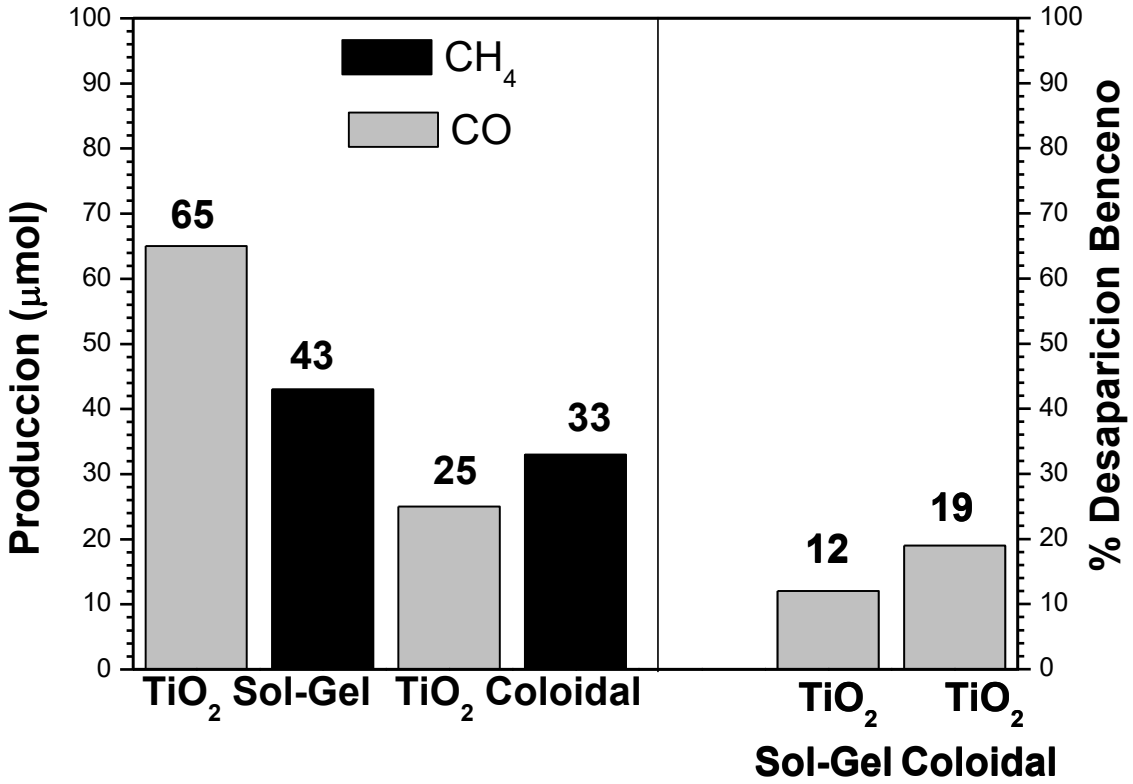


Figura 3. Producción de CO y CH_4 a partir de la reacción de fotoxidación de CO_2 en función del tiempo de síntesis con los catalizadores sintetizados de TiO_2, y desaparición de Benceno.

Trabajo a futuro

El trabajo por realizar abordara una caracterización más completa y un análisis de los productos obtenidos para los mecanismos de reacción involucrados.

Conclusiones

La síntesis de nanopartículas altamente cristalinas TiO_2 se llevó a cabo mediante la vía sol-gel y coloidal con valores de área superficial y ancho de banda similares, la presencia de un surfactante permite tener partículas altamente homogéneas como es el caso de los materiales sintetizados por la ruta coloidal. Se mostro que la velocidad de foto conversión de CO_2 hacia otros productos y la oxidación de VOC´s se ve incrementado en los materiales con mayor morfología, lo cual puede ser atribuido a un cambio en la densidad electrónica superficial de las muestras, por lo cual modificando si modificamos adecuadamente los materiales para obtener una mayor morfología permitirá tener una mejor actividad en las reacciones propuestas.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Tecnológico Nacional de México por el financiamiento.

Referencias

[1] M. Ranjeet Kumar, M. Spandana Samyukthalakshmi, M. Yash, D. Naveen, “Emerging pollutants of severe environmental concern in water and wastewater: A comprehensive review on current developments and future research”, Water-Energy Nexus, vol. 6, pp. 74–95, 2023.

[2] G. Márquez, J. Martínez-Lozano, J. Sánchez-Soriano, E. Algaba, “A novel methodology for public management of annual greenhouse gas emissions in the European Union”, Socio-Economic Planning Sciences, vol. 89, pp. 101697-1017718, 2023.
[3] Domínguez Esquivel, J. Manuel et, al. El amanecer de la catálisis en IberoAmérica. 1ª edición, México D.F., Ed. I.M.P, 2004.
[4] O. Secundino-Sanchez, J. Díaz-Reyes, J.F. Sanchez-Ramírez, J.S. Arias-Ceron, M. Galvan-Arellano, O. Vazquez-Cuchillo, “Controlled synthesis of electrospun TiO_2 nanofibers and their photocatalytic application in the decolouration of Remazol Black B azo dye”, Catalysis Today, vol. 392-393, pp. 13–22, 2022.
[5] O. Vazquez-Cuchillo, A. Manzo-Robledo, R. Zanella, N. Elizondo-Villareal and A. Cruz-Lopez, “Characterization of $NaTaO_3$ synthesized by ultrasonic method”, Ultrasonics Sonochemistry, vol. 20, pp. 498-501, 2013.
[6] H. E. Alanazi, K. M. Emran, “Nd-Gd–Platinum doped TiO_2 nanotube arrays catalyst for water splitting in Alkaline Medium”, International Journal of Electrochemical Science, vol. 18, pp. 100112-100122, 2023.
[7] A. W. Morawski, K. Cmielewska, E. Kusiak-Nejman, P. Staciwa, J. Kapica-Kozar, E. Ekiert, I. Pełech, U. Narkiewicz”, The influence of the addition of carbon spheres on photoactivity of TiO_2 and ZnO in CO_2 reduction process, Journal of CO_2 Utilization, vol. 75 pp. 102553-102562, 2023.
[8] Y. Cuiting, M. Guang, P. Yunhong, X. Qibin, W. Junliang, L. Zhong, X. Jing, “Abatement of various types of VOCs by adsorption/catalytic oxidation: A Review”, Chemical Engineering Journal vol. 370, 1128–1153, 2019.
[9] U. Chakraborty, G. Kaur, H. Rubahn, A. Kaushik, G. R. Chaudhary, Y. K. Mishra, “Advanced Metal Oxides Nanostructures to Recognize and Eradicate Water Pollutants”, Progress in Materials Science, vol. 101169-101336, 2023.
.[10] H. Miao, W. Zhang, T. Wang, Z Yang and C. Kong, “g-C 3 N 4 -based nanocomposites for the photocatalytic degradation of VOCs: A review”, Progress in Natural Science: Materials International, DOI: https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2023.08.004, 2023
[11] O. Vazquez-Cuchillo, A. Cruz-Lopez, L. M. Bautista-Carrillo, A. Bautista-Hernandez, L. M. Torres Martınez, S. Wohn Lee, “Synthesis of TiO2 using different hydrolysis catalysts and doped with Zn for efficient degradation of aqueous phase pollutants under UV light”, Res Chem Intermed, vol. 36, pp. 103-113, 2010.
[12] K. Del Angel-Sanchez, O. Vazquez-Cuchillo, M. Salazar-Villanueva, J. F. Sanchez-Ramırez, A. Cruz-Lopez, A. Aguilar-Elguezabal, “Preparation, characterization and photocatalytic properties of TiO_2 nanostructured spheres synthesized by the Sol–Gel method modified with ethylene glycol”, J Sol-Gel Sci Technol, vol. 58, pp. 360-365, 2011.
[13] M. Salazar-Villanueva, L.R. Morales-Juarez, O. Flores Sanchez, A. Cruz-Lopez, A. Tovar-Corona, O. Vazquez-Cuchillo, “Enhanced photocatalytic water splitting hydrogen production on TiO_2 nanospheres: A theoretical- experimental approach”, Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry 434 (2023) 114212-144221
[14] L. Xiaofang, L. Kangle, D. Kejian, T. Junfeng, S. Rong, S. Jie, L. Chen, “Synthesis and characterization of ZnO and TiO2 hollow spheres with enhanced photoreactivity”, Materials Science and Engineering: B, vol. 158, no. 1–3, pp. 40-47, 2009.
[15] D. L. Liao, B. Q. Liao, “Shape, size and photocatalytic activity control of TiO2 nanoparticles with surfactant”, J Photochem Photobiol A Chem, Vol. 187, no. 2-3, pp. 363-369, 2007.
[16] A. Kudo, Y. Meseke, “Heterogeneous photocatalyst materials for water splitting” Chem Soc Rev, vol. 38, pp. 253-278, 2009.

 ISSN: 2007 8102

Producción de azúcares fermentables a partir de la cáscara *de Arachis hypogaea* para la producción de bioetanol

Rojas-Rodriguez Laura Goretty[1], Arce-Vázquez María Belem[1], Durán-Hinojosa Ulises[2], Mora-Ortega Agustín[1], Enciso-Contreras Ernesto[1]*

[1]Tecnologico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Laboratorio de Energías Alternas Renovables Departamento de Ingeniería Mecánica, Mecatrónica e Industrial, Avenida Tecnológico S/N Colonia Valle de Anáhuac, Sección Fuentes, Ecatepec de Morelos, Estado de México, C.P. 55210, [2]Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Departamento de Biotecnología, Av. San Rafael Atlixco 186, Leyes de Reforma 1ra Secc. CDMX Iztapalapa, 09340 México.

***Área de participación**: Ingeniería Química, *Autor de correspondencia: mariaarce@tese.edu.mx*

Resumen

La producción de biocombustibles ha incrementado recientemente, por lo que hay una búsqueda de alternativas en su producción. Se tuvo por objeto, producir azúcares por hidrólisis química de la cáscara de *cacahuate* (*Arachis hypogaea*) para su fermentación y obtención de bioetanol. En la hidrólisis se evaluó: la concentración de H_2SO_4 (1, 5 y 10% v/v), temperatura (80, 100 y 120°C) y tiempo (45, 60 y 90 min) de acuerdo con el diseño experimental Box-Behnken, con el que se obtuvo las mejores condiciones de hidrólisis produciendo hasta 14.505 geq. glucosa/L utilizando una temperatura de 120°C, 5% de H_2SO_4 por 70 min, observándose que la temperatura tiene mayor influencia sobre el proceso. Al utilizar los hidrolizados en una fermentación con *Sacharomyces cerevisiae* se obtuvo hasta 13.12% de etanol a las 30 h, consumiendo el 98.48% de substrato, Así, la cáscara de cacahuate se considera materia prima útil en la producción de biocombustibles.

***Palabras clave**: Hidrólisis, cáscara de cacahuate, azúcares, sacarificación química*

Abstract

The production of biofuels has increased recently, so there is a search for alternatives in their production. The objective was to produce sugars by chemical hydrolysis of the peanut shell (Arachis hypogaea) for fermentation and obtaining bioethanol. In the hydrolysis, the following were evaluated: the concentration of H_2SO_4 (1, 5 and 10% v/v), temperature (80, 100 and 120°C) and time (45, 60 and 90 min) according to the Box- Behnken experimental design, with which the best hydrolysis conditions were obtained, producing up to 14,505 geq. glucose/L using a temperature of 120°C, 5% H_2SO_4 for 70 min, observing that temperature has a greater influence on the process. By using the hydrolysates in a fermentation with Sacharomyces cerevisiae, up to 13.12% ethanol was obtained at 30 h, consuming 98.48% of the substrate. Thus, peanut shell is considered a useful raw material in the production of biofuels.

***Key words**: Hydrolysis, peanut shell, sugar, chemical saccharification*

Introducción

Debido al crecimiento demográfico y el aumento en la demanda de los combustibles fósiles se estima que el consumo mundial de energía para el año 2035 tendrá un incremento del 49%, respecto a lo consumido a partir de 2007, ya que, estos son la principal fuente de energía a nivel mundial [1]. Por lo que el interés por hallar fuentes de energía sustentable ha incrementado y con ello el perfeccionamiento de las rutas de producción, entre las materias disponibles para la producción de biocombustibles líquidos como el bioetanol, se encuentra la biomasa, la cual está compuesta por una estructura celular que contiene principalmente celulosa, hemicelulosa y lignina (Figura 1) [2]. La celulosa es un polisacárido formado de microfibras cristalinas y compactas que dificultan su despolimerización, la hemicelulosa es un copolímero de estructura amorfa entrelazada a algunas fibras de celulosa, y la lignina es un polímero de alta resistencia e impermeable que dificulta la digestión de la celulosa [3]. El bioetanol es una sustancia que se deriva de la conversión de azúcares obtenidos de diversos cultivos en alcohol. En general, la producción de bioetanol implica 3 pasos, pretratamiento, hidrólisis (ácida o enzimática) y

 ISSN: 2007 8102

fermentación. El pretratamiento o deslignificación consiste en la modificación total o parcial de la estructura cristalina de la celulosa y la barrera formada por la lignina [2].

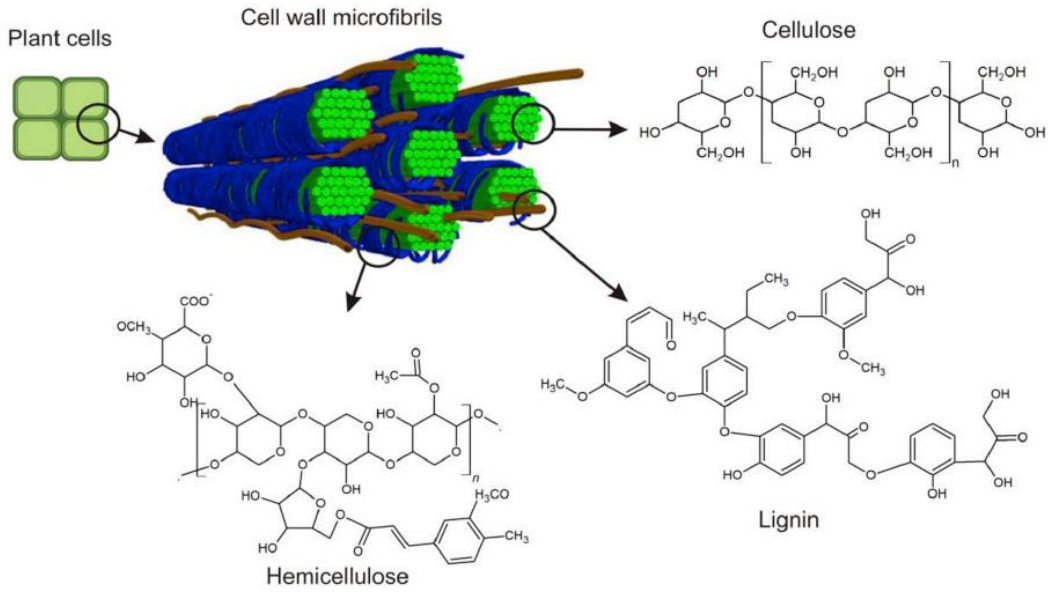


Figura 1. Estructura celular de la biomasa lignocelulósica [2]

La hidrólisis o también llamada sacarificación es un proceso de conversión de la celulosa en monómeros de glucosa, eso se puede llevar a cabo en un medio químico, enzimático o biológico [2] un ataque químico resulta eficiente en este proceso, ya que, el uso de enzimas acarrea problemas en cuanto tiempos y costos de producción [4]. La hidrólisis ácida suele ser el método más eficiente en cuanto a la conversión de la celulosa, hemicelulosa, por lo que, el rendimiento de azúcares se ve favorecido, siempre que la biomasa sea pretratada, ya que, si se prolonga el tiempo de pretratamiento, aumenta la producción de azúcares reductores casi un 90%, se debe considerar que el uso de reactivos químicos puede producir compuestos inhibidores, para procesos posteriores como la fermentación, por lo que, para evitar la agresividad del ácido este puede utilizarse a bajas concentraciones, para evitar la formación de compuestos tóxicos [5]. Sin embargo, para evitar que estos disminuyan el rendimiento y productividad del proceso existen distintos métodos para la eliminación de estos compuestos tóxicos, entre los que se encuentra la adsorción con carbón activado, proceso conocido como deodorización [6]. La fermentación se lleva a cabo la conversión de los azúcares en etanol por medio de microorganismos como *Saccharomyces cerevisiae* [7].

Entre los diferentes recursos disponibles para la producción de combustibles orgánicos se encuentra *Arachis hypogaea* o mejor conocido como maní o cacahuate, que genera como desecho la cáscara, la cual representa aproximadamente el 20% del peso seco de la vaina del cacahuate, y debido a que es un material con una taza de degradación muy lenta en circunstancias naturales y a su alta disponibilidad, es considerado como materia prima con alto potencial en la producción de bioetanol [8]. Debido a su composición, diversos estudios han revelado que la cáscara de cacahuate contiene **celulosa**, **lignina** y **hemicelulosa**, sustancias consideradas importantes en la generación de bioetanol, así como otros componentes que se encuentran en la Tabla 2.

Tabla 1. Composición de la cáscara de cacahuate

COMPOSICIÓN	CONTENIDO (%)	FUENTE
Celulosa	35.7	
Lignina	30.2	[9]
Hemicelulosa	18.7	

La producción de cacahuate a nivel mundial durante el año 2018 fue de 46 millones de toneladas, las cuales, en su mayoría fueron aportadas por China, India y Nigeria, y se tiene estimado que se producen aproximadamente

 ISSN: 2007 8102

entre 230-300 g de cáscara / kg de cacahuate [8]. En México la producción de cacahuate para el año 2019 fue de 81, 413.15 Toneladas, las cuales provienen principalmente de los estados de Chihuahua, Chiapas, Sinaloa y Puebla [10]. Por lo que, esta investigación tiene como objetivo la generación de azúcares reductores por medio de la evaluación de la temperatura, el tiempo y la concentración de H_2SO_4 sobre la hidrólisis ácida de la cáscara de cacahuate (HCC) para la producción de etanol por fermentación con *Sacharomyces cerevisae*.

Metodología

Materiales

La materia prima utilizada se obtuvo de establecimientos locales de la Central de Abastos de Ecatepec, la cepa de *Sacharomyces cerevisae* fue proporcionada por el cepario de la UNAM campus Ciudad Universitaria, ciudad de México. Los procesos experimentales se llevaron a cabo en el Laboratorio de Energías Alternas Renovables (LEAR) del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec en Ecatepec, Edo. Méx. La primera etapa del proceso inicio con el acondicionamiento de la materia prima a partir de la separación manual de la cáscara de *Arachis hipogaea*.

Pretratamiento

La cáscara se trituró en un molino KRUPS hasta obtener un polvo de tamaño de partícula de 1mm, obteniendo harína de cascara de cacahuate (HCC), se estimó el porcentaje de humedad por gravimetría y la biomasa se deslignificó sumergiéndola en una solución de NaOH al 0.1N durante 3 horas, después se filtró y se obtuvo un licor negro de lignina y un sólido que contenía la celulosa y hemicelulosa de la cáscara, finalmente el sólido se colocó en la estufa de secado (ECOSHEL) a una temperatura de 60°C durante 2 horas y se resguardo.

Análisis experimental

Para la optimización de la hidrólisis ácida, se llevó a cabo la evaluación de las condiciones que tienen un mayor impacto en la transformación de la materia lignocelulósica en azúcares, para así definir las variables a considerar dentro del diseño. Se tomaron como variables independientes a la, concentración de ácido, tiempo y temperatura, cada una con 3 niveles, alto, medio y bajo, como se muestra en la Tabla 3. Con ayuda del programa STATGRAPHICS versión Centurion XVI.I y aplicando el diseño experimental Box-Behnken, se llevaron a cabo los experimentos conforme a las corridas arrojadas por el programa.

Tabla 2. Diseño experimental para la producción de azúcares reductores de cáscara de cacahuate

Variables independientes	Valor del nivel		
	Bajo	**Medio**	**Alto**
Concentración de H_2SO_4 (% v/v)	1	5	10
Tiempo (min)	45	60	90
Temperatura (°C)	80	100	120

Como factor dependiente se estableció la producción de azúcares reductores (Y) de acuerdo con investigaciones previas [6]. Para determinar los patrones de comportamiento de los factores (concentración de ácido, tiempo y temperatura) de la producción de azúcares en la hidrólisis ácida de la cáscara de cacahuate se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) con el programa RStudio versión 2021.09.01 Build 372, utilizando los resultados experimentales de este proceso.

Hidrólisis ácida

Los experimentos se llevaron a cabo agregando muestra pretratada dentro de tubos de ensaye mezclados con H_2SO_4, a diferentes concentraciones (1, 5 y 10% v/v), en una relación de 2:9 (HCC: H_2SO_4 p/v) según la metodología propuesta por Arce (2014). La relación fue establecida de acuerdo con la bibliografía reportada y experimentos realizados, de forma que se obtenga la mayor cantidad de azúcares de la cáscara de cacahuate , los tubos se colocaron en un Reactor Digital (HACH) programando los tiempo y temperaturas de reacción de

 ISSN: 2007 8102

acuerdo con las corridas del diseño experimental, al final de la reacción las mezclas de cada tubo se neutralizaron con una solución saturada de KOH, los hidrolizados se filtraron y la solución líquida se utilizó para la cuantificación de azúcares por la metodología DNS de Miller (1959) [12].

Deodorización

La deodorización se realizó con lavados con carbón activado granular (AC), donde el hidrolizado se colocó en un matraz Erlenmeyer, se adiciono 2.5% (p/v) de AC y se llevó a un orbital a 200 rpm durante 10 minutos, para asegurar la máxima eliminación de compuestos fenólicos, el AC se eliminó con papel filtro y el sobrenadante se centrifugo a 200 rpm, para después ser neutralizado con H_2SO_4 al 1% y este se encuentre en condiciones de ser utilizado como medio de fermentación. La cuantificación fenólica se realizó por el método Folin-Ciocalteau [6].

Fermentación

Se preparó un inóculo de *Saccharomyces cerevisae* en un medio de cultivo YPD, se incubo hasta que la absorbancia indicada en el espectrofotómetro fuese de 1.6 a 660 nm, lo cual ocurrió pasadas las primeras 24 horas. Se prosiguió a inocular la cepa en un medio de cultivo, con un pH de 5, la concentración de azúcares fue de 150 g eq G/L. La fermentación se llevó a cabo en matraces Erlenmeyer de 250 mL con un volumen de líquido de 100 mL con un inoculo de 2% (v/v) de la cepa, en una incubadora a 30°C, durante 30 horas. Se realizaron tomas de muestra cada 5 horas, a las cuales, se les cuantificó la concentración de azúcares reductores por la metodología de DNS [11] [12] y la concentración de etanol por refractometría y la producción de biomasa por gravimetría.

Resultados y discusión

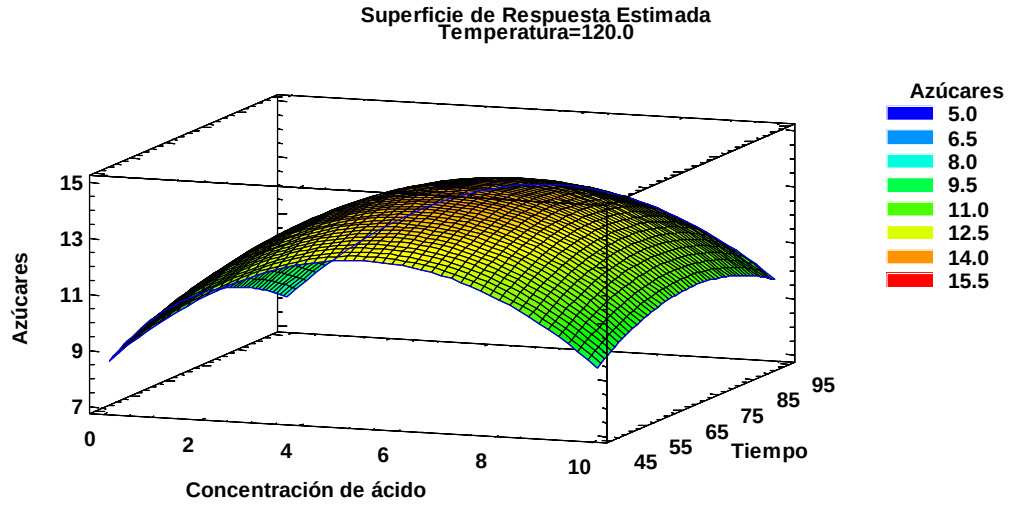
Hidrólisis ácida de cáscara de cacahuate

El valor máximo de azúcares reductores derivado de la hidrólisis ácida sobre HCC, se obtuvo a una temperatura de 120°C empleando una concentración de H_2SO_4 del 5% (v/v) y con un tiempo del proceso de 90 minutos, produciendo hasta 13.3291±0.36 g eq G / L. Al realizar el análisis de los datos en STAT Graphics (Versión de prueba), se obtuvó el grafico de superficie de respuesta (Figura 2) que muestra el valor óptimo y las variables por respuesta utilizando la información de las corridas del diseño experimental utilizado, donde las zonas que van de amarillo a naranja muestran los valores entre los que se encuentra la mayor producción de azúcares con relación al tiempo y concentración de ácido teniendo establecida la temperatura máxima del proceso. Los valores óptimos arrojados por el análisis del diseño experimental Box- Behnken para producir la máxima cantidad de azúcares fueron a una temperatura de 120°C durante aproximadamente 70 minutos para generar hasta 14.505 g eq G / L para la hidrólisis con ácido sulfúrico a una concentración de 5% (v/v).

En la Figura 2, se puede observar que al aumentar la concentración del ácido, la liberación de azúcares aumenta hasta llegar al máximo de 14.505 g eq G / L y posteriormente va disminuyendo conforme la concentración de acido y tiempo de reacción van aumentando, esto se debe principalmente a que los azúcares siguen reaccionando con los protones del medio hasta convertirse en furfural, lo que se debe evitar si se quieren utilizar posteriormente en la fermentación.

Se observa una que los azúcares liberados fuerón en el presente estudio son muy superiores a lo reportado por Ayesa (2020) [6], en el que realizarón la hidrólisis ácida de residuos de cáscara de granada, materia prima con un valor similar de celulosa que el cacahuate (35.3%), al utilizar un diseño compuesto central de la metodología de superficie respuesta para la producción de etanol, consideraron independientes: concentración de ácido sulfúrico (H_2SO_4), temperatura y tiempo de hidrólisis, con 3 niveles cada uno, alto, medio y bajo, y como variable respuesta el contenido de azúcares reductores, donde se observó la máxima liberación de azúcares de 0.56 g eq G/L por una hidrólisis ácida al 5% (v/v), 100°C durante 30 minutos, así mismo, al compararlo con los resultados de la hidrólisis realizada por Santhosh (2014) para muestras de cascara de cacahuate (H_2SO_4 0.5 %, T=65ºC) obtienen hasta 0.233 g eq G/g de muestra, en donde claramente la temperatura es un factor influyente en la hidrólisis.

 ISSN: 2007 8102



$$Y = -65.4086 + 2.7954x_1 + 0.2988x_2 + 0.9525x_3 - (-0.1476)x_1^2 + (0.001748)x_1x_2 - (-0.0110)x_1x_3 - (-0.0019)x_2^2 - (-0.0002)x_2x_3 - (-0.0033)x_3^2$$

Donde X_1= temperatura (ºC), X_2= concentración de H_2SO_4 (% v/v) y X_3= tiempo (min)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Concentración de ácido	5.61584	1	5.61584	8.15	0.0101
B: Tiempo	6.30269	1	6.30269	9.14	0.0070
C: Temperatura	187.82	1	187.82	272.47	0.0000
AA	64.0553	1	64.0553	92.93	0.0000
AB	0.266346	1	0.266346	0.39	0.5416
AC	7.93174	1	7.93174	11.51	0.0031
BB	5.47671	1	5.47671	7.95	0.0110
BC	0.133217	1	0.133217	0.19	0.6652
CC	13.1336	1	13.1336	19.05	0.0003
bloques	0.0000389559	1	0.0000389559	0.00	0.9941
Error total	13.0971	19	0.689321		
Total (corr.)	381.745	29			

R-cuadrada = 96.5691 porciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 94.7634 porciento
Error estándar del est. = 0.830254
Error absoluto medio = 0.549544
Estadístico Durbin-Watson = 2.73444 (P=0.9593)
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.415781

Figura 2. Superficie de Respuesta y valores estadísticos del diseño experimental Box- Behnken, para la cuantificación de azúcares reductores de la cáscara de cacahuate

Lo anterior se explica a que la temperatura es un factor influyente en el proceso de la hidrólisis, y en el caso de Santhosh, la baja concentración de ácido, que hace que en el medio se haga deficiente la presencia de protones para reaccionar con las moléculas de celulosa y no lograron romperse los enlaces β-glucosidico por completo teniendo como resultando rendimientos más bajos de azúcares.

Para corroborar el efecto de los factores sobre la hidrólisis se obtuvo mediante el análisis de los componentes principales (PCA), donde se estableció a la temperatura, la concentración de ácido y el tiempo como el conjunto de variables para determinar los factores del PCA, y como variable respuesta la producción de azúcares. De acuerdo con la Figura 3, se determinó que el primer componente principal dentro de la producción de azúcares

 ISSN: 2007 8102

reductores durante la hidrólisis ácida fue la temperatura, que aporta aproximadamente el 30% de la varianza total en el conjunto de datos, es decir, la temperatura es el componente que mayor influencia tiene sobre dicho proceso, por consiguiente, al aumentar esta, incrementa la producción de azúcares durante la hidrólisis ácida, esto se debe además por que se mejora el nivel de cristalinidad de la estructura molecular de la cáscara de cacahuate y por consiguiente, existe una mayor degradación de las regiones amorfas de los oligosacáridos en monómeros de glucosa que contiene la materia prima.

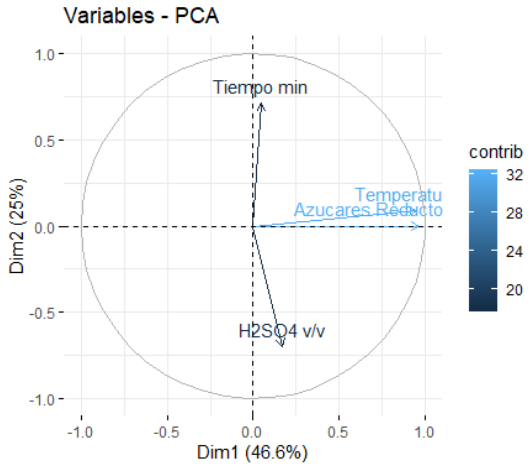


Figura 3. PCA de la hidrólisis ácida de la cáscara de cacahuate

El segundo componente principal dentro de la producción de azúcares reductores durante la hidrólisis ácida es la concentración de ácido, que contribuye con aproximadamente el 20% de la varianza total en el conjunto de dato, mientras que el tercer componente principal es el tiempo, el cual, aporta menos de 15% de la varianza total del conjunto de datos, sin embargo, aunque es el factor que menos contribuciones aporta al proceso de hidrólisis química de la cáscara de cacahuate, es un factor determinante para los próximos procesos, puesto que, a mayor tiempo de contacto entre el ácido y la materia prima, mayor exposición de la celulosa en el medio y, por consiguiente la degradación de la celulosa continuaría a compuestos fenólicos, componentes que se verán comprometidos en la producción de etanol durante la fermentación.

Producción de etanol

La producción de etanol se llevó a cabo con la fermentación con *Saccharomyces cerevisiae*, de azúcares obtenidos de la hidrólisis ácida de cáscara de cacahuate, durante 30 horas, con un pH de 5, a una temperatura de entre 30 y 35°C y se tomaron muestras cada 5 horas. Se utilizaron dos medios de fermentación, uno con deodorización (CD) y otro sin deodorización (SD) con el fin de analizar si el proceso de deodorización aumenta significativamente la producción de bioetanol. Los resultados del medio SD mostraron que la producción de etanol aumentó a medida que la fermentación avanzaba, pasadas las primeras 5 horas se aprecia una producción de aproximadamente 11% (v/v) de etanol (Figura 4) mientras que la máxima cantidad de etanol fue de 13.12% (v/v) de etanol, después de 30 horas.

En cuanto al consumo de azúcares inicial del medio SD fue de 152.65 g eq G / L y para el primer muestreo la concentración redujo casi un 50% del total, mismo que fue disminuyendo gradualmente hasta el 98.48%, terminándose la fermentación con una concentración de azúcares de 2.32 g eq G / L. Por otro lado, la producción de etanol del sustrato CD mostró una disminución de azúcares después de la eliminación de compuestos en la deodorización (furfural, fenoles, principalmente), por lo que se inicio con una concentración de azúcares de aproximadamente 94 g eq G / g. En cuanto a la producción de etanol pasadas las primeras 5 horas aumentó hasta 11% (v/v) como se muestra en la Figura 5, para alcanzar una producción del 16% equivalentes a 126.24 g/L y al mismo tiempo se consumió hasta el 90% de azúcares del medio. Así mismo, la eliminación o reducción de compuestos inhibidores contenidos en hidrolizados de biomasa se ven afectados positivamente, debido a que cuanto menor sea la presencia de estos en el medio de fermentación, mayor será la tasa de crecimiento celular, por lo tanto, el lavado con AC de los hidrolizados de la cáscara de cacahuate mejoró la producción de etanol, en comparación con el medio que no se deodorizó.

 ISSN: 2007 8102

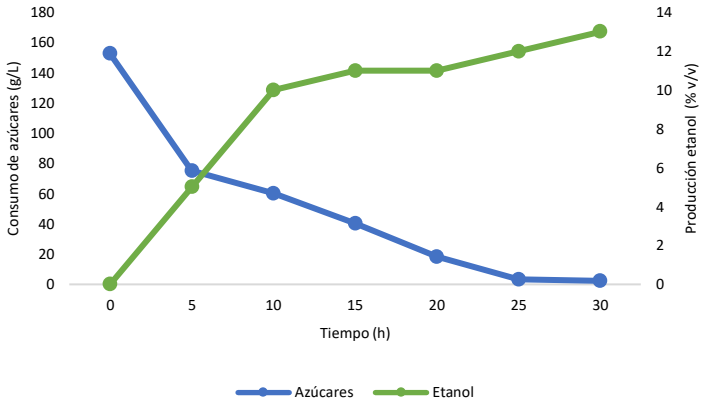


Figura 4. Fermentación de azúcares de la cáscara de cacahuate SD

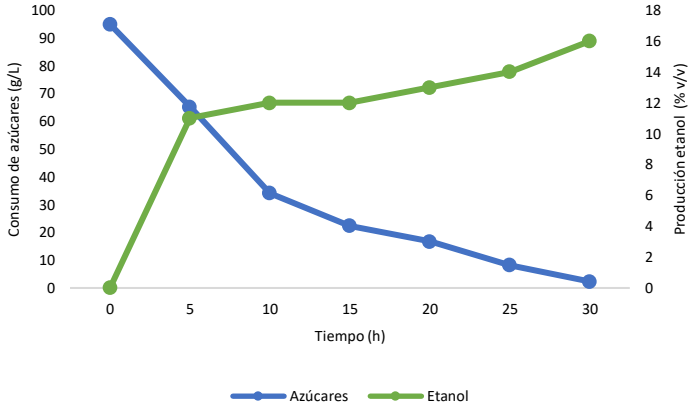


Figura 5. Fermentación de azúcares de la cáscara de cacahuate CD

Los resultados son superiores a lo reportado por García (2021) [14], quien obtubo 33.5 g/L de etanol al mismo tiempo, utilizando azúcares fermentables sin deodorizar obtenidos del tallo de amaranto. La diferencia tan importante de obtención de etanol utilizando el mismo microorganismo, puede asociarse al proceso de deodorización que elimina compuestos como el furfural y compuestos fenolicos que se liberán de la matriz lignocelulósica y que afecta directamente en la ruta fermentativa de la levadura de *Sacharomyces* inhibiendo la tasa de producción de biomasa y de etanol.

Trabajo a futuro

Llevar a cabo el uso integral de más de un componente de *Arachis hypogaea*, para lo cuál se necesitarían más estudios para su posible aplicación dentro de una biorrefinería.

Conclusiones

De acuerdo con el análisis del PCA el aumento en la temperatura genera una mayor producción de azúcares en la hidrólisis ácida de la cáscara de cacahuate, debido a que desestructura la regio cristalina de los oligosacáridos y los transforma en monómeros de glucosa, sin embargo, también se debe considerar los otros dos factores como el tiempo y la concentración de ácido, ya que, entre más tiempo se encuentren en contacto el ácido y la biomasa, mayor será la exposición de la celulosa en el medio y por consiguiente la degradación continuará a la generación de compuestos fenólicos, lo cuales causarían una producción ineficiente de etanol durante la fermentación. La máxima producción de azúcares mediante el uso de cáscara de cacahuate fue de 14.505 g eq G / L, de acuerdo con el análisis del diseño experimental Box- Behnken, el cual mostró que se debe llevar a cabo la hidrólisis con ácido sulfúrico al 5% de concentración, a una temperatura de 120°C durante 70 minutos. La producción de etanol por fermentación sumergida utilizando un medio deodorizado produce una mayor cantidad de etanol que un medio

 ISSN: 2007 8102

al que no se mezcló con AC, produciendo aproximadamente 16% (v/v) de bioetanol. Por lo que, *Arachis hypogaea* es un cultivo con alto potencial para la producción de bioetanol, ya que el contenido de celulosa que aporta la cáscara es una fuente potencial para su uso en la generación de combustibles orgánicos, y el uso de la cáscara de cacahuate para la producción de azúcares fermentables aumenta el valor agregado de este tipo de cultivo para la generación de un biocombustible de segunda generación.

Agradecimientos

Se agradece al Tecnológico Nacional de México en su unidad del Tecnológico de Estudos Superiores de Ecatepec y el laboratorio de Energías Alternas Renovables de la Maestria en Eficiencia Energética y Energías Renovables de la División de Ingeniería Mecánica Mecatrónica e Industtial por el prestamo de las instalaciones para desarrollar el proyecto, así mismo al COMECYT por el apoyo económico bridado através del Programa Investigadoras e Investigadores COMECYT EDOMÉX-2023.

Referencias

[1] W. Yan Cheah, R. Sankaran, P. Loke Show, T. Nilam Baizura, K. Wayne Chew, A. Culaba and . J.-S. Chang, "Pretreatment methods for lignocellulosic biofuels production: current advances, challenges and future prospects," Biofuel Research Journal , pp. 1115-1127, 2020.
[2] Raud, et. al., "Potentials and challenges in lignocellulosic biofuel production technology," Elsevier, pp. 44-56, 2019.
[3] R. Shahabaldin , O. Bahareh , C. Jinwoo , T. Amirreza , S. Farzaneh , H. Beshare , R. Parveen Fatemeh and M. Ali Akbar , "Different pretreatment technologies of lignocellulosic biomass for bioethanol production: An overview," Elsevier, 2020.
[4] A. M. Vele Salto, M. F. Abril González, T. S. Zalamea Piedra and V. P. Pinos Vélez, "MiniReview: Application of Ionic Liquids in Acid Hydrolysis of Lignocellulosic Material to Obtain Sugars," RevistaCienciaenDesarrollo, vol. 12, no. 1, pp. 55-67, 2021.
[5] A. P. B. Mariano, Y. Unpaprom and R. Ramaraj, "Hydrothermal pretreatment and acid hydrolysis of coconut pulp residue for fermentable sugar production," Elsevier, pp. 31-40, 2020.
[6] S. Ayesha , H. Ali, C. Asma , A. Qurat-ul-Ain , I. Mehwish , J. Arshad and M. A. Afia , "Acid hydrolysis optimization of pomegranate peels waste using response surface methodology for ethanol production," Springer, pp. 1-12, 2020.
[7] V. Katja , K. Željko and L. Maja , "Bioethanol Production by Enzymatic Hydrolysis from Different Lignocellulosic Sources," MPDI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute), pp. 1-23, 2021.
[8] G. S. Dallarmi, F. V. Leimann and S. R. Salvador Ferreira, "Biorefinery approach: Is it an upgrade opportunity for peanut by-products?," Elsevier, pp. 56-69, 2020.
[9] H. Nasution, K. Kosasih, Maulida and A. M. Fath, "Properties of unsaturated polyester composite filled with cellulose from peanut shell (Arachis hypogea I.): the effect of filler content and compatibilizer addition," IOP Publishing Ltd, pp. 1-10, 2019.
[10] SIAP, "Anuario Estadístico de la Producción Agrícola," 30 Junio 2021. [Online]. Available: https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/.
[11] M. B. Arce-Vazquez, E. Delgado-Fornué, M. E. Esquivel-Rosales, and J. Soriano-Santos, J. Amaranth (Amaranthus Hypochondriacus L.): Use of Lignocellulosic biomass to obtain antioxidant extracts through acid hydrolysis. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, vol. *4,* no. 5, pp. 61-73, 2014.
[12] Miller, "Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar," Analytical Chemistry, 1959.
[13] S. Santhosh Kumar , S. Sudarshan and R. Venkatesh , "Determination of sugars by acid hydrolysis of peanut husk (Arachis hypogaea) by standard methods," Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, pp. 650-653, 2014.
[14] A. M. García Granobles, A. Mora Ortega, J. Soriano Santos, E. Enciso Contreras and M. B. Arce Vazquez, "Uso del tallo, hoja e inflorescencia de *Amaranthus hypochondriacus* L. para la producción de bioetanol," Journal CIM, vol. 9, no. 1, pp. 1320-1327, 2021.

 ISSN: 2007 8102

Evaluación de la producción de biomasa en cultivos de microalgas mediante el conteo celular utilizando algoritmos de visión por computadora

Julio César Martínez Morgan [1], José Armando Fragoso Mandujano [2], Héctor Ricardo Hernández de León[3], Sheyla Karina Flores Guirao[4]
[1]Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez, D01270526@tuxtla.tecnm.mx,
[2]Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez, jose.fm@tuxtla.tecnm.mx,
[3]Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez, hector.hl@tuxtla.tecnm.mx,
[4]Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez, sheyla.fg@tuxtla.tecnm.mx.

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

El objetivo del trabajo presentado fue evaluar la producción de biomasa microalgal producida en un fotobiorreactor y la correlación existente entre la cantidad de biomasa producida y el crecimiento de las células, mediante la implementación de un sistema de visión por computadora. Las condiciones de operación en el fotobiorreactor se monitorearon constantemente durante 30 días, durante los cuales el cultivo se expuso a luz azul (450 nm). Se utilizaron sensores con la finalidad de verificar que los parámetros físicos conservaran las condiciones idóneas para favorecer el crecimiento del cultivo de microalgas, obteniendo una biomasa total de 6.67 gL^{-1} y 5.36 x 10^5 células mL^{-1}. Se utilizaron imágenes microscópicas de las células de microalgas para la implementación de algoritmos de procesamiento de imágenes que facilitaron el análisis de los datos y redujeron el tiempo de procesamiento durante el proceso de conteo celular.

***Palabras clave**: conteo celular, microalgas, visión, biomasa.*

Abstract

The objective of the work presented was to evaluate the production of microalgal biomass generated in a photobioreactor and the correlation between the amount of biomass produced and the growth of the cells, through the implementation of a computer vision system. The operating conditions in the photobioreactor were constantly monitored for 30 days, during which the culture was exposed to blue light (450 nm). Sensors were used in order to verify that the physical parameters maintained the ideal conditions to favor the growth of the microalgae culture, obtaining a total biomass of 6.67 gL^{-1} *and 5.36 x 105 cells* mL^{-1}*. Microscopic images of microalgae cells were used for the implementation of image processing algorithms that facilitated data analysis and reduced processing time during the cell counting process.*

***Key words**: cell count, microalgae, vision, biomass.*

Introducción

En los sistemas productivos de la sociedad actual, el consumo de materiales no renovables basados en petróleo como fuente principal de energía, está destinada a desaparecer. Los yacimientos actuales de combustibles fósiles serán insuficientes para satisfacer la demanda energética por al crecimiento exponencial de la población e industria, además de las consecuencias medioambientales de la producción, transporte y procesamiento de hidrocarburos para generar energía [1]. Esta situación ha derivado en la búsqueda de fuentes alternativas de energía a partir de materia prima renovable, que logre reducir el daño ambiental. Dentro de estas alternativas se encuentra el estudio de las microalgas por su capacidad de generar grandes concentraciones de lípidos y carbohidratos, los cuales se utilizan para producir biocombustibles, biofertilizantes o derivados alimenticios de alto valor energético [2]. La biomasa producida en los cultivos de microalgas dentro de fotobiorreactores es

 ISSN: 2007 8102

indispensable para la producción de estos derivados, debido a la transformación de ácidos grasos a ésteres metílicos.
La biomasa es generalmente clasificada según su diversidad biológica, fuente y origen, es decir, de productos vegetales y animales o de mezclas de plantas, animales y materiales manufacturados [3]. Dentro de esta clasificación, la implementación de energías limpias basadas en fuentes vegetales presenta un gran potencial, destacando entre ellas la generación de biomasa a base de microalgas [4]. La biomasa microalgal tiene la capacidad de acumular cantidades relativamente grandes de lípidos, alterando su ruta metabólica, la cual se concentra en los llamados cuerpos lipídicos que se consiguen extraer en la forma de ésteres metílicos de ácidos grasos para la producción de biocombustibles [5]. Los estudios realizados a microalgas son enfocados principalmente en la identificación de especies, selección de cepas, el análisis de los procesos que intervienen en el crecimiento del cultivo y la obtención de los productos derivados [6]. El monitoreo de las fases de crecimiento en los cultivos de microalgas es esencial para la estimación precisa, simple y rápida de la producción de biomasa. La cuantificación de biomasa microalgal se realiza mediante diversos métodos analíticos considerados eficientes, generalmente se basan en mediciones en línea y fuera de línea. No obstante, la instrumentación de los equipos durante las cinéticas de crecimiento resulta compleja, por lo cual no es posible realizar las mediciones en línea de todas las variables de interés en el proceso de producción de biomasa [7]. Además, son lentos y dependen de las condiciones de operación implementadas en cada cinética de crecimiento del cultivo, lo que dificulta el seguimiento y retrasa los períodos de medición de las variables características [8].

La composición de los pigmentos en microalgas determina la variación de color y representa un potencial significativo para la evaluación de biomasa mediante análisis de color [9]. El reconocimiento de imágenes en la detección de cambios de color en el bioproceso usando microalgas en un fotobiorreactor incrementa la biomasa y reduce costos de cultivo [10]. Es por este motivo que para determinar la presencia de pigmentos fotosintéticos es necesario utilizar el análisis de imágenes como instrumento de medición de la concentración de biomasa en diferentes muestras de microalgas [11]. Los métodos más utilizados para la cuantificación de la biomasa son el conteo celular a partir del uso de cámaras de Neubauer [12] y la estimación por peso seco, donde el peso directo de la biomasa en una muestra de cultivo es más confiable al disponer de una cantidad relativamente grande de muestras. En el proceso de conteo celular se generan imprecisiones al estimar la concentración de células de microalgas manualmente sin considerar si las células cambian su morfología y composición, es decir, sus propiedades ópticas [13]. La naturaleza de las microalgas, así como la presencia de diferentes pigmentos fotosintéticos requiere del desarrollo de nuevas técnicas que garanticen una alta precisión para cuantificar la cantidad de biomasa microalgal producida. La visión por computadora es una de las técnicas con gran potencial para implementarse en el trabajo con microorganismos; en el caso específico de las microalgas permite automatizar el proceso de conteo celular, reduciendo así la cantidad de errores humanos por medición y mejorando la eficiencia.

La aplicación de algoritmos de Canny para la detección de contornos es ampliamente utilizado en diversos casos como son: determinar el comportamiento morfológico de piezas, la variación morfológica en los lechos de tabletas farmacéuticas para determinar cambios de forma y posición o posibles daños durante el proceso de recubrimiento [14], implementación de imágenes cross-espectrales para mejorar la precisión en la detección de bordes del espectro infrarrojo [15] o trabajos con aplicaciones en seguridad informática para crear cifrados en sistemas criptográficos multimedia [16]. La flexibilidad en su manejo permite que sea aplicado como una herramienta de medición de células que mejore la precisión de los resultados y facilite el procedimiento de conteo celular. Los algoritmos de visión por computadora logran identificar, contar y clasificar células en imágenes tomadas de un microscopio, utilizando características específicas de las células, como son la forma, el tamaño y el color. También permite el análisis de imágenes de alta resolución, así como el procesamiento de grandes cantidades de datos en poco tiempo. La implementación de las técnicas de visión por computadora en el conteo celular mejora significativamente la precisión y exactitud del proceso de conteo, lo cual la convierte en una herramienta valiosa en la producción de biocombustibles. En este trabajo se propuso el uso de herramientas de visión por computadora e inteligencia artificial para el conteo celular en una muestra de medio de cultivo con microalgas de la especie *Verrucudesmus verrucosus*.

ISSN: 2007 8102

Metodología

Materiales y métodos

El estudio se realizó para analizar la producción de biomasa durante las cinéticas de crecimiento de microalgas, con los métodos analíticos conocidos (peso seco, conteo celular). El cultivo de microalgas se realizó con la especie *Verrucudesmus verrucosus*. La temperatura ambiental se mantuvo constante a 22 °C, la medición del pH inicial fue de 7 y un pH de 9 al finalizar el experimento, se efectuó revisión constante durante la cinética de crecimiento. Para estimular el crecimiento celular, el cultivo se expuso a luz azul (450 nm) [17].

Cinéticas de crecimiento

Las cepas de microalgas se inocularon en frascos de cristal graduados de 500 mL, con el medio Blue Green 11 (BG-11) para realizar la cinética de crecimiento, el volumen de los inóculos empleados (225 mL) fue del 10 % del volumen total de operación del fotobiorreactor utilizando una concentración de 1 x 10^6 cel mL^{-1}. Los inóculos se incubaron por 12 días con exposición de luz azul (450 nm) a 2000 lux. con un fotoperíodo 12:12 (Horas Luz: Horas Oscuridad).
Las soluciones empleadas para la preparación del medio de cultivo Blue Green-11 (BG-11), se describen a continuación: 1.5 g/L^{-1} ($NaNO_3$), 0.04 g/L^{-1} (K_2HPO_4), 0.075 g/L^{-1} ($MgSO_4.7H_2O$), 0.036 g/L^{-1} ($CaCl_2.2H_2O$), 0.006 g/L^{-1} (Ácido cítrico), 0.006 g/L^{-1} (Citrato Férrico Amoniacal), 0.001 g/L^{-1} ($EDTANa_2$), 0.002 g/L^{-1} (Na_2CO_3), 0.00286 g/L^{-1} (H_3BO_3), 0.00186 g/L^{-1} ($MnCl_2$. $4H_2O$), 0.00022 g/L^{-1} ($ZnSO_4.7H_2O$), 0.00039 g/L^{-1} ($Na_2MoO_4.2H_2O$), 0.00008 g/L^{-1} ($CuSO_4.5H_2O$) 0.00005 g/L^{-1} ($Co(NO_3)_2.6H_2O$), pH ajustado a 7.

Concentración de biomasa

Cuantificación por peso seco

La cuantificación de biomasa se realizó mediante el procedimiento de peso seco, utilizando membranas para filtración de acetato de celulosa (0.46 µm) introducidas en un horno de secado para laboratorio por 24 horas a 75 °C, hasta lograr peso constante. Una vez retirados, se filtraron 3ml de cultivo a través de las membranas usando una bomba de vacío conectada a un equipo de filtrado para laboratorio. Posteriormente, la muestra de biomasa retenida en el filtro se introdujo en un horno de secado para laboratorio por 24 horas a 75 °C, hasta conseguir peso constante. La biomasa se determinó por:

$$\text{Biomasa} = \frac{\text{Peso final de la muestra} - \text{Peso inicial de la muestra}}{\text{Volumen total de la muestra}} \quad (1)$$

Conteo celular

El conteo celular se efectuó usando un hematocitómetro de 0.1 mm de profundidad con reglilla de Neubauer. Esta reglilla consta de 9 cuadros con lados de 1 mm (área total de recuento = $9mm^2$), cada lado presenta un volumen de 0.1 µm. Los cuatro extremos están seccionados en cuadros de menor tamaño. El cuadro central contiene 25 cuadros, cada uno con un área de = 0.4 mm^2 (2 mm^2 x 2 mm^2) divididos a su vez en 16 cuadros de menor tamaño. La preparación del hemacitómetro consistió en introducir 1 mL del cultivo, posteriormente, la cámara de recuento se colocó en un microscopio Amscope (r) y se realizó el conteo manualmente con una lente a 40 aumentos. El total de células está determinado por:

$$C = N \text{ x } 10^4 \text{ x dil} \quad (2)$$

Donde:
C = células mL^{-1}
N = Promedio de células en 1 mm^2 (0.1 µL)
10^4 = Factor de conversión de 0.1 µL a 1 mL
dil = Factor de dilución (si se consideró necesario diluir la muestra)

ISSN: 2007 8102

Medición de parámetros de crecimiento

El comportamiento de las variables que inciden en el crecimiento de las microalgas fue monitoreado mediante la implementación de sensores previamente calibrados. Se extrajo una muestra de 5 mL del cultivo, para proceder a las mediciones de temperatura, nitratos (NO_3) oxígeno disuelto (OD), oxígeno en gas (O_2 Gas), dióxido de carbono (CO_2 Gas) y pH. Las lecturas se verificaron en tiempo real mediante el software Vernier Graphical Analysis™ Pro.

Implementación de algoritmos de visión artificial

Para esta propuesta se realizó la captura de imágenes en microscopio durante el procedimiento de conteo celular, se procedió a implementar el algoritmo de Canny para detección de bordes. El proceso a realizar consistió en preprocesar la imagen para reducir el ruido presente mediante un filtro Gaussiano, posteriormente se procedió al cálculo del gradiente para detectar cambios en la intensidad de los pixeles, se realizó la supresión de no máximos para eliminar los pixeles no relevantes en la detección de bordes, con la finalidad de evitar la creación de bordes múltiples o fragmentados en la imagen filtrada. Se llevó a cabo la umbralización de la imagen para segmentar sus diferentes objetos, es decir, determinar si un pixel forma parte del fondo o forma parte del borde del objeto. Finalmente se conectaron los bordes generados para obtener una línea continua alrededor con la forma de una microalga.

Resultados y discusión

El monitoreo de la cinética de crecimiento fue evaluado durante 30 días con un fotoperíodo 12:12 Horas Luz: Horas Oscuridad, a una exposición de luz azul (450 nm) a 2000 lux. Los resultados demostraron que, al encontrarse en un ambiente idóneo con el medio de cultivo adecuado, las microalgas produjeron una mayor cantidad de biomasa y presentaron un crecimiento celular favorable, siendo notable en el microscopio al realizar el conteo celular.

Se observó que la concentración de biomasa de la microalga *Verrucudesmus verrucosus* aumentó cuando se tuvieron cantidades altas de nitrógeno (Figura 1), fue notable que la biomasa alcanza su punto máximo días previos al término de la cinética de crecimiento (Día 28), presentando una producción máxima de 6.67 gL^{-1}.

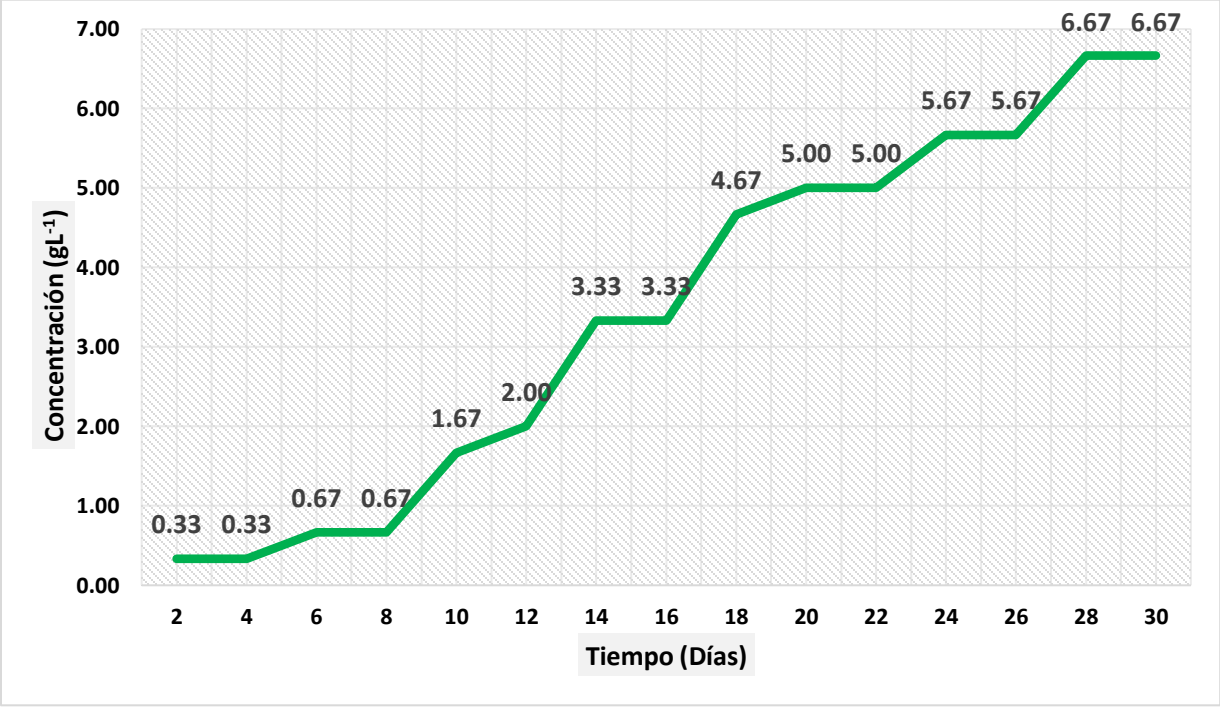


Figura 1. Producción de biomasa microalgal durante la cinética de crecimiento de la microalga *Verrucudesmus Verrucosus*.

 ISSN: 2007 8102

Los resultados demostraron que el aumento en la producción de biomasa, está directamente relacionado con la tasa de crecimiento en las células de microalgas, obteniendo un valor máximo de 5.36 x 10^5 células mL^{-1} al finalizar los 30 días de la cinética (Figura 2).

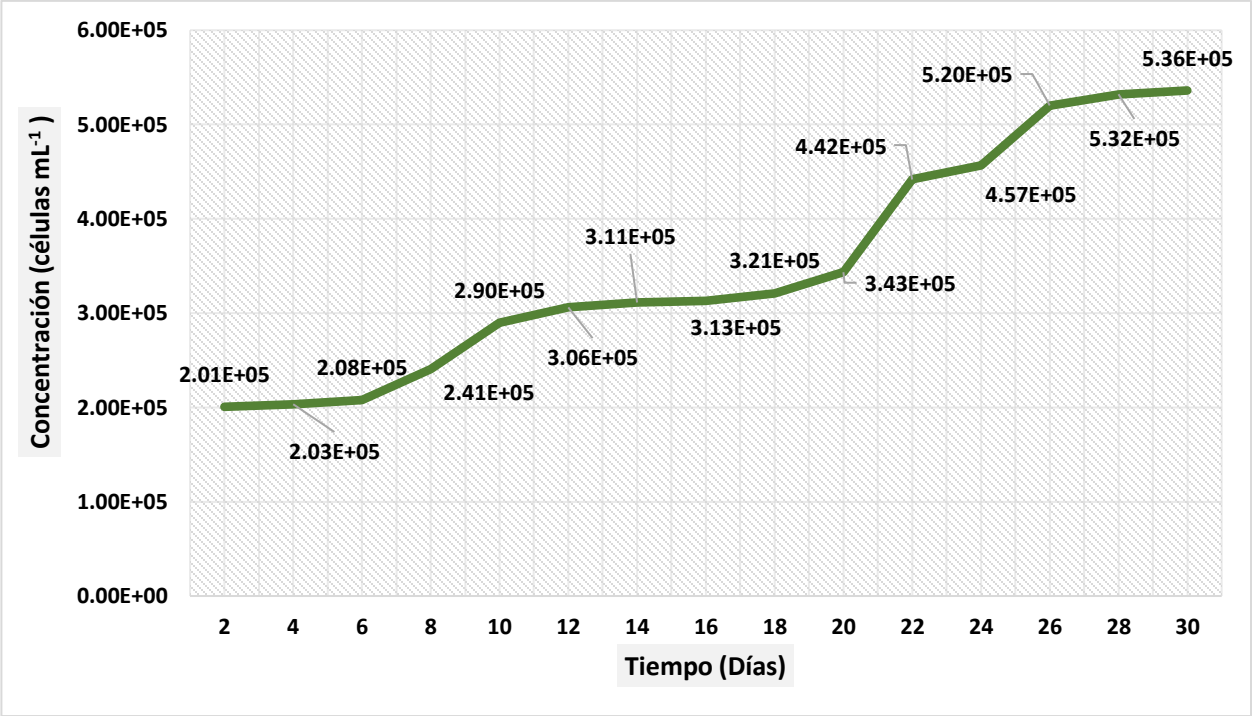


Figura 2. Conteo celular obtenido durante la cinética de crecimiento de la microalga *Verrucudesmus Verrucosus*.

El consumo de nitratos aumentó gradualmente durante la cinética de crecimiento a medida que la concentración de biomasa llegó a su punto máximo, la concentración máxima fue de 292.97 mg/L, el oxígeno disuelto en el medio muestra una concentración de 8.24 mg/L, las lecturas de temperatura dentro del cultivo presentaron como resultado 23.93 °C, mientras que la liberación de O_2 Gas durante la cinética fue de 13.17 % y la liberación de CO_2 Gas fue de 1116.34 ppm (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados de la medición de los parámetros de la microalga *Verrucudesmus Verrucosus* durante la cinética de crecimiento en el medio BG-11.

Parámetro	Valor	Unidad
Biomasa	6.67 ±0.61	gL^{-1}
Oxígeno disuelto	8.24 ± 0.5	mg/L
Nitratos	292.97 ± 12.7	mg/L
O_2 Gas	13.17 ± 0.23	%
CO_2 Gas	1116.34 ± 140.26	ppm
Temperatura del medio	23.93 ± 0.24	° C

 ISSN: 2007 8102

Las imágenes obtenidas presentadas en la Figura (3) permiten observar la imagen original de la muestra (a), comparada con la imagen después de aplicar un filtro Gaussiano (b) , finalmente el resultado de la detección de los bordes utilizando un umbral con valor de 120 (c).

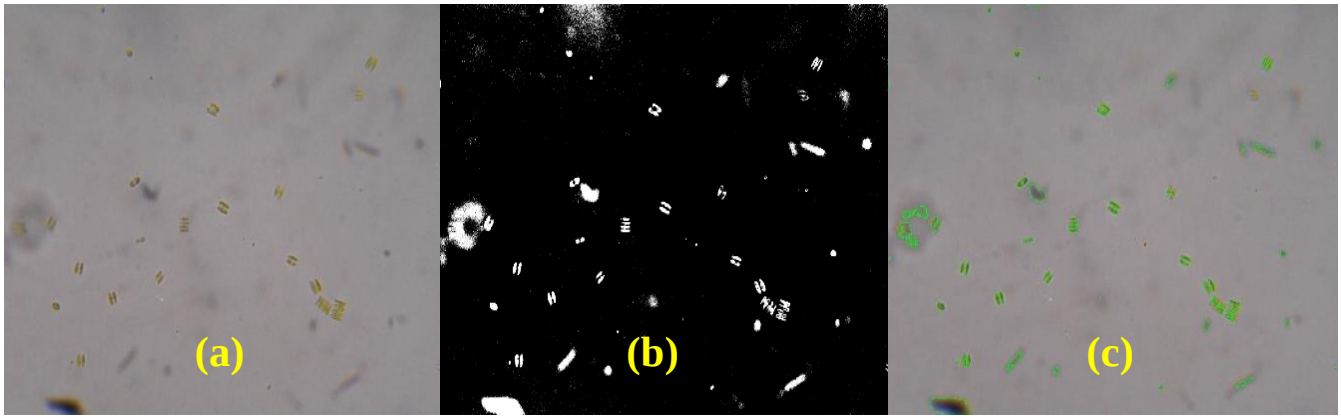


Figura 3. Implementación del algoritmo de Canny a una imagen de microalgas durante el conteo celular, (a) imagen original, (b) aplicación de filtro Gaussiano, (c) detección de bordes con un umbral de 120.

Trabajo a futuro

Se pretende generar un banco de imágenes con muestras de diferentes especies de microalgas y variaciones en la cantidad de nutrientes para evaluar la eficiencia del algoritmo de conteo en comparación con los métodos analíticos convencionales para facilitar el análisis de los resultados en la producción de biomasa.

Conclusiones

Los cultivos de microalgas garantizan un alto rendimiento al monitorear los parámetros de operación durante cada fase de crecimiento, por este motivo se cuantificó la cantidad de biomasa que se produjo en los cultivos de la microalga *Verrucudesmus verrucosus mediante* el procedimiento de peso seco, obteniendo un resultado de 6.67 gL^{-1} al finalizar la cinética de crecimiento. El uso de sensores para el monitoreo de los parámetros físicos en el cultivo, garantizó que se establecieran las condiciones idóneas para el crecimiento celular obteniendo 5.36 x 10^5 células mL^{-1}. El proceso de conteo celular se llevó a cabo a través de la aplicación un sistema de visión por computadora, mediante el cual se verificó la correlación existente entre la biomasa producida y la cantidad de células cuantificadas. Durante el procesamiento de las imágenes microscópicas se determinó que la implementación del algoritmo de Canny fue de utilidad para cuantificar la cantidad de células de microalgas con mayor precisión que los métodos convencionales, con una significativa reducción en tiempo de procesamiento de datos. Los resultados obtenidos demuestran que, debido a las características morfológicas de las microalgas es posible el desarrollo de procedimientos alternativos para la cuantificación de células durante el proceso de crecimiento y producción de biomasa en los cultivos.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo otorgado para el desarrollo del proyecto de investigación y los estudios de posgrado.

 ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] G. Gil García, “Perspectivas globales,” 2014.
[2] N. Robert *et al.*, “Development of a bioeconomy monitoring framework for the European Union: An integrative and collaborative approach,” *N Biotechnol*, vol. 59, 2020, doi: 10.1016/j.nbt.2020.06.001.
[3] J. Popp, S. Kovács, J. Oláh, Z. Divéki, and E. Balázs, “Bioeconomy: Biomass and biomass-based energy supply and demand,” *N Biotechnol*, vol. 60, pp. 76–84, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.nbt.2020.10.004.
[4] W. G. Morais Junior, M. Gorgich, P. S. Corrêa, A. A. Martins, T. M. Mata, and N. S. Caetano, “Microalgae for biotechnological applications: Cultivation, harvesting and biomass processing,” *Aquaculture*, vol. 528. 2020. doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735562.
[5] L. Vélez-Landa *et al.*, “Influence of light intensity and photoperiod on the photoautotrophic growth and lipid content of the microalgae verrucodesmus verrucosus in a photobioreactor,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 12, 2021, doi: 10.3390/su13126606.
[6] I. Havlik, P. Lindner, T. Scheper, and K. F. Reardon, “On-line monitoring of large cultivations of microalgae and cyanobacteria,” *Trends in Biotechnology*, vol. 31, no. 7. 2013. doi: 10.1016/j.tibtech.2013.04.005.
[7] M. Benavides *et al.*, “Design and test of a low-cost RGB sensor for online measurement of microalgae concentration within a photo-bioreactor,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 15, no. 3, 2015, doi: 10.3390/s150304766.
[8] H. E. Lazcano-Hernández, G. Aguilar, G. A. Dzul-Cetz, R. Patiño, and J. Arellano-Verdejo, “Off-line and on-line optical monitoring of microalgal growth,” *PeerJ*, vol. 2019, no. 11, 2019, doi: 10.7717/peerj.7956.
[9] L. Barsanti, L. Birindelli, and P. Gualtieri, “Water monitoring by means of digital microscopy identification and classification of microalgae,” *Environ Sci Process Impacts*, vol. 23, no. 10, 2021, doi: 10.1039/d1em00258a.
[10] A. Kohno, T. Komatsu, S. Oka, H. Fukuda, H. Yasui, and H. Makino, “Optimization of harvest time in microalgae cultivation using an image processing algorithm for color restoration,” *NTT Technical Review*, vol. 15, no. 11, 2017.
[11] J. L. Salgueiro, L. Pérez, Á. Sanchez, Á. Cancela, and C. Míguez, “Microalgal biomass quantification from the non-invasive technique of image processing through red–green–blue (RGB) analysis,” *J Appl Phycol*, vol. 34, no. 2, 2022, doi: 10.1007/s10811-021-02634-6.
[12] J. H. Giraldo-Zuluaga *et al.*, “Automatic identification of Scenedesmus polymorphic microalgae from microscopic images,” *Pattern Analysis and Applications*, vol. 21, no. 2, pp. 601–612, May 2018, doi: 10.1007/s10044-017-0662-3.
[13] M. N. H. Zainal Alam, J. Jaya Kumar, D. John Whyte, E. H. Doeven, and A. Kouzani, “A portable sensor for cell optical density measurement in microfluidic chips,” *Measurement and Control (United Kingdom)*, vol. 51, no. 7–8, pp. 213–222, Sep. 2018, doi: 10.1177/0020294018783440.
[14] J. J. Alpízar-Castillo and M. A. Fernández-Murillo, “Caracterización morfológica de un lecho de recubrimiento de tabletas farmacéuticas mediante un algoritmo de visión artificial,” *Revista Tecnología en Marcha*, Jun. 2021, doi: 10.18845/tm.v34i3.5032.
[15] P. Suárez and M. Villavicencio, “Detección de Contornos utilizando el Algoritmo Canny en Imágenes Cross-Espectrales Fusionadas,” *Enfoque UTE*, vol. 8, no. 1, pp. 16–30, Feb. 2017, doi: 10.29019/enfoqueute.v8n1.127.
[16] P. M. Méndez, H. M. Villa, and A. S. Cisneros Barahona, “Nuevo algoritmo para la detección de bordes en imágenes para esteganografía,” *Maskana*, vol. 8, no. 0, pp. 17–29, 2017, [Online]. Available: https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1449
[17] J. Rebolledo-Oyarce, J. Mejía-López, G. García, L. Rodríguez-Córdova, and C. Sáez-Navarrete, “Novel photobioreactor design for the culture of Dunaliella tertiolecta – Impact of color in the growth of microalgae,” *Bioresour Technol*, vol. 289, 2019, doi: 10.1016/j.biortech.2019.121645.

 ISSN: 2007 8102

Uso de residuos orgánicos almidonosos para la generación de bioetanol

Remigio-Ramírez Ana Martha[1], Arce-Vázquez María Belem[1], De la Cruz-Alejo Jesús[1], Bonilla-Blancas Wenceslao C. [1], Medina- Mendoza Paulo César[1]*

[1]Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Laboratorio de Energías Alternas Renovables Departamento de Ingeniería Mecánica, Mecatrónica e Industrial, Avenida Tecnológico S/N Colonia Valle de Anáhuac, Sección Fuentes, Ecatepec de Morelos, Estado de México, C.P. 55210,

***Área de participación**: Ingeniería Química, *Autor de correspondencia: mariaarce@tese.edu.mx*

Resumen

La generación de residuos sólidos urbanos se debe al incremento de la población y gran parte son generados por el desperdicio de alimentos, estos pueden utilizarse en el sector energético. Se tuvo por objeto la generación de bioetanol a partir del almidón de pan y tortillas de residuo generados en un restaurante. Se realizó una recolecta de 20 kg de residuos, obteniendo 2,8 kg (tortilla) y 1.85 kg (pan). Mediante la hidrólisis enzimática con α-amilasa y amiloglucosidasa sobre tortilla, pan y la mezcla de tortilla:pan (50:50) a T= 70±2 ºC y pH 4.5, se obtuvo hasta 790 g eq. de G/ L, 544 g eq. de G/ L y 660 g eq. de G/ L, respectivamente, los cuales al fermentarse con *Sacharomyces cerevisiae* se obtiene hasta 55% equivalente a 433 g/L de etanol con un substrato de pan:tortilla mayor a la fermentación con glucosa.

***Palabras clave**: Biocombustibles; desperdicios de pan y tortilla; bioetanol; almidón.*

Abstract

The generation of urban solid waste is due to the increase in population and much of it is generated by food waste; these can be used in the energy sector. The objective was to generate bioethanol from the starch of waste bread and tortillas generated in a restaurant. Three samples of 20 kg of waste were carried out, the method of quartering and selection-quantification was applied, obtaining 2.8 kg (tortilla) and 1.85 kg (bread). Through enzymatic hydrolysis with α-amylase and amyloglucosidase on bread, tortilla and the bread:tortilla mixture (50:50) at T= 70±2 ºC and pH 4.5, up to 983 g eq. of G/ L, 544 g eq. of G/ L and 660 g eq. of G/L, respectively, which when fermented with Sacharomyces cerevisiae, up to 55% equivalent to 433 g/L of ethanol is obtained with a bread:tortilla substrate greater than fermentation with glucose.

***Key words**: Biofuels; bread and tortilla waste; bioethanol; starch.*

Introducción

Actualmente en México se generan diariamente 102,895 toneladas de residuos [1],[2], de los cuales se recolectan 83.93% y se disponen en sitios de disposición final 78.54%, reciclando únicamente el 9.63% de los residuos generados (SEMARNAT 2018) [3] y de acuerdo con el INEGI, la cantidad de RSU recolectados solo en el Estado de México es de 8,285 toneladas diarias considerando de esta forma que en el municipio de Ecatepec de Morelos se generan 200 toneladas al día. Es así que la generación de los RSU, provocan grandes efectos negativos al ambiente, por una inadecuada gestión de residuos, falta de políticas ambientales, mala implementación legal por lo que se tienen sitios de disposición que no cuenta con los procedimientos adecuados para separar y contabilizar lo vertido en ellos, así mismo se tienen lugares de desecho que son clandestinos y otros más que se van acumulando en vías públicas [4][5], solo el 9.63% de los residuos se utilizan para su reciclaje, cabe mencionar que las autoridades municipales no dan soluciones al problema.

 ISSN: 2007 8102

La generación de residuos sólidos urbanos se debe al incremento de la población y gran parte son generados por el desperdicio de alimentos, el cual contribuye a una pérdida de recursos como tierra, agua, energía, etc., utilizados para su producción. Por ello es necesario la búsqueda de nuevas alternativas para el aprovechamiento de estos desechos.

En el caso específico de los desechos que contienen almidón, son residuos generados del desperdicio de alimentos que tienen potencial para poder generar biocombustibles, ya que el almidón es el principal polisacárido de reserva energética de la mayoría de los vegetales; se le puede encontrar en gramíneas, leguminosas y tuberculosis. Está constituido por dos polímeros de glucosa de alto peso molecular, la amilosa y la amilopectina que juntas forman gránulos insolubles. La proporción de cada uno de los polímeros varían de acuerdo con su fuente vegetal de procedencia; sin embargo, ambos polímeros tienen como monómero a la α-D-Glucosa unida por enlaces glucosídicos. La amilosa enlaza sus monómeros mediante enlaces α-(1,4) y enlaces α-(1,6), dando origen a una estructura ramificada denominada amilopectina [6]. Existen dos tipos de estructura cristalina para el almidón, el tipo A y la B, las cuales difieren en la simetría y la longitud de las cadenas. El tipo A está generalmente presente en cereales y la B en plantas que producen tubérculos. La composición y conformación estructural del almidón es determinante en su transformación a compuestos más simples, y puede facilitar o dificultar su hidrólisis a unidades de glucosa y ser aprovechados en el sector energético. [7]

El objetivo principal de esta investigación es poder Identificar las condiciones para la obtención de bioetanol a través de hidrólisis enzimática a los residuos almidonados de manera conjunta y separada en una primera etapa de sacarificación para posteriormente usarlos en una fermentación con *Sacharomyces cerevisiae* para la obtención de bioetanol. Con lo que se quiere dar una alternativa de uso a estos residuos y provocar una disminución considerable de los residuos orgánicos, además de poder contribuir a la participación de la producción de energías renovables, ya que como se sabe actualmente en México se cuenta con una participación de solo el 0.5% en la producción de energía de buena calidad a través de biomasa [8][9].

Metodología

Materiales

Se utilizaron residuos de pan y tortilla obtenidos de un restaurante. Las enzimas α-amilasa y amiloglucosidasa fueron de Sigma Aldrich, los reactivos analíticos fueron grado técnico. Se utilizó una cepa de *Sacharomyces cerevisiae* purificada que fue adquirida en el CEPARIO de la UNAM.

Acondicionamiento y cuantificación de almidón

Se realizó una recolecta de 20 kg de residuos, obteniendo 2,8 kg (tortilla) y 1.85 kg (pan) obtenidos de un restaurante vegano ubicado en el municipio de Ecatepec. Posteriormente se secaron a 80ºC por 3 h y se llevaron a una molienda en un molino KRUPS F408, seguido de un tamizaje de malla 100. Posteriormente se tomaron 10 g de muestras de pan y tortilla y se colocó en un matraz Erlenmeyer con 25 ml de agua desionizada, las muestras se mantuvieron a un pH de 6.7. Se taparon los vasos y se llevó a ebullición en una parrilla con agitación constante durante 3 min. Las muestras se pasaron a una autoclave ECOSHEL CVQ-280D por 1 hora a 120°C, se retiraron las muestras de la autoclave y se dejó enfriar a temperatura ambiente, se agregó nuevamente agua desionizada hasta llegar a un volumen de 100 ml. Los ensayos realizados se realizaron utilizando el Kit de Ensayo de Almidón de Sigma Aldrich.

Hidrólisis enzimática

Se colocaron muestras de 10 gramos de pan (P), tortilla (T) y una mezcla de P:T (50:50), se homogenizan e hidrataron en una solución de buffer de fosfatos 0.1M a pH 6.9, posteriormente se realizó la molienda en una licuadora a velocidad alta durante 1 minuto. Se transfirió cada mezcla en matraces Erlenmeyer de 250 ml. Los matraces se llevaron a una temperatura de 70°C durante 15 min para la pregelatinización, posteriormente se esterilizaron a 121ºC por 1 h en autoclave. Posteriormente las muestras se enfriaron a 70°C y se añadió 150 µl de α-amilasa (*Bacillus* sp) se llevó a agitación de 300 rpm tomando muestras de 2 ml cada 30 min por 150 min. Una vez terminado el tiempo a los matraces de reacción, se les ajustó el pH a 4.5 con HCl al 10% y se agregó 100 µl de amiloglucosidasa (*Aspergillus niger*) y se incubó a 60°C con agitación a 250 rpm, se tomaron muestras

 ISSN: 2007 8102

de 2 ml cada 30 min, las muestras se pusieron en un baño de hielo, el ciclo del segundo hidrolizado fue de 120 min. A cada muestra se le determinó el contenido de azúcares reductores por el método de DNS.

Determinación de Azúcares

Para la preparación del DNS, se mezcló 1 g de 3,5-dinitrosalicilico, 1 g de NaOH, 0.05 g de Na_2SO_3 y 0.2 g de cristales de fenol en 100 ml de agua destilada. Este reactivo se conservó en frascos ámbar a resguardo de la luz y fue estable hasta una semana. Los hidrolizados obtenidos fueron sometidos a una determinación de azúcares por el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) según Müller (1966)[10], modificando algunas condiciones. Se colocaron en tubos con tapa rosca 0.5 ml de DNS y 0.5 ml de muestra, se agitó en vortex SCIENCE MED MX-S y se llevó a un baño de agua a 95ºC durante 5 min, transcurrido el tiempo se dejó reposar durante 15 min y se agregó 5 ml de agua destilada, nuevamente se agitó, posteriormente se midió la absorbancia en un espectrofotómetro VELAB VE-5100UV a 540 nm, por duplicado. La cuantificación de azúcares se obtuvo mediante una curva estándar 0.2-1.2 g glucosa/L.

Fermentación sumergida

Para llevar a cabo la fermentación se prepararon 4 medios de cultivo YPD, en matraces de 250 mL, manteniendo un control con glucosa (120 g G/L) y sustituyendo en los otros medios con sustratos de T, P y T:P a la misma concentración, posteriormente se esterilizaron los medios a 121ºC por 15 min. Una vez que alcanzó la temperatura de 30ºC se inoculó 3% con *Sacharomyces cerevisiae*, así como las enzimas α-amilasa y amiloglucosidasa, utilizadas, previamente en la misma proporción y se llevó durante 30 horas. Se realizaron tomas de muestra cada 5 horas, a las cuales, se les cuantificó la biomasa por peso seco (g), la concentración de azúcares reductores por el método de DNS y el % de etanol por refractometría.

Resultados y discusión

Almidón total en residuos almidonosos

Se obtuvo un rendimiento del 98.5% de harina de pan (P) y de 99.14% de la harina de tortilla (T). Los ensayos mostraron que el contenido de almidón varía significativamente entre la tortilla y el pan. Los contenidos de almidón se muestran en la Tabla 1, donde se observa que la tortilla contiene el doble de almidón que en el pan. Esto es debido a que en el pan se ha pasado por un proceso fermentativo para elevar la miga por lo que en este proceso ya se ha consumido parte del almidón por el microorganismo utilizado para dicho propósito.

Tabla 1. Resultados de la prueba de almidón del pan y tortilla.

MUESTRA	CONCENTRACION DE ALMIDON (mg/ml)	
TORTILLA	0.406	mg/ml
PAN	0.241	mg/ml

El contenido de almidón en tortilla es similar a lo reportado por Wu et al., (2023) [11] (0.45 mg/ml), así mismo para el pan blanco se observa un valor 10% por debajo de lo reportado por Agama-Acevedo (2019) [12] (0.260 mg/mL). Cabe mencionar, que el almidón de estos productos ha sufrido modificaciones en su reología, de acuerdo con Agama, el almidón se gelatiniza casi por completo cuando se somete a altas temperaturas, en el caso del pan es horneado a 120ºC y en el caso de las tortillas pasa por un proceso de cocido por superficie a 100ºC. Cuando el almidón está gelatinizado, es más susceptible a la digestión enzimática [12], por lo que se tiene un ahorro energético cuando se utilizan el pan y la tortilla de desecho. Así mismo, la digestión de enzima depende de la relación amilosa amilopectina que contienen los almidones de los productos estudiados.

Sacarificación de residuos almidonosos

Los residuos de P, T y P:T al ser sometidos a una hidrólisis enzimática utilizando enzimas glucolíticas para la sacarificación realizó en un tiempo de 260 min distribuidos en dos ciclos, el primer ciclo con la enzima α-amilasa de 150 min y un segundo ciclo con la enzima amiloglucosidasa de 120 min. El mejor rendimiento de azúcares liberados fue con un rendimiento en la primera etapa de 0.308 mg/l y alcanzó 0.434 mg/l en la segunda etapa se

 ISSN: 2007 8102

observó manteniendo el sustrato de tortilla con amiloglucosidasa (Figura 1) a partir de los 60 min, a una temperatura de 70°C.

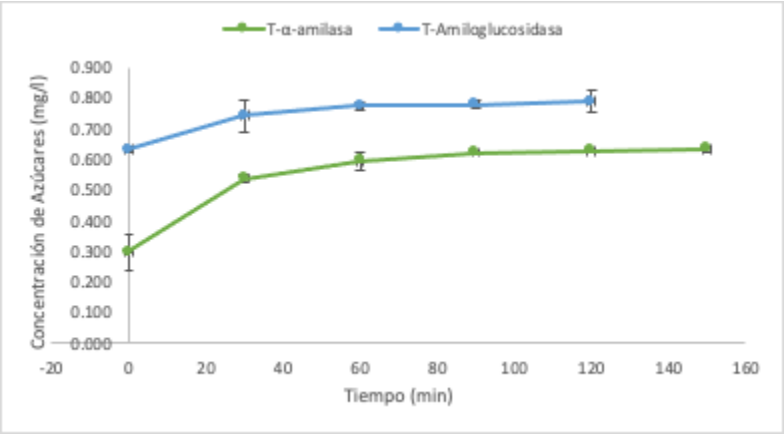


Figura 1. Hidrólisis enzimática de tortilla; —Enzima α-amilasa durante 150 min, —Enzima amiloglucosidasa durante 120 min.

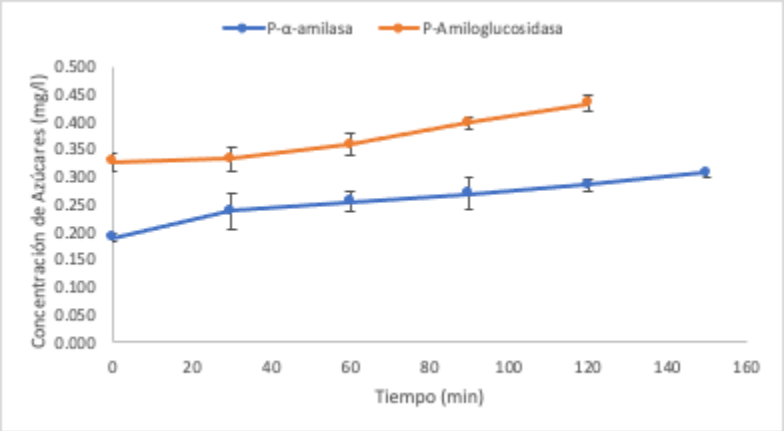


Figura 2. Hidrólisis enzimática de Pan; —Enzima α-amilasa durante 150 min, —Enzima amiloglucosidasa durante 120 min.

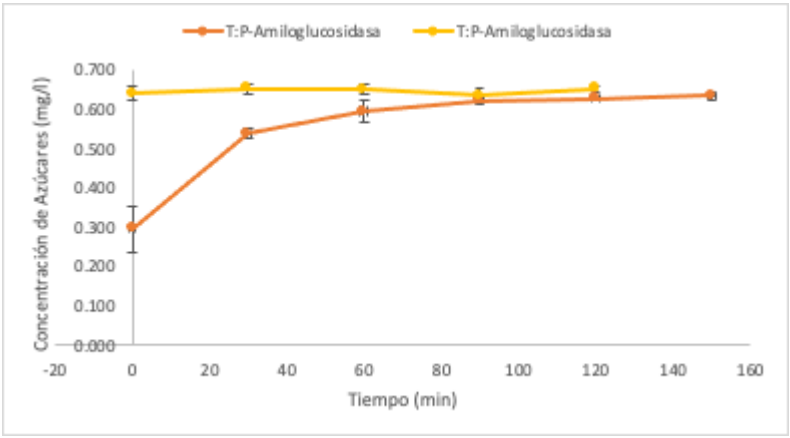


Figura 3. Hidrólisis enzimática de T:P; —Enzima α-amilasa durante 150 min, —Enzima amiloglucosidasa durante 120 min.

 ISSN: 2007 8102

La hidrólisis de la mezcla de T:P bajo las mismas condiciones de pH y T, no presenta diferencias significativas ($P < 0.05$) entre el suso de **α**-amilasa y amiloglucosidasa. (Figura 3), esto debido a que contiene ambos productos. Por otro lado, el sustrato de pan es el que presenta un rendimiento de obtención de azúcares durante la primera etapa de 0.597 mg/l de azúcares y al finalizar la segunda etapa de 0.790 mg/l de azúcares (Figura 1) que son los menores rendimientos (Figura 2) de azúcares liberados para ambas enzimas. Esto puede deberse a que el pan al ser horneado forma una costra, que representa el 0.6-0.8% del almidón presente y por lo tanto esta fracción se vuelve resistente a la degradación y puede ser considerado como fibra dietética [13]. Cabe mencionar que, el pretratamiento térmico en autoclave a las muestras es el que permite que en los pasos subsecuentes en la hidrólisis se pueda dar de manera eficiente, ya que las enzimas pueden degradar con mayor facilidad el almidón pregelatinizado según Martínez et al., (2018) [14]. En comparación con la hidrólisis de almidón de arroz, reportada por Almeida et al., (2019)[15], donde realizan una hidrólisis secuencial con enzimas modificadas de **α**-amilasa y amiloglucosidasa se tienen valores aproximadamente 15% por debajo, donde se atribuye a la diferencia de los contenidos de amilosa y amilopectina de cada almidón. Así mismo, sería un referente que la hidrólisis enzimática de almidones está limitada a la estructura granular, específicamente la superficie de los gránulos que puede ser impermeable a la enzima **α**-amilasa.

Las materias primas propuestas para llevar a cabo los procesos de sacarificación muestran una gran ventaja sobre los materiales lignocelulósicos, debido a que no contienen en su estructura, moléculas complejas como la celulosa y la lignina, que implican procesos adicionales y que requieren de altas temperaturas o equipos presurizados para degradar los cristales de celulosa y el rompimiento de enlaces de la lignina [16] que generan así mismo compuestos inhibidores de levaduras, tales como el furfural, que es producto principal de la pirólisis, así como compuestos fenólicos. Empleando P ó T se obtienen con mayor facilidad los azúcares fermentables, en procesos limpios y sostenibles.

Determinación de bioetanol de residuos almidonosos

Al realizar una fermentación sumergida con *Sacharomyces cerevisiae* por 25h utilizando a la T, P y T:P se puede observar que se observa un comportamiento de crecimiento microbiano similar sin importar el substrato utilizado. (Figura 4). Así mismo se observa que el período de adaptación se da en las primeras 5 h, mientras que la fase exponencial para muestras de C y T, se extiende de las 10h hasta las 20h, y para las muestras de P y T:P se extiende hasta las 25h. Las muestras de T, P y T:P obtienen el doble de biomasa que la presentada por el control, a las 25 h de incubación.

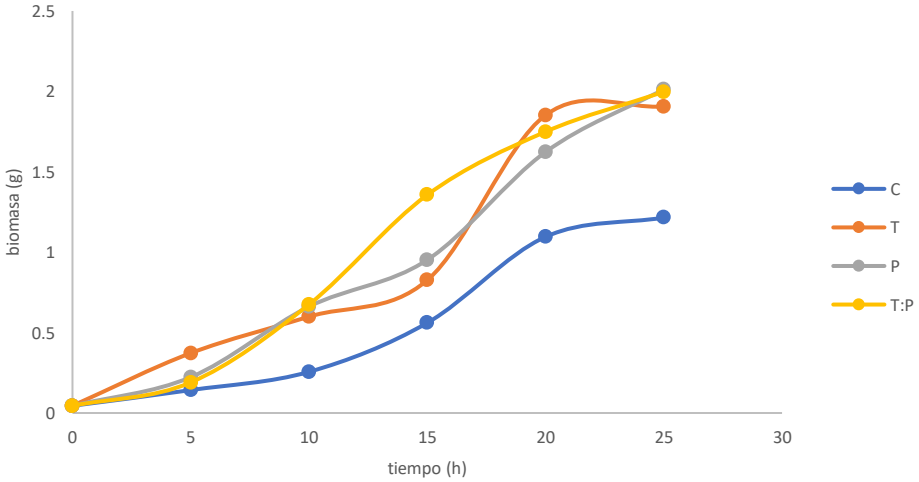


Figura 4. Obtención de biomasa de *Sacharomyces cerevisiae* por fermentación sumergida usando sustratos de pan y tortilla.

El crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* reportado por Geröcs et al., (2022) [17] que utiliza glucosa como sustrato, menciona una máxima capacidad fermentativa después del 24h, acorde con los resultados obtenidos

 ISSN: 2007 8102

utilizando como sustrato T, P y T:P., debido a la capacidad de tolerancia de las levaduras para la presencia de hasta 30% de glucosa y 35% de etanol.

El consumo de glucosa se observa en la Figura 4. En la muestra C (control) sigue un comportamiento típico de las fermentaciones por *Saccharomyces cerevisiae* [17, 18], teniendo un consumo hasta de 81.66% de glucosa. En las muestras de P, T y P:T que contienen enzimas α-amilasa y amiloglucosidasa, se mantiene una tasa de consumo eficiente de sustrato, debido a que se liberan azúcares de T, P y T:P y al mismo tiempo son consumidos por la levadura para para generar nuevas células y producir etanol, cabe mencionar que a diferencia de otros autores, al utilizar como substrato a T, P y T:P, se mantiene el medio sin exceso de glucosa, evitando que sea un nutriente limitante o inhibidor [19]. Específicamente en el caso del pan, se muestra que es el medio donde se tiene la máxima liberación de azúcares a las 25 h, seguido de la mezcla T:P y de la T, siendo la tortilla quien en todos los puntos de la fermentación mantiene bajos los niveles de azúcar no consumido.

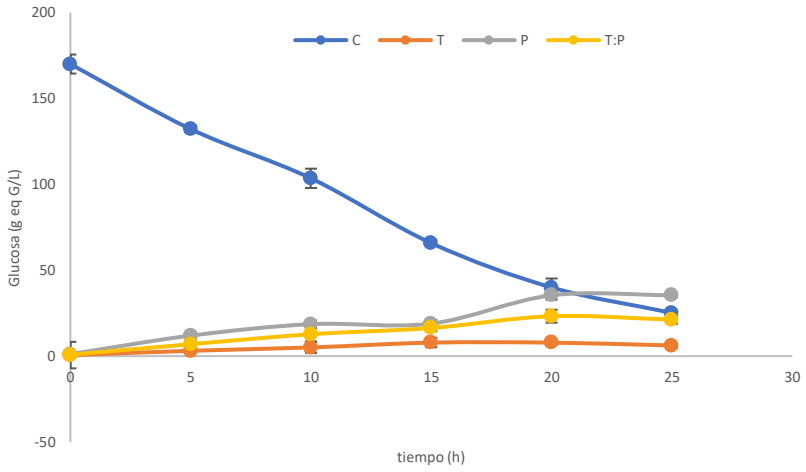


Figura 4. Consumo de glucosa por *Sacharomyces cerevisiae* en la fermentación sumergida usando sustratos de pan y tortilla.

Un parámetro de interés en el área energética fue la producción de bioetanol. Los resultados de la generación de este bioenergético se observan en la Figura 5. Se observa que *Sacharomyces cerevisiae* puede consumir glucosa (control) y con ella producir hasta 50.1±1.8% de etanol después de 25 h de fermentación, mientras que al utilizar como substrato a la T, se observa una disminución en la producción de etanol de hasta 35±1.9%, está disminución se atribuye a que el almidón contenido en la tortilla ha pasado por tratamientos como la nixtamalización y térmico a punto de cocción (120°C) provocando que los gránulos de este almidón se retraigan, así mismo se requiere de hasta 160 Kcal / mol para agregarse, esta energía es equivalente a un enlace covalente [15], por lo que puede tener formas cristalinas difíciles de acceder para su liberación y disponibilidad para su consumo por las levaduras.

Cabe mencionar que el rendimiento de etanol que se obtuvo al utilizar como substrato la mezcla de T:P fue el mayor (55%) 433.95 g/L. Si se considera que previo al horneado, el pan es sometido a una fermentación donde ya hay una liberación de azúcares, es posible que por eso se tenga facilitado el acceso a los azúcares y que en la fermentación se facilite el consumo por el microorganismo fermentativo.

Los resultados obtenidos son muy cercanos a los reportados por Onyeaka et al., (2022) [20], quien al realizar una fermentación utilizando como sustrato a la coliflor y a la col obtiene del 40.8% mientras que al utilizar melaza obtiene hasta 52.6% de etanol. Por otro lado, Tenkolu et al., (2022) [21] en su investigación uso almidón de papas de desecho en condiciones de pH 4.07, T= 32.2°C y 72 h de incubación, y obtuvo aproximadamente la mitad (34.5%) de lo que se presentó en fermentaciones con T, P y P:T.

 ISSN: 2007 8102

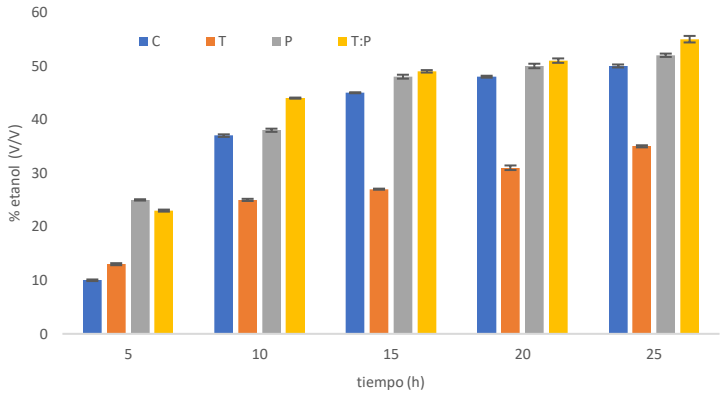


Figura 5. Obtención de bioetanol producido por *Sacharomyces cerevisiae* usando sustratos de pan y tortilla.

Las fermentaciones que utilizan residuos agroalimentarios son consideradas sustentables, ya que hacen referencia a la economía circular, que actualmente es la tendencia a la que se quiere llegar para tener procesos eficientes y económicos, y en el caso de los procesos para la obtención de bioetanol utilizando *Sacharomyces cerevisiae* tendrán rendimientos comparables a cepas no modificadas. Onyeaka et al., (2022) [20] propone una nueva cepa de *Sacharomyces* que puede tener rendimientos de hasta el 98.8%, ya que son altamente resistentes a altas concentraciones de glucosa y etanol.

Trabajo a futuro

Se propone continuar con la caracterización de la sacarificación y la fermentación para llegar a tener una optimización del proceso en conjunto hasta llegar al destilado para la obtención del bioetanol.

Conclusiones

Los hidrólisis enzimática secuencial utilizada en las muestras de T, P y T:P, fueron favorables en la liberación de azúcares fermentables, el mejor rendimiento se obtuvo manteniendo un pH de 6.9 durante la licuefacción, a una temperatura de 70°C y la sacarificación obtuvo un mejor rendimiento a pH de 4.5 a 60°C. La mezcla de los residuos de pan y tortilla obtuvo un rendimiento de azúcar máximo en el proceso de sacarificación de 0.652 mg/l y de 0.790 mg/l (T y P, respectivamente), así mismo, al ser utilizados por *Sacharomyces cerevisiae* se obtiene hasta 55% de etanol usando la mezcla de T:P (1:1), como substrato. Los residuos de pan y tortilla en las cocinas son abundantes, por lo que utilizarlos en el sector energético para obtener combustibles líquidos generaría una alternativa para su disposición final, además de revalorizar su uso.

Agradecimientos

Se agradece al Tecnológico Nacional de México en su unidad del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec y el laboratorio de Energías Alternas Renovables de la Maestría en Eficiencia Energética y Energías Renovables de la División de Ingeniería Mecánica Mecatrónica e Industrial por el préstamo de las instalaciones para desarrollar el proyecto, así mismo al CONACYT por el apoyo económico brindado a través de la Beca de estudios de Posgrado.

Referencias

1. [1] Group, W. B., “What a Waste 2.0”, *Urban Developed Series*, pp. 23, 2018.

2. [2] Gutierrez, G. A., “Responsabilidad Social Corporativa en las Pérdidas y Desperdicios de Alimentos en México”, *Cadernos Prolam / USP*, pp. 32, 2018.
3. [3] SEMARNAT, “Generación de residuos. Obtenido de Informe del Medio Ambiente”, *Informe 2019*, Capítulo 7, Marzo de 2019. https://apps1.semarnat.gob.mx
4. [4] SEDEMA, “NADF-024-AMBT-2013.- Que establece los criterios y especificaciones técnicas bajo los cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos del distrito federal”, *México: Diario Oficial de la Federación*, 2015.
5. [5] SEMARNAT, “NOM-161-SEMARNAT-2011, Criterios para clasificar los residuos de manejo especial y determinar los sujetos a planes de manejo”. *México: Diario Oficial de la Federación*, 2011.
6. [6] Moreno, S., “Relación de Amilosa, amilopectina en el almidón de harina nixtamalizada de maíz y su efecto en la calidad de la tortilla”, *Revista Fitotecnia Mexicana*, pp. 1-5, 2003.
7. [7] C.A. Garcia, E. R., “Escenarios de Bioenergía en México: Potencial de Sustitución de Combustibles Fósiles y Mitigación de GEI”, *Revista Mexicana de Física*, vol. 50, no. 2, pp. 93-103, 2013.
8. [8] Almenares Verdecia, “Aspectos Tecnológicos Generales para la conversión de etanol de la biomasa lignocelulósica”, *Tecnología Química*, vol. XXXI, no. 3, pp. 45-56, 2011.
9. [9] Energía, C. R., “NOM-016-CRE-2016. Especificaciones de calidad de los petrolíferos”, *México: Diario Oficial de la Federación*, 2016.
10. [10] Müller D., “Erfahrungen mit der Feulgenfärbung für quantitative cytochemische DNS-Untersuchungen”, *Histochemie*, Vo. 7, pp. 96-102, 1966.
11. [11] Wu, M., Taylor, C., Zahradka, P., & Arntfield, S., “Reduced in vitro starch hydrolysis & in vivo glycemic effects after addition of soy presscake to corn tortillas”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, pp. 1-7, 2023.
12. [12] Agama-Acevedo, E., Pacheco-Vargas, G., Gutierrez-Meraz, F., Tovar, J., & Bello-Perez, L. A. “Dietary fiber content, texture, and in vitro starch digestibility of different white bread crusts”, *Journal of Cereal Science*, Vol. 89, pp. 102824, 2019.
13. [13] Björck, I., Nyman, M., Pedersen, B., Siljeström, M., Asp, N. G., & Eggum, B. O., “On the digestibility of starch in wheat bread—Studies in vitro and in vivo” *Journal of Cereal Science*, Vol. *4*, no.1, pp.1-11, 1986
14. [14] Martínez, M. M., Román, L., & Gómez, M., “Implications of hydration depletion in the in vitro starch digestibility of white bread crumb and crust”. *Food Chemistry*, Vol. *239*, pp. 295-303, 2018.
15. [15] Almeida, R. L. J., dos Santos Pereira, T., de Andrade Freire, V., Santiago, Â. M., Oliveira, H. M. L., de Sousa Conrado, L., & de Gusmão, R. P., “Influence of enzymatic hydrolysis on the properties of red rice starch”. *International journal of biological macromolecules*, vol. *141*, pp. 1210-1219, 2019
16. [16] Periyasamy, S., Isabel, J. B., Kavitha, S., Karthik, V., Mohamed, B. A., Gizaw, D. G., & Aminabhavi, T. M., “Recent advances in consolidated bioprocessing for conversion of lignocellulosic biomass into bioethanol–A review”. *Chemical Engineering Journal*, vol. *453*, pp.139-145, 2023.
17. .[17] Gerőcs, A., Nagy, T., Nemes-Barnás, K., Májer, J., Szőke, B. Á., Kővágó, R.,& Olasz, F., “Characterization of Saccharomyces Strains Isolated from “Kéknyelű” Grape Must and Their Potential for Wine Production”, *Fermentation*, Vol. 8, no. 8, pp. 416, 2022.
18. [18] Almeida, J. R., Wiman, M., Heer, D., Brink, D. P., Sauer, U., Hahn-Hägerdal, B., & Gorwa-Grauslund, M. F., “Physiological and Molecular Characterization of Yeast Cultures Pre-Adapted for Fermentation of Lignocellulosic Hydrolysate”. *Fermentation*, Vol. *9, no.* 1, pp. 72-81, 2023.
19. [19] da Silva Fernandes, F., de Souza, É. S., Carneiro, L. M., Alves Silva, J. P., de Souza, J. V. B., & da Silva Batista, J., “Current ethanol production requirements for the yeast Saccharomyces cerevisiae”, *International Journal of Microbiology*, vol. 2022, pp. 1-14, *2022*.
20. [20] Onyeaka, H., Mansa, R. F., Wong, C. M. V. L., & Miri, T., “Bioconversion of starch base food waste into bioethanol”, *Sustainability*, Vol. *14,* no.18, pp. 11401, 2022.
21. [21] Tenkolu, G. A., Kuffi, K. D., & Gindaba, G. T., “Optimization of fermentation condition in bioethanol production from waste potato and product characterization”, *Biomass Conversion and Biorefinery*, pp.1-19, 2022.

 ISSN: 2007 8102

Efecto del secado por lecho fluidizado sobre la humedad y parámetros de color de flor de Gasparito

M. G. González Serrano[1], G. Luna Solano[1], A. Domínguez Niño[2], G. R. Urrea García[1], P. Guillen Velazquez[2]*
[1]Laboratorio de Bioprocesos, Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Orizaba, Avenida Oriente 9 #852, Emiliano Zapata, 94320 Orizaba, Ver, México.
[2]Instituto de Energías Renovables, UNAM, Privada Xochicalco S/N Col. Centro Temixco, Morelos, México.
** gmiriamgonzalez@gmail.com*

***Área de participación**: Ingeniería Química*

Resumen

La flor de Gasparito es ampliamente conocida en México por ser consumida durante cierta temporada del año debido a su corto tiempo de cosecha. Además, se ha comprobado que posee nutrientes esenciales para el ser humano, así como propiedades medicinales. Debido a su corta temporada y al ser un alimento con alto grado de senescencia, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del secado por lecho fluidizado en la flor de gasparito mediante curvas de secado y parámetros de color. El secado se llevó a cabo a 50, 60 y 70 °C durante 60, 90 y 120 minutos y dos tipos de muestra (pétalo entero y mitad). De acuerdo con los resultados obtenidos se puede observar que la temperatura, el tiempo de secado y el tamaño de la flor tienen un efecto significativo (α=0.05) principalmente en la humedad y en el color de la flor deshidratada de gasparito, sin embargo, en algunos experimentos se logró obtener la flor deshidratada con un color rojo intenso visualmente aceptable similar al de la flor fresca.

***Palabras clave**: flor de gasparito, secado por lecho fluidizado, características fisicoquímicas.*

Abstract

The Gasparito flower is widely known in Mexico for being consumed during a certain season of the year due to its short harvesting time. In addition, it has been proven to have essential nutrients for humans, as well as medicinal properties. Due to its short season and because it is a food with a high degree of senescence, this study aimed to evaluate the effect of fluidized bed drying on gasparito flowers through drying curves and color parameters. Drying was carried out at 50, 60, and 70 °C for 60, 90, and 120 minutes and two types of samples (whole petal and half). According to the results obtained, it can be observed that temperature, drying time, and flower size have significant effects (α=0.05) mainly on moisture and color of dehydrated gasparito flower, however, in some experiments, it was possible to obtain dehydrated flowers with an intense red color visually acceptable similar to that of fresh flower.

***Key words**: gasparito flower, fluidized bed drying, physicochemical characteristics.*

Introducción

México es reconocido por su gran biodiversidad en flores comestibles, las cuales además de aportar sabor y color a la gastronomía mexicana, son ampliamente valoradas por sus propiedades nutricionales, ya que poseen compuestos de interés como polifenoles y antocianinas que le confieren propiedades antioxidantes, así como vitaminas y minerales que son importantes para una buena alimentación en el ser humano, además de que muchas de estas son reconocidas por sus propiedades medicinales. Entre las flores comestibles de mayor consumo en el país se encuentra la flor de Gasparito [1].

Debido al alto grado de senescencia que presenta este tipo de alimento, es necesario buscar alternativas que permitan alargar su tiempo de vida anaquel así conservar sus propiedades fisicoquímicas, protegiéndolo de microorganismos y agentes que puedan dañar su calidad y estabilidad. Uno de los métodos de conservación utilizado en la industria alimentaria es el secado convectivo, [2] pues este tiene como objetivo eliminar el agua en forma de vapor [3].

ISSN: 2007 8102

Dentro de los métodos de secado convencionales se encuentra el secado por lecho fluidizado, el cual es ampliamente utilizado para el secado de materiales en partículas pequeñas, sólidos granulares húmedos, pastas y suspensiones [4]. El principio de su funcionamiento yace en introducir aire caliente provocando que las partículas del producto se mantengan en suspensión al entrar en contacto con el aire [5]. Este mecanismo, en el proceso de secado hace que tenga ventajas en comparación a otros tipos de secado ya que, debido a esto, se tiene una mayor tasa de remoción de humedad, una alta eficiencia térmica [6] y una uniforme distribución de la temperatura, dando como resultado una reducción en el tiempo de secado [2].

Dentro de la conservación de los alimentos, la medición de las características fisicoquímicas es de los análisis más importantes que se realizan en la industria alimenticia, ya que estos parámetros nos indican si el alimento cuenta con la calidad requerida para ser consumido, además de indicarnos si existe un cambio en sus propiedades nutricionales y físicas. Estos análisis involucran la determinación de parámetros como el contenido de humedad (% X), actividad de agua (a_w), parámetros de color (L*, a*. b* y ΔE), entre otros. El control de estos parámetros nos permite asegurar la calidad del alimento y conservación de sus propiedades físicas y químicas durante y después de su procesamiento térmico. Debido a esto, el objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes condiciones de operación en secado por lecho fluidizado de la flor de Gasparito, con la finalidad de determinar el efecto sobre las propiedades fisicoquímicas esperando que estas sean similares a las de la flor fresca.

Metodología

Acondicionamiento de la materia prima

Para llevar a cabo la presente investigación se utilizó flor de Gasparito proveniente de las regiones de Mariano Escobedo, Ver. La materia prima fue seleccionada buscando que no presentara daño mecánico, marchitamiento o pardeamiento. Posteriormente, esta fue limpiada de agentes extraños como tierra, se retiró el pistilo y se cortó en dos tamaños (mitad y entera) como parte del diseño de experimentos propuesto.

Secado por lecho fluidizado

Para llevar a cabo el proceso de secado se utilizó un secador por lecho fluidizado marca Retsch modelo TG200 con una capacidad de 1 kg. El diseño de experimentos empleado fue 3x2 completamente al azar con réplica en donde se cuenta con una variable cuantitativa: temperatura (50, 60 y 70 °C) y una cualitativa que fue el tipo de muestra (flor Gasparito entera y en mitad). El proceso de secado se llevó a cabo por un tiempo máximo de 120 minutos.

Medición de propiedades fisicoquímicas

Para determinar el contenido de humedad se utilizó una termobalanza marca Santorius modelo MA35M colocando 1 g de muestra en un platillo de aluminio requerido por el equipo a una temperatura de 60 °C.

Mientras que, la actividad de agua se obtuvo utilizando un higrómetro marca VTSYIQI modelo VTS- 160A, colocando en una base de plástico una pequeña cantidad de muestra a una temperatura promedio de 25.5 °C.

Para conocer la variación de color durante el proceso de secado, este se midió con la ayuda de un colorímetro marca Hunterlab modelo XE plus, en donde los parámetros se determinaron de acuerdo con el espacio de color Hunter en donde *L** (Luminosidad), *a** (tonalidades rojas y verdes) y *b** (tonalidades amarillas y azules). Con esto, el diferencial de color (ΔE) se calculó mediante la ecuación 1.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

En donde ΔL^*, Δa^* y Δb^* son los parámetros obtenidos después de introducir la muestra, es decir, la muestra deshidratada.

Cada una de las mediciones de las propiedades fisicoquímicas se determinaron en la flor fresca, y a los 60, 90 y 120 minutos de secado.

ISSN: 2007 8102

Resultados y discusión

Contenido de humedad

La evolución del contenido de humedad durante el proceso de secado por lecho fluidizado de la flor de Gasparito se muestra en la Figura 1. Durante el secado de la muestra de flor entera y en mitades se puede observar que, a mayor temperatura menor tiempo de secado, por lo que se logra una estabilidad del proceso en menos tiempo de secado. Se obtuvieron valores de contenido de humedad menores en la temperatura de 60°C y 70 °C y a un tiempo de secado de 60 minutos en comparación a los obtenidos a la temperatura de 50°C. El análisis estadístico ANOVA con prueba de Tukey a un α=0.05 (no mostrado en la gráfica) indicó una diferencia significativa entre las humedades obtenidas durante todo el proceso de secado de las muestras de flor de Gasparito.
También se pudo observar que el tiempo del proceso de secado fue menor para el corte a la mitad, siendo esto para las tres temperaturas estudiadas. De igual manera se puede observar que a partir de los 60 minutos el proceso de secado se mantiene estable. Ademas, de acuerdo a lo reportado por [7], se obtuvieron valores de humedad similares en flor de calabaza, aunque el tiempo de secado máximo fue de 180 minutos.

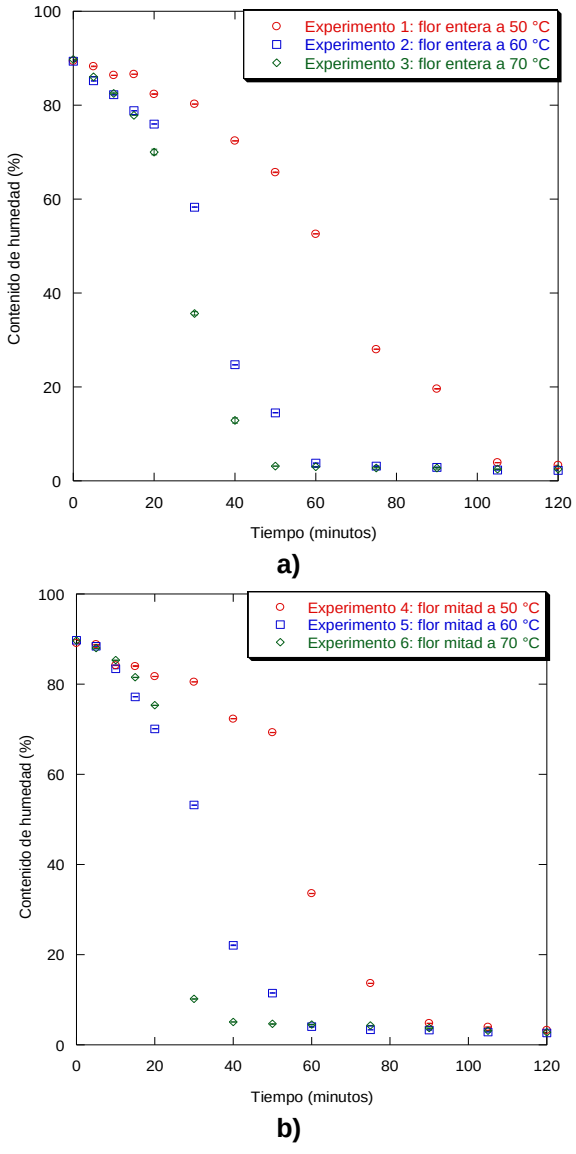
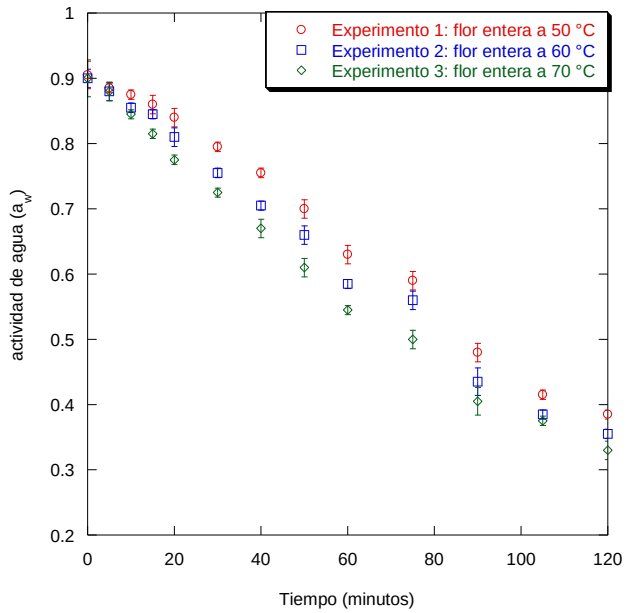


Figura 1. Evolución del contenido de humedad durante el proceso de secado de flor de gasparito a) entera y b) en mitad

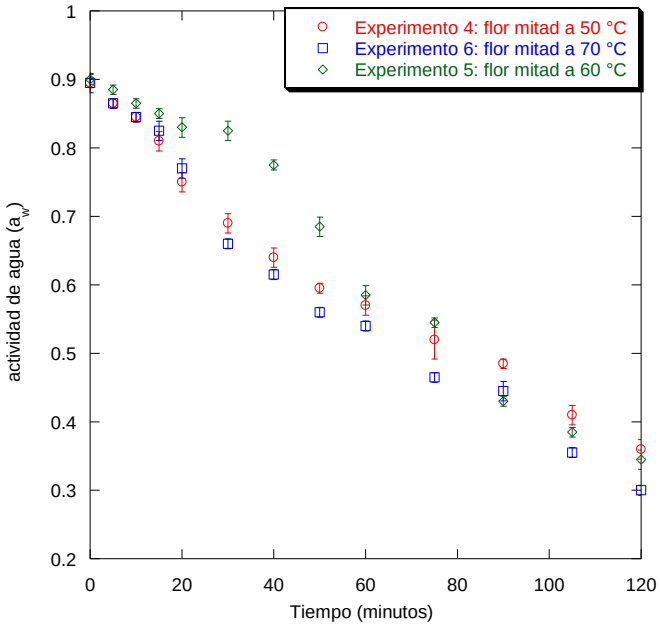
 ISSN: 2007 8102

Actividad de agua (a_w)

El factor de actividad de agua es de suma importancia para asegurar la conservación de un alimento, esto es debido a que durante el almacenamiento pueden existir cambios en la apariencia de este a consecuencia de la presencia de microorganismos. Para asegurar la estabilidad microbiológica y la calidad del producto alimenticio los valores de este parámetro deben encontrarse por debajo del 0.6 [7]. De acuerdo con los resultados obtenidos que se muestran en la Figura 2, se puede observar que a partir de los 90 minutos de secado los valores de actividad de agua se encuentran por debajo de 0.6 teniendo un valor promedio de 0.4.
También se puede observar que los valores de actividad de agua siguieron la misma tendencia tanto para la flor de Gasparito entera y en mitad mostrados en las Figuras 2a y 2b, respectivamente. Por lo que, el tamaño no muestra un efecto sobre la actividad de agua.



a)



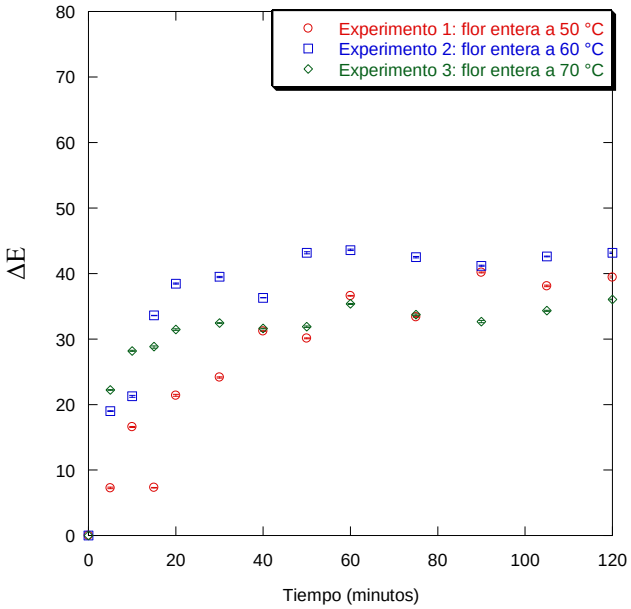
b)

Figura 2. Evolución de a_w durante el proceso de secado de flor de gasparito a) entera y b) mitad

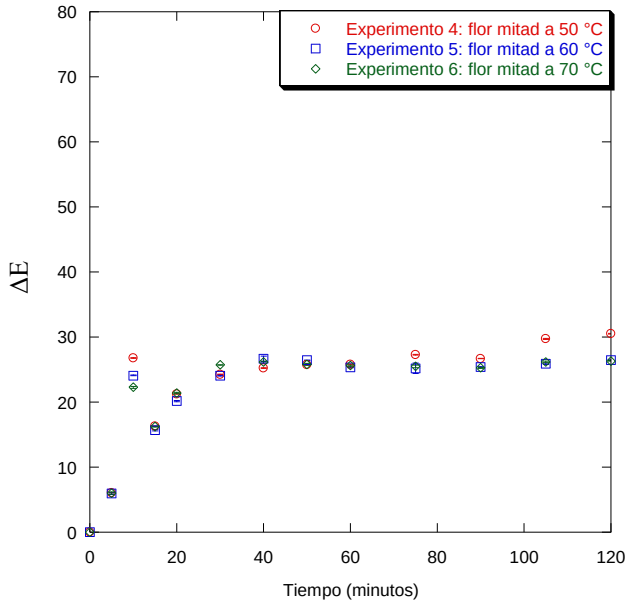
ISSN: 2007 8102

Parámetros de color (L*, a*, b* y ΔE)

En la Figura 3 se muestra la diferencia de color durante el proceso de secado por lecho fluidizado de la flor de Gasparito entera y en mitades. Se puede observar valores mayores de ΔE entre los experimentos en donde la flor fue deshidratada en forma entera (Figura 3a) que en las muestras en donde la flor fue cortada en mitad (Figura 3b), similar a lo reportado por [7], quien también menciona un cambio de color mayor cuando la flor de calabaza fue deshidratada entera en comparación con el corte en mitad. Cabe mencionar que los valores de los parámetros de color para la flor fresca fueron *L**= 13.73, *a**= 14.61 y *b**= 5.22 indicando tonalidades rojas (parámetro *a**) y tonalidades amarillas (parámetro *b**), mientras que para la flor entera deshidratada entera fueron *L**= 14.83, *a**= 5.51, *b**= 2.54 y ΔE=36.05**,** así como para la flor en mitad fueron *L**= 15.81, *a**= 3.46, *b**= 4.61 y ΔE=26.28 para un tiempo de secado de 120 minutos a 70°C. Aunque los valores de ΔE observados son mayores a 20 en las tres temperaturas, visualmente resulta ser un color aceptable para la vista del consumidor (Figura 4).



a)



b)

Figura 3. Evolución del color en la flor de Gasparito durante el proceso de secado por lecho fluidizado a) entera y b) mitad

 ISSN: 2007 8102

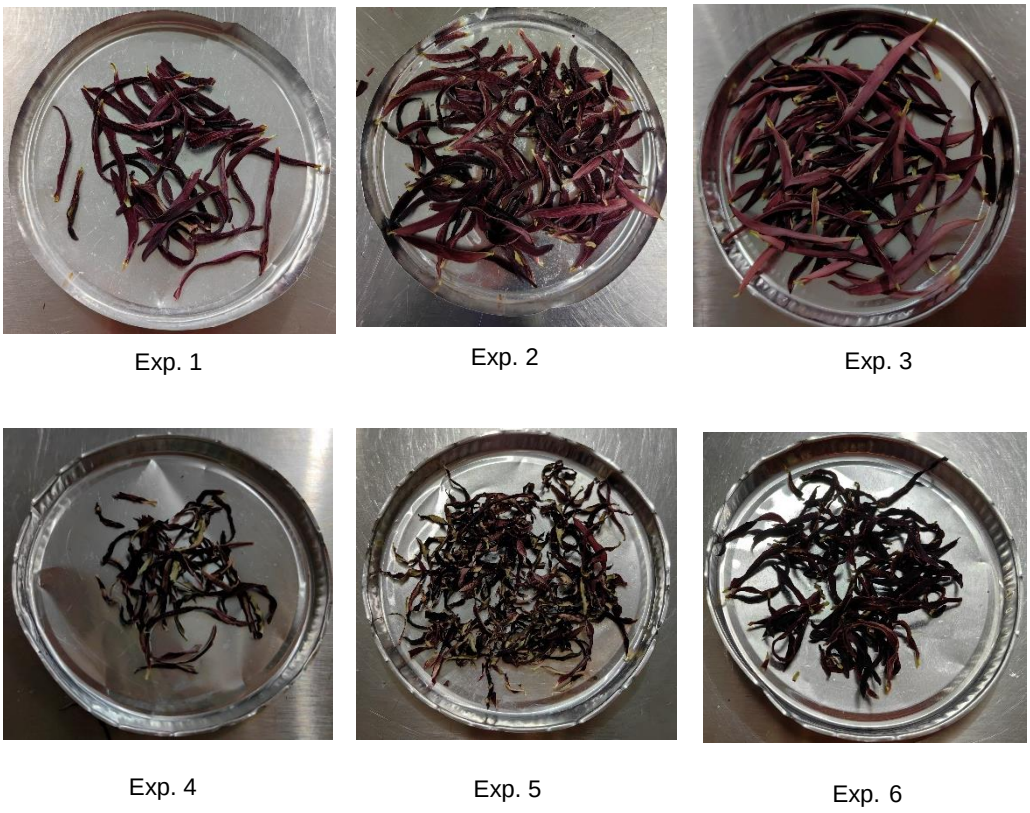


Figura 4. Imágenes de color de muestras deshidratadas de flor de Gasparito

Los valores finales de los parámetros *L*, a*, b** y ΔE para la flor de Gasparito entera y mitad a las tres temperaturas durante un tiempo de secado de 120 minutos con respecto a la flor fresca se muestran en la Tabla 1, observándose que los valores de diferencia de color más altos corresponden a las temperaturas de 50 y 60°C para los dos tipos de corte.

Tabla 1. Parámetros de color de la flor de Gasparito para un tiempo de secado de 120 minutos

Exp.	Temperatura (°C)	Muestra	Parámetros de color			
			L*	a*	b*	ΔE
Flor fresca			$13.73^{0.021}$	$14.61^{0.028}$	$5.22^{0.056}$	
1	50	Entera	$12.03^{0.106}$	$1.96^{0.014}$	$3.61^{0.021}$	$39.58^{0.155}$
2	60	Entera	$9.40^{0.1060}$	$3.15^{0.021}$	$1.92^{0.014}$	$43.26^{0.106}$
3	70	Entera	$14.83^{0.042}$	$5.51^{0.056}$	$2.54^{0.028}$	$36.05^{0.005}$
4	50	Mitad	$12.59^{0.049}$	$1.31^{0.035}$	$4.31^{0.035}$	$30.59^{0.053}$
5	60	Mitad	$13.33^{0.021}$	$1.54^{0.021}$	$3.47^{0.021}$	$26.52^{0.077}$
6	70	Mitad	$15.81^{0.035}$	$3.46^{0.042}$	$4.61^{0.042}$	$26.28^{0.056}$

 ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

Es necesario ensayos futuros a partir de los resultados del presente trabajo, por lo que se pretende evaluar la calidad del producto deshidratado mediante el análisis del grado de rehidratación y propiedades funcionales como antioxidantes por el método DPPH y contenido de vitamina C. Además, mediante isotermas de sorción se analizará el comportamiento del producto deshidratado para su almacenamiento.

Conclusiones

Las flores de Gasparito son ricas en nutrientes y compuestos que pueden traer beneficios a la salud. Sin embargo, su baja estabilidad y su presencia determinada época del año no permiten su aprovechamiento. Por lo que hay una necesidad de aplicar métodos de secado que permitan disminuir la humedad presente en la flor, logrando un producto estable. Es así que, de acuerdo con las condiciones de proceso estudiadas en la presente investigación, se pudo observar que tanto la temperatura como el tamaño de la muestra tienen un efecto en el tiempo de secado, ya que al ser de menor tamaño el secado tiende a llevarse a cabo a mayor velocidad implicando un ahorro de tiempo y energía. Respecto al ΔE se encontró que la temperatura y el corte tienen un efecto sobre el color, sin embargo, visualmente el color aún conserva una tonalidad aceptable por el consumidor. De igual manera, el tamaño de la flor y la temperatura tienen un efecto en la disminución del contenido de humedad, siendo a los 120 minutos y el corte a la mitad en donde se obtuvieron los valores más bajos, mientras que la a_w se encuentra por debajo de 0.5 en las tres temperaturas y los dos tipos de corte al mismo tiempo de secado.
Por lo que, se puede concluir que el secado por lecho fluidizado es un método adecuado y eficiente para la deshidratación de flor de Gasparito al disminuir la humedad (5%) y la actividad de a_w (0.4), y manteniendo al mínimo los cambios de color, obteniendo así un producto estable, logrando alargar la vida de anaquel de flor de Gasparito.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el apoyo financiero a través de diferentes proyectos y por la beca CONAHCYT para la estudiante Miriam Guadalupe González Serrano.

Referencias

[1] López-Hermida, I. L., Martínez-García, J.E., Díaz-Vega, R., Blasco-López, G. 2021. "Desarrollo de un nuevo producto alimenticio a base de gasparito (Erythina americana Miller). Revista Electrónica de la Coordinación Universitaria de Observatorios de la Universidad Veracruzana. UV serva. (112), 101-119.
[2] Hincapié , M. A., & Zapata , J. E. 2019. Estudio de la cinética de deshidratación de Uchuva (Physalis peruviana L) en un secador de lecho fluidizado. Información Tecnológica , 30(2), 115-224. http://dx.doi.org/10.4067/S07180764201900020011 5.
[3] Geankoplis, C. J. (1998). Proceso de Transporte y Operaciones unitarias (Tercera ed.). México: CECSA.
[4] Calis-Pérez, C. J. (2018). “Efecto del almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del queso deshidratado por lecho fluidizado”. Tesis de Maestría. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba.
[5] Singh, R. P., & Heldman, D. R. 2009. “Introducción a la ingeniería de los alimentos”. (Segunda Ed.).
[6] Domínguez-Niño, A., Buendía-González, A.N., Cantú-Lozano, D., Andrade-Gonzalez, I., Luna-Solano, G. 2016. Efecto del secado por lecho fluidizado sobre las propiedades de fisicoquímicas y microbiológicas de queso fresco mexicano. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 15(3), 869-881.
[7] Luna Guandulay , J. E. 2021. “Evaluación del proceso de secado de flor de calabaza sobre sus propiedades fisicoquimicas y antioxidantes”. Tesis de maestría. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Orizaba.

 ISSN: 2007 8102

Predicción de las condiciones de estabilidad de *Lactobacillus rhamnosus* encapsulado mediante secado por aspersión

Marin-Castro U.R.[1], Rascón-Díaz M.P.[2], López-Hernández E.[3], Rosas-Nexticapa M.[3], Bonilla-Zavaleta E.[3]*

[1]Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Prol. Oriente 6, 94340, Orizaba, Veracruz, México.
[2]Centro de Investigación y Desarrollo en Alimentos (CIDEA), Universidad Veracruzana, Col. Industrial Animas, 91190, Xalapa-Enríquez, Veracruz, México.
[3]Facultad de Nutrición, Universidad Veracruzana, Odontólogos S/N, U.H. del Bosque, 91017 Xalapa-Enríquez, Veracruz, México. enbonilla@uv.mx

***Área de participación**: Ingeniería química*

Resumen

La conservación de la viabilidad en bacterias probióticas como *Lactobacillus rhamnosus* es influenciada por factores ambientales, lo cual hace necesario implementar tecnologías de conservación. En el presente trabajo se propuso el secado por aspersión de *Lactobacillus rhamnosus*, así como un análisis de las propiedades de sorción para la determinación de las condiciones óptimas de almacenamiento. Fueron realizadas isotermas de adsorción agua a tres temperaturas, las cuales fueron ajustadas a los modelos GAB y D´Arcy y Watt, y usadas para la determinación del valor de monocapa y la mínima entropía integral, parámetros definidos como puntos de máxima estabilidad; los valores de monocapa se encontraron entre 5.73 a 7.44 g de agua/100 g de s.s. mientras que la mínima entropía resultó en un valor promedio de 7.62 g de agua/100 de s.s. para el intervalo de temperaturas estudiadas; se observó una influencia lineal positiva entre la aw y el tamaño de partícula.

***Palabras clave**: isotermas de adsorción, modelamiento, monocapa, mínima entropía*

Abstract

The conservation of viability in probiotic bacteria such as *Lactobacillus rhamnosus* is influenced by environmental factors, which makes it necessary to implement conservation technologies. In the present work, the spray drying of *Lactobacillus rhamnosus* was proposed, as well as an analysis of the sorption properties for the determination of optimal storage conditions. Water adsorption isotherms were carried out at three temperatures, which were adjusted to the GAB and D'Arcy and Watt models, and used to determine the monolayer value and the minimum integral entropy, parameters defined as points of maximum stability. the monolayer values were between 5.73 to 7.44 g of water/100 g of s.s. while the minimum entropy resulted in an average value of 7.62 g of water/100 of s.s. for the range of temperatures studied; a positive linear influence was observed between aw and particle size.

***Key words**: adsorption isotherms, modeling, monolayer, minimum entropy*

Introducción

Dentro de los alimentos que habitualmente se consumen se encuentran aquellos que, ya sea de forma natural o procesada, contienen sustancias o elementos que aportan efectos benéficos a la salud, a éstos se les conoce como alimentos funcionales. Un grupo que día a día gana popularidad dentro de los alimentos funcionales son los probióticos, los cuales son microorganismos que pueden incluirse en la preparación de una amplia gama de productos, alimenticios o farmacéuticos, con la finalidad de mejorar la salud gastrointestinal del huésped [1]. Dentro de los géneros de bacterias ácido-lácticas frecuentemente usadas como probióticos se encuentra *Lactobacillus*, y como uno de sus géneros con aplicación en alimentos la especie *rhamnosus*. Sin embargo, una limitante en el uso de microorganismos con efecto probiótico en el desarrollo de alimentos funcionales se debe a

la baja resistencia a las condiciones medio ambientales que disminuyen de forma drástica su viabilidad. Por consiguiente, se deben buscar opciones o estrategias de protección. Actualmente se ha incursionado en el estudio de tecnologías no térmicas, tales como, procesamiento a altas presiones, pulso de campo eléctrico o ultrasonido [2], cuya aplicación es aún muy escasa, por lo que los procesos de deshidratado como la liofilización, el secado con vacío y el secado por aspersión, siguen siendo los más comunes [3]. En este sentido, el secado por aspersión de emulsiones enriquecidas con probióticos es una estrategia que permite proteger al microorganismo de condiciones adversas. Así, se estudia a la microencapsulación como una estrategia para la supervivencia de estos microorganismos y a la vez, para una exitosa microencapsulación, se estudian diversos agentes encapsulantes, como en este caso el almidón modificado de maíz, para lograr una buena viabilidad celular después del sometimiento a procesos térmicos, condiciones de almacenamiento y las condiciones que el mismo cuerpo humano presenta [4].

Con respecto a las variables a considerar como elementos críticos de estabilidad de un alimento, se debe considerar el contenido de humedad como parámetro que rige diversos cambios fisicoquímicos y microbiológicos [5]. El estudio del comportamiento que presentan las microcápsulas con probióticos almacenadas a diferentes humedades relativas y temperaturas, permite obtener conocimiento sobre el papel que juegan estas variables sobre su estabilidad a través del análisis de las isotermas de adsorción en condiciones controladas. A través de este análisis, es posible conocer los valores que corresponden a la formación de la monocapa durante el proceso de adsorción, así como también el estudio termodinámico del proceso, permite predecir su estabilidad mediante la obtención de los valores de mínima entropía integral, que corresponde a la zona en donde se presenta el mayor ordenamiento de las moléculas de agua y, por consiguiente, la zona de mayor estabilidad de las microcápsulas durante el almacenamiento [5, 6].

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el proceso de adsorción de vapor de agua sobre las microcápsulas con *L. rhamnosus* a través del análisis termodinámico de las isotermas de adsorción para proponer las mejores condiciones de estabilidad en almacenamiento de las microcápsulas.

Metodología

Materia prima

En este trabajo se utilizó almidón modificado Capsul LDA510 (National Starch Food Innovation, México) como agente encapsulante, prebiótico inulina (Nobel Foods, Authentic & Natural, Guadalajara, México) y aceite de uva (Overseas Food Trading LTD, Fort Lee, NJ, E.U.A.); ésteres de polirricinoleato (Grindsted PGPR 90 y Panodan Danisco Mexicana. S.A. de C.V., México), así como *Lactobacillus rhamnosus* LC705 (Danisco, Niebüll, Alemania).

Preparación de la emulsión doble

Para llevar a cabo la inclusión del probiótico en la emulsión, se utilizó la estrategia metodológica reportada por Pimentel-González y col. [7]. El proceso de preparación de la emulsión doble consistió en dos etapas, tal como lo reportó Rascón-Díaz y col. [8].

Secado por aspersión

Una vez preparada la emulsión doble esta fue secada por aspersión (Büchi B-290, Flawil, Suiza) bajo las siguientes condiciones de operación: temperatura de entrada de 170 °C, temperatura de salida a 90 °C y velocidad de alimentación de 9 mL/min.

Construcción de isotermas de adsorción de agua

Las microcápsulas conteniendo *L. rhamnosus* fueron colocadas en desecadores con P_2O_5 como agente desecante y en condición de vacío a 25 °C. Los datos de adsorción de humedad fueron obtenidos utilizando el método gravimétrico descrito por Lang y col. [9]. Para esto, por triplicado, se tomó un gramo de muestra el cual fue pesado y colocado en charolas circulares de aluminio. Las microcápsulas se colocaron por separado en desecadores conteniendo soluciones saturadas de diferentes sales LiCl, CH_3COOK, $MgCl_2$, K_2CO_3, $Mg(NO_3)_2$, $NaNO_2$, NaCl y KCl. Las muestras fueron almacenadas a 25, 35 y 45 °C hasta que el equilibrio fue alcanzado. Se consideró como punto de equilibrio en la adsorción de vapor de agua cuando la diferencia entre dos pesadas consecutivas fue menor de 1 mg/g de sólidos.

 ISSN: 2007 8102

Modelado de las isotermas de adsorción

El análisis de los datos experimentales de adsorción de agua fue modelado con el software Kaleida Graph versión 4.0, mediante los modelos de GAB y D´Arcy y Watt generalizado (GDW por sus siglas en inglés) (Ec. 1 y 2, respectivamente).

$$M = \frac{M_{0GAB} C_{GAB} K a_w}{(1-Ka_w)(1-Ka_w+CKa_w)} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde: a_w es la actividad de agua; M es el contenido de humedad de la muestra en base seca (g de agua/100 g de s.s.); M_0 es el contenido de humedad en la monocapa (g de agua/100 g de s.s.); C la constante de Guggenheim; K es la constante correctiva de las propiedades de las moléculas de agua en la multicapa.

$$M = \frac{M_0 k_{GDW} a_w}{1+K_{GDW} a_w} + \frac{1-k(1-w)a_w}{1+ka_w} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde K_{GDW} y k son constantes cinéticas relacionadas con la sorción en los sitios de sorción primarios y secundarios, respectivamente; w es el parámetro que determina la proporción de moléculas unidas a los centros primarios y convertidas en los secundarios [10].

La selección del modelo fue realizada utilizando el valor porcentual de los módulos de desviación media relativa E (%), Ec. 3 y el coeficiente de correlación R^2

$$E\% = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^{n} \frac{|M_{ei} - M_{ci}|}{M_{ei}} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde: M_{ei} y M_{ci} representan los valores de contenido de humedad experimentales y predichos respectivamente [11].

Las propiedades termodinámicas, diferenciales e integrales, de las moléculas de agua adsorbidas en la superficie de las muestras secas, fueron determinadas utilizando el enfoque de Othmer [12] y las ecuaciones ya establecidas en estudios para materiales alimenticios deshidratados. Se evaluó la energía libre de Gibbs (ΔG) y entropía (ΔS) diferencial e integral de acuerdo con lo reportado previamente [6].

Resultados y discusión

Estudio de las isotermas de adsorción

Los contenidos de humedad en equilibrio en función de la actividad de agua para microcápsulas de almidón modificado conteniendo *L. rhamnosus* fueron modelados con la ecuación de GAB, la cual ha sido ampliamente reportada para su uso en alimentos debido que este modelo se ajusta a las isotermas de adsorción en intervalos de actividad de agua que van de 0.1 a 0.85 así como el modelo GDW. En la Tabla 1, se presenta un resumen de los resultados obtenidos para el modelo GAB y GDW, con sus respectivas constantes. De acuerdo con Lomauro y col. [13], un modelo es considerado aceptable si el valor de P está por debajo del 10%. Por esto, ambos modelos son aceptables para el modelamiento de los isotermas, sin embargo, el modelo de GAB tuvo un mejor ajuste para los datos experimentales ya que su valor de P es menor que el del modelo GDW.

El valor de la monocapa es de importancia al indicar qué cantidad de agua está fuertemente adsorbida en sitios de la superficie del alimento y es considerado como el valor óptimo para asegurar su estabilidad [14]. Como se puede observar en la Tabla 1, los valores de monocapa obtenidos a partir de la ecuación GAB, se encuentran en el intervalo de 5.73 -7.44 g H_2O/g s.s. y para la ecuación GDW los valores van de 4.40 -5.29 H_2O/g s.s. De igual forma, se aprecia que el contenido de humedad en la monocapa, para ambas ecuaciones, tiene una tendencia a disminuir conforme la temperatura aumenta de 25 °C a 45 °C. Esto debido a que las moléculas de agua a bajas temperaturas tienen una menor energía cinética la cual no es suficiente para superar la energía de adsorción correspondiente. Asimismo, las moléculas de agua se enlazan con los compuestos del almidón modificado; este tipo de enlace puente de hidrógeno provocan una reacción exotérmica la cual disminuye cuando la temperatura aumenta [15].

 ISSN: 2007 8102

Tabla 1. Constantes del modelo GAB y GDW para las isotermas de adsorción a 25, 35 y 45 °C.

Modelo	Constantes	Temperatura		
		25 °C	35 °C	45 °C
GAB	Mo (gH_2O/100 g s.s.)	7.44	6.03	5.73
	C	49.68	60.52	28.5
	K	0.53	0.63	0.65
	P (%)	3.77	6.04	3.74
	R^2	0.99	0.99	0.99
GDW	m	5.29	4.53	4.40
	k	0.20	0.34	0.42
	w	7.13	4.42	3.25
	P (%)	7.45	6.80	4.77
	R^2	0.99	0.97	0.98

Los resultados de este trabajo con relación a su ajuste utilizando el modelo de GAB a 3 temperaturas de estudio, están en concordancia con los valores límites de las constantes C y K, sugeridos por Lewicki [16], quien establece que las constantes deben estar contenidas en intervalos de $0.24 \leq K \leq 1$ y $5.67 \leq C \leq \infty$. El valor de K proporciona una medida de las interacciones entre las moléculas del agua de la multicapa con el adsorbente. Si K es igual a 1, las multicapas tienen propiedades de agua líquida. Los valores de K en las microcápsulas de almidón presentaron pequeñas variaciones que van de 0.538 a 0.659. Para los resultados del modelo GDW, los valores de k tienden a aumentar conforme lo hace la temperatura, este parámetro está relacionado con la cinética de adsorción del vapor de agua. El valor de w muestra que conforme la temperatura aumenta existe una disminución de la cantidad de agua absorbida en los sitios primarios que se convierten en sitios secundarios de adsorción.

Energía libre de Gibbs

En la Figura 1 se presenta la variación que existe de la energía libre de Gibbs a diferentes temperaturas para la adsorción de vapor de agua con respecto al contenido de humedad para las microcápsulas.

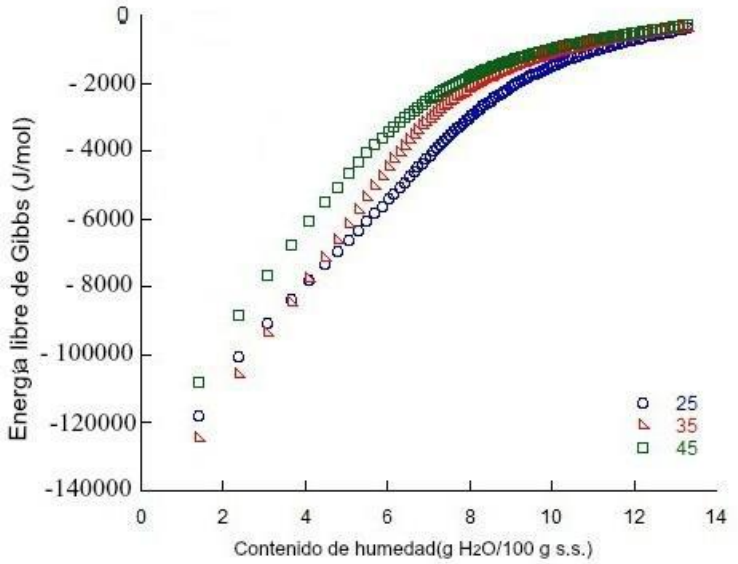


Figura 1. Variación de la energía libre de Gibbs (25, 35 y 45°C) con respecto al contenido de humedad.

 ISSN: 2007 8102

La energía libre de Gibbs permite conocer si el proceso de adsorción es espontáneo o no; así, valores negativos de ΔG implican un proceso espontáneo, mientras que valores positivos significa que la adsorción de vapor de agua requiere de aporte de energía para llevarse a cabo. Los valores obtenidos se encuentran por debajo de cero lo que indica que la adsorción de agua ocurre de forma espontánea, pero de las tres temperaturas evaluadas es a 25°C la temperatura que requiere menor cantidad de energía para migrar una molécula de agua del estado gaseoso a su estado adsorbido. En la Figura 1 es posible observar que el proceso de adsorción que se presenta durante la formación de la monocapa, (intervalo de 5.73 a 7.44 g H_2O/100 g s.s.), es más espontáneo a menores temperaturas de almacenamiento (25>35>45), respectivamente.

Mínima entropía integral

Las variaciones en la entropía diferencial e integral con relación al contenido de humedad en las microcápsulas de *Lactobacillus rhamnosus* se representan en la Figura 2. La actividad de agua en la que se presenta la mínima entropía integral se puede interpretar como el punto en el cual el alimento tiene su mayor estabilidad siendo esta zona la correspondiente a la intersección de las curvas [6]. La mínima entropía integral se puede interpretar como el contenido de humedad requerido para la formación de una monocapa. Este mínimo se llevará a cabo cuando existen fuertes interacciones entre el adsorbato y el adsorbente. Posterior a alcanzar la mínima entropía integral se puede observar un pequeño incremento conforme el agua ha ocupado los sitios activos del material y se empiezan a formar multicapas.

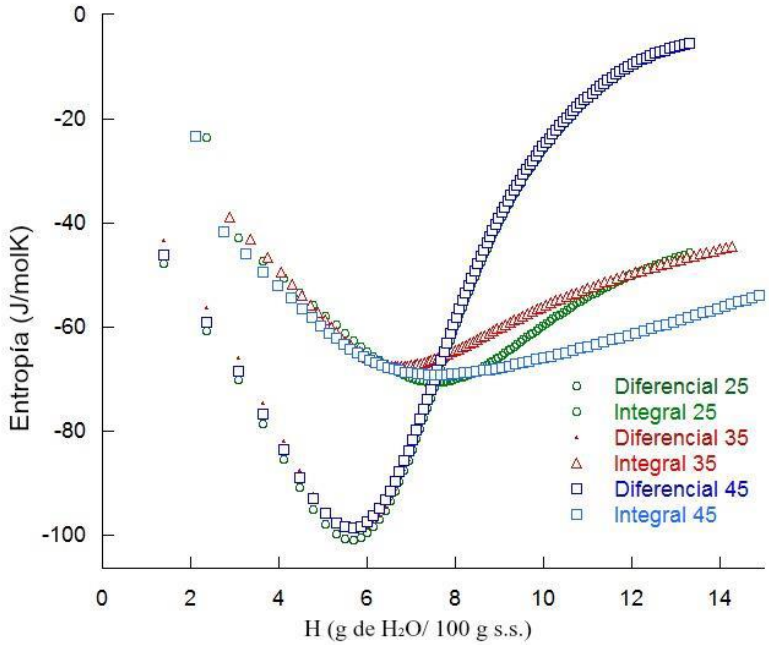


Figura 2. Variación de la entropía diferencial e integral (25, 35 y 45°C) con respecto al contenido de humedad.

Las condiciones de estabilidad predichas por la mínima entropía integral se resumen en la Tabla 2. De acuerdo con los resultados obtenidos y debido a que los cambios de entropía integral en la proximidad del valor mínimo presentan poca variación, fue conveniente establecer una zona de mínima entropía integral en la cual se considera las microcápsulas tendrán su máxima estabilidad.

La mínima entropía integral tuvo un mínimo en 7.58, 7.74 y 7.54 g H_2O/100 g s.s. para las microcápsulas almacenadas a 25, 35 y 45 °C, respectivamente; estos valores fueron ligeramente mayores a los valores de monocapa obtenidos con la ecuación de GAB. En el caso de la entropía diferencial tuvo un mínimo en 5.67, 5.79 y 5.75 g H_2O/100 g s.s. para las microcápsulas almacenadas a 25, 35 y 45 °C, respectivamente; estos valores no significan orden o desorden del sistema. La entropía diferencial no se considera como un punto de máxima

 ISSN: 2007 8102

estabilidad ya que no todos los sitios activos han sido ocupados y por lo tanto es posible obtener después de este punto menores cambios diferenciales que provean un mejor orden de las moléculas de adsorbato [5].

Tabla 2. Predicción de las condiciones de máxima estabilidad para las microcápsulas de almidón modificado conteniendo *Lactobacillus rhamnosus*.

Temperatura (°C)	Contenido de humedad (g H_2O/100 g s.s.)	a_w	Zona de máxima estabilidad (contenido de humedad)	a_w
25	7.58	0.246	7.27 – 7.81	0.213 – 0.273
35	7.74	0.406	7.50 – 8.04	0.366 – 0.436
45	7.54	0.450	6.70 – 8.66	0.360 – 0.570

De igual forma, se observó que la a_w de almacenamiento ejerció un efecto sobre el tamaño de partícula de las microcápsulas. El incremento en el tamaño de partícula se debe a que conforme hay un aumento en el valor de actividad de agua de almacenamiento, existe una mayor ganancia de humedad lo que provoca el hinchamiento de las partículas y además se produce un apelmazamiento e inclusive el colapso estructural de las microcápsulas. Por consiguiente, es necesario almacenar las microcápsulas a bajos contenidos de humedad para evitar este efecto. Como se observa en la Figura 3, existe una relación lineal entre la actividad de agua y el tamaño de partícula (R=0.99) lo que indica la total dependencia del incremento en el tamaño de la partícula conforme el valor de a_w aumenta (almacenamiento realizado a 25°C).

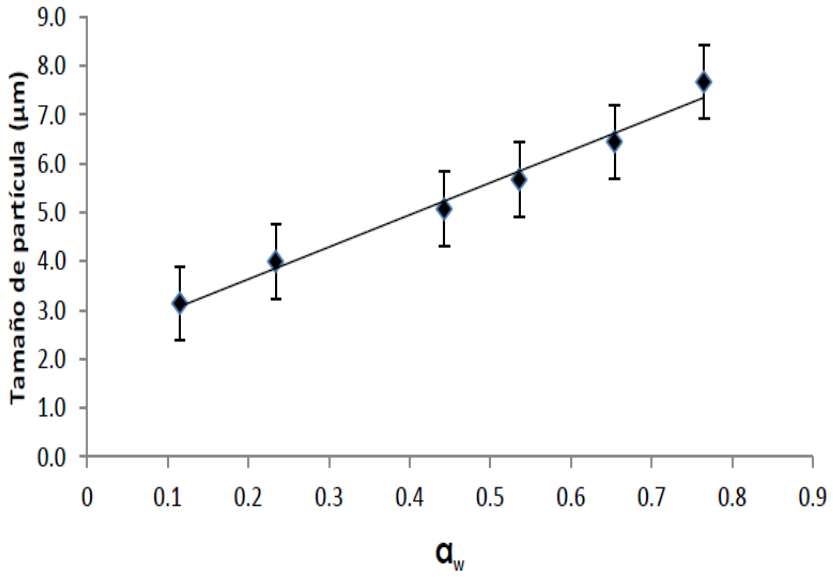


Figura 3. Efecto de la a_w sobre el tamaño de partícula de microcápsulas con *Lactobacillus rhamnosus*.

Trabajo a futuro

Como complemento a esta investigación, se recomienda la realización de cinéticas de viabilidad celular del *Lactobacillus rhamnosus* durante el almacenamiento a diferentes actividades de agua con el objetivo de validar experimentalmente los datos de estabilidad determinados a través del análisis del proceso de adsorción de vapor de agua.

Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos, el modelo de GAB fue el que mejor se ajustó para describir el comportamiento del proceso de adsorción de vapor de agua en las microcápsulas. A partir del análisis de las propiedades termodinámicas del proceso de adsorción (entropía diferencial e integral) se recomienda el almacenamiento de estas microcápsulas a contenidos de humedad que corresponden a la mínima entropía

 ISSN: 2007 8102

integral (a_w de 0.246 – 0.450). Por último, los resultados de la energía libre de Gibbs mostraron que el almidón modificado es más higroscópico a bajas temperaturas de almacenamiento.

Referencias

[1] Organización Mundial de Gastroenterología, “Probióticos y Prebióticos”, 2008.
[2] Asaithambi, N., Singh, S. K., & Singha, P. “Current status of non-thermal processing of probiotic foods: A review”, *Journal of Food Engineering*, 303, pp. 110567. 2021.
[3] Kiepś, J., & Dembczyński, R. “Current trends in the production of probiotic formulations”,*Foods*, 11(15), pp. 2330. 2022
[4] Pérez-Leonard H., G. Bueno-García, M. A. Brizuela-Herrada, K. Tortoló-Cabañas y C. Gastón-Peña. “Microencapsulación: una vía de protección para microorganismos probióticos”, ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. 47:pp. 14-25, 2013.
[5] Beristain, C. I., Azuara, E., Vernon-Carter, E. J. “Effect of water activity on the stability to oxidation of spray-dried encapsulated orange peel oil using mesquite gum (*Prosopis juliflora*) as wall material”, *Journal of Food Science*, 67(1), pp. 206-211, 2002.
[6] Bonilla, E., Azuara, E., Beristain, C. I., Vernon-Carter, E. J., ”Predicting suitable storage conditions for spray-dried microcapsules formed with different biopolymer matrices”, *Food Hydrocolloids*, 24(6-7), pp. 633-640, 2010.
[7] Pimentel-González D.J., Campos-Montiel G., Lobato-Calleros, C., Pedroza-Islas, R. “Encapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* in double emulsions formulated with sweet whey as emulsifier and survival in simulated gastrointestinal conditions”, *Food Research International*. (42) pp. 292-297, 2009.
[8] Rascón-Díaz, M.P., Flores-Andrade, E., Castillo-Morales, M., Fernández-Bernabé, M. C., y Bonilla-Zavaleta, E. “Efecto de la aw sobre las propiedades de flujo de microcápsulas conteniendo *Lactobacillus rhamnosus*”, *Coloquio de Investigación Multidisciplinaria*, pp. 4:1, 2016.
[9] Lang, K. W., McCune, T. D., & Steinberg, M. P. “A proximity equilibration cell for rapid determination of sorption isotherms”, *Journal of Food Science*, 46(3), pp. 936-938. 1981.
[10] Furmaniak, S., Terzyk, A. P., & Gauden, P. A. “Some remarks on the classification of water vapor sorption isotherms and Blahovec and Yanniotis isotherm equation”, *Drying Technology*, 29(8), pp. 984-991. 2011.
[11] Kaymak-Ertekin, F., Gedik, A. “Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes”. *LWT-Food Science and Technology*, 37(4), pp. 429-438, 2004.
[12] Othmer D. F. “Correlating vapor pressure and latent heat data. A new plot”, *Industrial Engineering Chemistry*. 32:pp. 841-856, 1940.
[13] Lomauro C. J., A. S. Bakshi and T. P. Labuza. “Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, vegetable and meat products”, *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 18: pp. 111-117, 1985.
[14] Gabas A., J. Telis-Romero, G. I. Giraldo-Gómez, V. R. Telis. “Propiedades termodinámicas de sorción de agua de pulpa de lulo en polvo con encapsulantes”, *Ciencia e Tecnología alimentaria*, 29:pp. 911-918, 2009.
[15] Al-Muhtaseb, A. H., W. A. M. McMinn, and T. R. A. Magee. "Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review." *Food and Bioproducts Processing* 80.2: pp. 118-128, 2002.
[16] Lewicki, P. P., “The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms”, *International Journal of Food Science & Technology*, 32(6), pp. 553-557, 1997.

ISSN: 2007 8102

ÁREA SISTEMAS COMPUTACIONALES

SC 1 **Sistemas Inteligentes de Recomendación para Comida Saludable basados en Empujones Digitales: Estado del Arte** SC-03
Judith Mayte Flores Pérez y Richard de Jesús Gil Herrera

SC 2 **Asociando Enfermedades Crónicas y Condiciones Físicas a través de Técnicas de Aprendizaje Automático: Caso México** SC-13
Fernando Mora Brito, Julieta Henao Pérez y Richard de Jesús Gil Herrera

SC 3 **CHATBOT PARA DAR SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS PRESENTADOS EN LOS LABORATORIOS DEL CU UAEM NEZAHUALCÓYOTL.** SC-23
Paola Sofia Noriega Corona y Dora María Calderón Nepamuceno

SC 4 **Una mejora del algoritmo Fuzzy c-Means utilizando la función de distribución gaussiana** SC-33
A. Mexicano Santoyo, P.N. Montes Dorantes, E.G. Pérez Estrada, J.C. Carmona Frausto y S. Cervantes Álvarez

SC 5 **Estado actual de la Ingeniería de Software Orientada a Asuntos** SC-42
Aline M. Hernández-Fajardo, Karen Cortés-Verdín, Ulises Juárez-Martínez y Ángeles Arenas Valdés

SC 6 **Simplificación evolutiva de Máquinas de Estado Finitas a partir de una cadena de entrada y salida (E-FSM)** SC-50
Rodolfo Romero Herrera, Alvarado Flores José A., Cervantes Hernández Diego I., García Zacarías Ángel E. y Reveles Gonzáles Ángel A.

SC 7 **Detección de depresión mediante procesamiento de fotogramas** SC-60
Rodolfo Romero-Herrera, Odan Ricardo García Mosqueda. y Cecilio Rivero García

SC 8 **Desarrollo de una plataforma para la búsqueda de patrones del movimiento humano a partir de datos crudos recuperados por acelerómetros** SC-70
Panzi Utrera M., Venegas García J.A, Hernández Acevedo G., López Diaz L.I. y Espíritu Castro, A.I.

SC 9 **Evaluación de Algoritmo Bio-inspirado y Evolución Diferencial en Funciones Unimodales y Multimodales** SC-82
Abel Salas Leal, Hernán Peraza Vázquez y Adrián Fermín Peña Delgado

SC 10 **La influencia de las prácticas de gestión del cambio ágil en equipos de ingeniería de software** SC-92
Roberto Limón Ulloa, Richard de Jesús Gil Herrera y Edith Patricia Borboa Álvarez

SC 11 **Plataforma Web basada en PLN y Web Semántica para impulsar la preservación de medicina tradicional** SC-102
María del Pilar Salas-Zárate, Mario Andrés Paredes-Valverde, Luis Omar Colombo-Mendoza y Paola Gómez-García

ISSN: 2007 8102

SC 12 **Sistema de control de acceso a instituciones educativas a través de técnicas de reconocimiento facial.** SC-110
A.A. Orea Vite, A. Aguilar Cortés, J. Robles Calderón y G. Robles Calderón

SC 13 **Sistema predictivo de variables de negocio utilizando redes neuronales** SC-120
Manuel Andrés Gil Valenzuela, María Trinidad Serna Encinas, José Ulises Teyechea Peralta, Rosalía del Carmen Gutiérrez Urquidez y Rafael Armando Galaz Bustamante

SC 14 **Aplicación de filtros para el reconocimiento de patrones en conjuntos de datos** SC-130
Misael López Nava, Juan Reyes Reyes y Luis José Muñiz Rascado

SC 15 **APLICACIÓN PARA EL SEGUIMIENTO A FALLAS EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO MUNICIPAL** SC-140
H. Vicenteño Rivera, A. Pérez López, M. Aguilar Cortés, J. Robles Calderón y M. A. Aguilar Cortés

SC 16 **Sistema Experto basado en Reglas para la distribución de agua con dispositivos IoT** SC-150
M.A. Aguilar Cortés, M. Aguilar Cortés y H. Vicenteño Rivera

SC 17 **Agente conversacional para la alfabetización digital en el contexto de comercio electrónico** SC-160
Mario Andrés Paredes Valverde, María del Pilar Salas Zárate, Luis Omar Colombo Mendoza, Humberto Marín Vega y Brenda Otero Peralta.

Sistemas Inteligentes de Recomendación para Comida Saludable basados en Empujones Digitales: Estado del Arte.

Judith Mayte Flores Pérez[1], Richard de Jesús Gil Herrera[2.]*
[1] mayte_fp@cuautitlan.unam.mx,[2] richard.dejesus@unir.net

***Área de participación**: Sistemas Computacionales*

Resumen
Los malos hábitos alimenticios provocan enfermedades no transmisibles como diabetes y obesidad desde muy temprana edad, por lo que es imperante generar mecanismos mucho más eficientes basados en la tecnología que ayuden a mitigar este problema a nivel mundial. Los sistemas de recomendación de comida saludable integrando empujones digitales, pueden ser una opción de prevención, ya que permiten impulsar a los usuarios a tomar decisiones mucho más saludables, de acuerdo con sus preferencias y necesidades nutricionales. Este documento presenta una investigación del estado del arte, sintetizando los principales hallazgos encontrados acerca de los sistemas de recomendación y empujones digitales en el dominio de la comida saludable. Se implementa una metodología de Revisión Sistemática de Literatura (PRISMA-ScR), encontrando de forma general que se presentan óptimos resultados en las técnicas híbridas de los sistemas de recomendación y en las técnicas de arquitectura de selección en empujones digitales, específicamente la estructura de decisión.

***Palabras clave**: Sistemas de recomendación, empujones digitales, soporte a decisiones, comida saludable, prevención de enfermedades.*

Abstract
Bad eating habits cause non-communicable diseases such as diabetes and obesity from younger ages, so it is imperative to generate much more efficient mechanisms based on technology that could help to mitigate this problem worldwide. Healthy food recommendation systems that use digital nudges can be a preventive option, due they allow users to make much healthier decisions, according to their preferences and nutritional needs. This document presents a state-of-the-art investigation, synthesizing the main findings about recommender systems and digital nudges in the domain of healthy food. It is applied a "Systematic Literature Revision" methodology (PRISMA-ScR), for finding in general optimal results in hybrid techniques about recommender systems and in the selection architecture techniques in digital nudges, specifically in the decision structure.

***Keywords**: recommender systems, digital nudging, decision support, healthy food, disease prevention.*

1. Introducción

La conducta alimenticia poco saludable se ha convertido en un problema de salud para los ciudadanos en todo el mundo, con graves repercusiones tanto en dinero como en la adquisición de alguna enfermedad no transmisible. Cada vez existen más estudios que sugieren una estrecha relación entre la ingesta de los alimentos ultra procesados con la diabetes, obesidad e hipertensión [1] [2].

Los patrones dietéticos son cada vez más insalubres, insostenibles e inequitativos para muchas poblaciones, por lo que, se necesitan bastantes estudios científicos y desarrollo de herramientas tecnológicas para abordar esta problemática, a fin de mejorar el bienestar y salud de la población. Recientes estudios con respecto a la ingesta de alimentos dietéticos están sugiriendo, sin embargo, las dietas suelen ser sub-óptimas y los cambios en el metabolismo posteriores a su consumo se han convertido en un factor de riesgo importante para la carga de morbilidad de la población [3]. En todas las regiones del mundo, la mayoría de las dietas son bajas en frutas, verduras, nueces y semillas, fibra y legumbres y altas en alimentos procesados. Aunque las dietas difieren según la edad, el género y la etapa general en el ciclo de vida, la comida saludable es más evidentes en adultos mayores que en los adultos jóvenes y en las mujeres que en los hombres [4].

En los últimos años los estudios epidemiológicos sobre la dieta y la salud se centran en la calidad de la dieta total y patrón dietético, donde la mejora del estilo de vida y hábitos alimenticios es una estrategia clave para reducir la tendencia a la obesidad. Sin embargo, parecen no lograrse buenos resultados a nivel global, ya que de acuerdo con los datos de la Salud Pública de México 2018-19, en el 2016 la prevalencia de la obesidad en México se ha incrementado en un 12.3%. [5]

Los sistemas de recomendación nacen debido a la necesidad de tomar decisiones informadas y confiables por parte de los usuarios, ya que la inmensa cantidad de información que existe al alcance de un clic vuelve esta acción mucho más difícil [6]. En el dominio de la salud, principalmente en la comida saludable, se han convertido en una herramienta de utilidad para seleccionar dietas, recetas de cocina, entre otras cosas, recomendando con base en las preferencias de los usuarios, sin embargo, parecen no ser suficientes, ya que al momento de realizar

las recomendaciones, no consideran los nutrientes necesarios diarios para tener una alimentación equilibrada, suficiente y variada, los gustos en alimentos, el estado actual de salud de la persona, entre otras cosas. [7].

El esfuerzo que se ha realizado en los últimos años para la integración de las nuevas tecnologías dentro de todas las áreas de investigación incluyendo la salud, ha sido notable y sigue en aumento, esto, debido a que cada vez más personas suelen utilizar las herramientas de software basadas en digitalización para realizar cualquier actividad que implique conocimiento accesible, destacando las consultas por internet de recetas de cocina o incluso de dietas, que en muchos de los casos no son las más adecuadas para la salud de cada persona y sus circunstancias [8].

Los sistemas de recomendación y en particular aquellos que se basan en inteligencia artificial emergen para responder a la necesidad de ofrecer recomendaciones personalizadas a los usuarios, ayudándolos a encontrar la información que desean a partir de un conjunto de datos cada vez más numeroso y hasta de diversas fuentes, por lo que su uso se ha incrementado considerablemente, sobre todo en la parte del comercio electrónico e incluso en la salud [9].

Por otro lado, es bien sabido que el comportamiento de las personas es por naturaleza bastante complejo, sobre todo cuando se trata de realizar alguna elección de alimentos a consumir, por lo que. informarlas acerca de los nutrientes que contiene cada producto o alimento natural, como la cantidad de calorías, de grasas, etc. no es suficiente, ya que su elección depende de diversos factores socioculturales, referenciales y hasta geográficos, como pueden ser: el sabor, el precio, los hábitos alimenticios, entre otros [10], de esta manera, en lugar de convencer a las personas de que la ingesta de cierto producto es perjudicial para su salud, los investigadores en el área se apoyan también, de la aplicación del concepto de “empujón digital” [11] como mecanismo de la economía del comportamiento del ser humano, que fue popularizado por un libro de Thaler y Sunstein en 2008 [12] y que permite dirigir u orientar indirectamente a los usuarios hacia opciones más deseables, sin interferir o condicionar su libertad de elección. Los empujones digitales son elementos de interfaz gráfica de usuario que permite establecer elecciones determinadas en entornos digitales y que además, pueden tomar formas diferentes [13]; por ejemplo, en el área de la comida saludable, una estrategia que se suele utilizar para impulsar las elecciones en el consumo de alimentos más saludables es jugar con el posicionamiento en los anaqueles y estantes de tales alimentos [14]. Además de la estrategia anterior, también se puede jugar con las opciones de comida en un menú, colocando específicamente la escasez de ciertos alimentos o de alguna manera haciendo que el comensal lea más veces aquellos que tienden a ser saludables.

Por todo lo mencionado con anterioridad, este trabajo presenta un estado del arte de los sistemas de recomendación de comida saludable, de aquellos que están utilizando tecnología basada en Inteligencia Artificial, así como, de la utilidad que los empujones digitales pueden tener al utilizarlos como herramienta para dirigir a los usuarios a que realicen elecciones mucho más informadas y deseables para ellos, considerando su estado de salud actual, sus preferencias, sus necesidades de ingesta nutricional diaria, entre otras.

Este trabajo tiene como principal objetivo sintetizar los hallazgos más relevantes de las principales características o atributos de los sistemas inteligentes de recomendación y los empujones digitales en el dominio de la salud, principalmente en lo referente a comida saludable, cuya combinación permita mejorar los hábitos alimenticios de las personas y así, prevenir enfermedades no transmisibles.

Como objetivos específicos se establecen los siguientes:

1. Seleccionar de la literatura técnica, los artículos científicos más relevantes asociados con la temática.
2. Aplicar criterios de inclusión y exclusión de acuerdo con la metodología de revisión de literatura y mapeo sistemático basado en [15], siguiendo el protocolo de elementos de informes preferidos para revisiones sistemáticas de meta-análisis para revisiones de alcance (PRISMA-ScR).
3. Sintetizar los hallazgos encontrados, en términos de autores, título, año de publicación (los últimos 10), contribución a la temática y técnicas utilizadas.

Los resultados de esta búsqueda se muestran categorizados de acuerdo con las preguntas de investigación, en tres secciones: Técnicas de sistemas de recomendación en el dominio de la salud, herramientas de IA, métodos y algoritmos utilizados en los sistemas de recomendación en el dominio de la comida saludable y principales mecanismos de empujones digitales que son aplicados en los sistemas de recomendación de la temática.

Los principales hallazgos encontrados demuestran que los modelos híbridos de sistemas de recomendación presentan mejores resultados que aquellos que utilizan una única técnica. Para las recomendaciones de comida saludable, se suelen utilizar algoritmos de inteligencia artificial como redes neuronales convolucionales, procesamiento de lenguaje natural, algoritmos genéticos, así como técnicas de matriz de factorización, métodos basados en grafos, entre otros.

Los mecanismos de empujones digitales más utilizados en recomendaciones de comida saludable son: empujón predeterminado, empujón resaltado, empujón social, empujón de advertencia, técnicas de arquitectura de selección.

2. Metodología

Para la elaboración de la metodología se llevó a cabo una Revisión Sistemática de Literatura, siguiendo el protocolo de elementos de informes preferidos para revisiones sistemáticas de meta-análisis para revisiones de alcance (PRISMA-ScR), con el objetivo de analizar los sistemas de recomendación en el ámbito de la salud, así como la implementación de los empujones digitales.

Fase 1. Planificar la revisión.

En esta fase de la metodología, se realizó una revisión del título, el resumen y las palabras clave, aplicándose a todos los resultados encontrados en cada biblioteca seleccionada.

1.1. Especificar las preguntas de investigación

Como la meta de este trabajo es encontrar evidencia actual de que los sistemas de recomendación de comida saludable están utilizando nuevas tecnologías basadas en Inteligencia Artificial y que además se están incluyendo a los empujones digitales, para ayudar a los usuarios a dirigir su elección hacia productos más saludables, las preguntas de investigación son las siguientes:

¿Qué tipos de técnicas son utilizadas en sistemas de recomendación en el dominio de la salud y nutrición?

¿Qué herramientas de Inteligencia Artificial (IA), métodos y algoritmos son utilizados en los sistemas de recomendación en el dominio de la comida saludable?

¿Cuáles son los principales mecanismos de empujón que aplican en el dominio seleccionado?

1.2. Protocolo de revisión

A partir de estas preguntas de investigación, se desarrolló una estrategia de búsqueda, utilizando las palabras clave: “Types of recommender systems” or “recommender systems in health” or “recommender systems in healthy food” or “Healthy food recommendation systems using digital nudges”, ejecutando dicha estrategia en PubMed, Google Scholar y ScienceDirect. La búsqueda realizada recuperó artículos del 2018 a la fecha.

1.3. Validar el protocolo de revisión

Para la validación del protocolo de revisión se elaboraron los criterios de selección y criterios de calidad. Los primeros incluyen criterios de inclusión y de exclusión.

Fase 2. Conducir la revisión

Se incluyó la revisión del documento completo de cada artículo encontrado, lo cual se llevó a cabo a través de la obtención y descarga de los documentos completos en PDF y agregándolos a Mendeley Reference Manager, de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión, de tal forma que los artículos que si cumplieron satisfactoriamente con los criterios fueron seleccionados y analizados en el apartado 6. Para estos fines, se desarrollaron las siguientes actividades:

2.1. Identificar fuentes

Para realizar esta tarea, se identificaron tantos estudios primarios relacionados con las preguntas de investigación cómo fue posible y se principalmente observó que los documentos estuvieran en el rango de años seleccionados, que tuviera buena ortografía, que contara con todas sus fuentes bibliográficas y fueran accesibles en la web y que sus hipótesis fueran relevantes para el tema tratado. En esta actividad se encontraron alrededor de 124 documentos.

2.2. Seleccionar estudios primarios

Una vez que se encontraron todos los estudios primarios, se seleccionaron aquellos que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión.

2.3. Evaluar la calidad de los estudios

Se evaluó la calidad de los estudios para que identificar con mayor detalle los criterios de inclusión y de exclusión y realizar el filtrado de documentos relevantes. De los 124 encontrados en la actividad anterior, solo quedaron 15.

2.4. Extracción y síntesis de datos

En primer lugar, los artículos fueron categorizados de acuerdo con las bibliotecas de donde se obtuvieron (ver Tabla 3) y posteriormente, se realizó la extracción de información de cada documento colocando los principales hallazgos en tablas.

Fase 3. Documentar la revisión

Los hallazgos encontrados se colocaron en tres tablas: la primera contiene información relacionada con los sistemas de recomendación clásicos en el dominio de la saludo, colocando las diversas técnicas utilizadas para su desarrollo, en la segunda tabla (Tabla 5) se colocó información de las principales técnicas, métodos y algoritmos de Inteligencia Artificial utilizados para el desarrollo de sistemas de recomendación de comida saludable y en la tercera tabla (tabla6) se colocaron las técnicas de empujones digitales implementadas en los sistemas de recomendación de comida saludable.

La información utilizada para la elaboración de esta metodología se puede observar en la Tabla1.

Tabla 1. Proceso de revisión sistemática de literatura.

Pregunta de investigación	¿Qué tipos de técnicas son utilizadas en sistemas de recomendación en el dominio de la salud y nutrición? ¿Qué herramientas de IA, métodos y algoritmos son utilizados en los sistemas de recomendación en el dominio de la comida saludable? ¿Cuáles son los principales mecanismos de empujón que aplican en el dominio seleccionado?
Protocolo de búsqueda	
Cadena de búsqueda	"Types of recommender systems" or "recommender systems in health" or "recommender systems in healthy food" or "Healthy food recommendation systems using digital nudges".
metadatos de búsqueda	Título, Resumen, palabras clave
Selección de bibliotecas	PubMed, Google Scholar, ScienceDirect.
Criterios de selección	
Criterios de inclusión	1. Que el trabajo haya sido publicado en los últimos 5 años. 2. Que el trabajo documente sobre los sistemas de recomendación en la salud. 3. Que el trabajo describa las características y principales técnicas de IA de los sistemas de recomendación en la salud y nutrición. 4. Sistemas de recomendación de comida saludable utilizando empujones digitales. 5. Trabajos en inglés y español. 6. Artículos, publicaciones en congresos, tesis, publicaciones en revistas.
Criterios de exclusión	1. Que el trabajo no sea reciente. 2. Que el trabajo no esté relacionado con el dominio. 3. Que las recomendaciones sean manuales. 4. Que solo se tenga acceso al abstract.

Para dar mayor claridad de lo que se pretende buscar en este estudio, se elaboró una tabla que permitiera identificar las cadenas de búsqueda de acuerdo con las preguntas de investigación, tal y como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Identificación de cadenas de búsqueda.

Pregunta de investigación	ID	Cadena
¿Qué tipos de técnicas son utilizadas en sistemas de recomendación en el dominio de la salud y nutrición?	1	Tools HRS
¿Qué herramientas de IA, métodos y algoritmos son utilizados en los sistemas de recomendación en el dominio de la comida saludable?	2	AI Tools, Methods & Algorithms
¿Cuáles son los principales mecanismos de empujón que aplican en el dominio seleccionado?	3	RS & Digital nudging

Tabla3. Clasificación de artículos de acuerdo con las bibliotecas seleccionadas.

ID	PubMed	ScienceDirect	Google Académico
ID1	3	1	1
ID2	0	1	4
ID3	0	5	0

3. Sistemas de recomendación

Los sistemas de recomendación se definen como un sistema inteligente que tiene la capacidad de relacionar a un usuario con el producto o servicio de forma personalizada [16], al encontrar las relaciones entre los usuarios y los productos, los sistemas pueden ser capaces de hacer predicciones acerca de: los ratings o las interrelaciones que se van a producir en el futuro.

Existe una clasificación de los sistemas de recomendación clásicos que es muy extendida por la literatura explorada, por ejemplo: aquellos que muestran información no personalizada [17] y los modelos básicos de recomendación que funcionan con dos tipos de datos principalmente: las interacciones usuario-elemento (como pueden ser clasificaciones o comportamiento de compra) y la información del atributo sobre los usuarios y elementos como perfiles textuales o palabras clave. Los métodos que utilizan el primer tipo de datos se denominan métodos de filtrado colaborativo, mientras que los que utilizan los segundos, se conocen como métodos de recomendación basados en el contenido.

Los sistemas de recomendación que hacen uso de modelos de filtrado colaborativo utilizan el poder que tienen las calificaciones hechas por múltiples usuarios, sin embargo, el principal desafío es que las matrices de calificaciones subyacentes son escasas [18]. Existen dos tipos de métodos que utilizan este tipo de modelos de filtrado colaborativo:

- Los métodos basados en memoria: también suelen denominarse de vecindad y pueden definirse de dos formas:
    - filtrado colaborativo basado en el usuario: las calificaciones proporcionadas por usuarios con los mismos gustos son utilizadas para hacer recomendaciones al usuario.
    - filtrado colaborativo basados en elementos: su objetivo es determinar qué elementos son similares al elemento objetivo y se utilizan principalmente para predecir los gustos de los usuarios.
- Los sistemas de recomendación basados en contenido, donde sus atributos descriptivos de los elementos son utilizados para realizar las recomendaciones, las calificaciones de los usuarios y el comportamiento de la compra se combinan con la información del contenido de los artículos. Por otro lado, en sistemas de recomendación basados en el conocimiento, las recomendaciones se hacen con base en los requisitos especificados por el usuario de forma explícita.

Actualmente y gracias a los avances tecnológicos, existen sistemas de recomendación que utilizan técnicas mucho más avanzadas como: Matriz de factorización, minería de asociación de reglas, así como recomendaciones usando semántica, que permiten mejorar las recomendaciones [18], [19].

Actualmente, se están creando con mayor frecuencia sistemas de recomendación en el dominio de la salud, ya que las personas en cada momento del día requieren consultar información, que va desde consultar síntomas de alguna enfermedad, medicamentos, padecimientos, entre otros. Debido a la gran variedad de alimentos, estilos de vida y a la enorme cantidad de información existente en internet, las personas se están enfrentando a la difícil decisión de que alimentos ingerir y que hábitos alimenticios seguir, por lo que los sistemas de recomendación de comida saludable pueden motivar a los individuos a modificar sus conductas alimenticias u optar por alimentos más saludables e incluso abordar la crisis de obesidad y desnutrición. De acuerdo con [20]se están utilizando nuevas técnicas e Inteligencia artificial para crear sistemas de recomendación mucho más robustos, algunas de ellas son: árboles de decisión, k-vecinos más cercanos, redes neuronales, entre otras.

Actualmente se ha observado que los sistemas de recomendación clásicos no están funcionando del todo, pues no basta con informar a las personas acerca de lo que debe ser una dieta saludable, sino que, además, es importante considerar otros factores para desencadenar un cambio de comportamiento en cuanto a los hábitos alimenticios, por ejemplo: el sabor de los alimentos, el precio, las preferencias de alimentos etc. Debido a esto los investigadores introdujeron el término de “empujón digital” que puede tomar muchas formas [21] y que permiten impulsar la toma de decisiones de los usuarios hacia elecciones más favorables para ellos, por lo que, al combinar este elemento con los sistemas de recomendación actuales, puede resultar en una gran ayuda para la prevención de enfermedades no transmisibles como la diabetes y obesidad y apoyar en la mejora de los hábitos alimenticios. A continuación, se sintetizan los hallazgos más relevantes con respeto a este tema de investigación.

4. Síntesis de hallazgos: resultados

Los sistemas de recomendación de comida saludable utilizando los empujones digitales, pueden ofrecer nuevas alternativas de solución para mejorar la ingesta de productos saludables, así como prevenir enfermedades no transmisibles como la diabetes, hipertensión y obesidad, aprendiendo de las elecciones y preferencias de los usuarios y adaptando las recomendaciones personalizadas a sus necesidades nutricionales y padecimientos, implementando tecnologías de inteligencia artificial, junto con las ya conocidas.

En respuesta a las preguntas de investigación planteadas con anterioridad, se espera que estos hallazgos puedan mostrar información relevante acerca de las técnicas más utilizadas en los sistemas de recomendación en el dominio de la salud, los algoritmos, herramientas tecnológicas y métodos implementados para en el desarrollo de sistemas de recomendación de comida saludable y los principales mecanismos de empujón digital más utilizados en el área , con la finalidad de apoyar a los desarrolladores de software e investigadores del área.

Los sistemas de recomendación en el dominio de la salud son tecnologías muy utilizadas para proporcionar recomendaciones personalizadas, cuyo objetivo ha sido mejorar la calidad y estilo de vida de los usuarios, por esta razón se considera necesario conocer las técnicas más utilizadas para el diseño de estos. En la tabla 4, se muestra una descripción general de los acontecimientos aditivos encontrados en los sistemas de recomendación en el dominio de la salud, destacando las principales técnicas básicas utilizadas para su desarrollo.

Los sistemas de recomendación de comida saludable son aplicaciones muy utilizadas en la actualidad para ofrecer sugerencias de alimentos que se ajusten a una dieta equilibrada, apoyando en la toma de decisiones mucho más informadas y adaptando las recomendaciones a las necesidades particulares de los usuarios. Conocer los algoritmos de IA, métodos y herramientas tecnológicas utilizadas en este domino es muy importante, ya que permiten entender el funcionamiento de estos sistemas de recomendación, identificar áreas de mejora, evaluar la calidad de las recomendaciones, entre otras cosas. Con la finalidad de dar a conocer cuáles son las herramientas más utilizadas en el diseño de sistemas de recomendación clásicos, en la tabla 4, se muestran las contribuciones encontradas al respecto.

En la tabla 5, se muestra una descripción general de los hallazgos encontrados con respecto a las técnicas más utilizadas en el desarrollo de los sistemas de recomendación en el dominio de la comida saludable.

Tabla 4. Técnicas de recomendación en el dominio de la salud (sistemas clásicos).

Título	Autores	Fuente	Contribución	Técnicas Básicas
Analyzing recommender systems for health promotion using a multidisciplinary taxonomy: A scoping review. [22]	Hors-Fraile, Rivera-Romero, Schneider, et al **2018**	PubMed	Sus estudios no encontraron información relevante en apoyo a los efectos positivos, del uso de sistemas de recomendación. Y no encontraron evidencia de evaluación metodológica y procedimental de los sistemas de recomendación.	Métodos de filtrado, Técnica de coincidencia de perfil de usuario, Técnicas de aprendizaje de perfiles, Técnica de adaptación de perfil.
How recommender systems could support and enhance computer-tailored digital health programs: A scoping review. [23]	Cheung, Durusu, Sui and de Vries. **2019**	Google Scholar	Su estudio muestra que el enfoque híbrido puede tener buenos resultados para impulsar la salud digital personalizada.	Filtrado colaborativo, Filtrado por contenidos, Tipo híbrido (colaborativo y contenido). Razonamiento híbrido multimodal, y otros sin filtrado.
Health Recommender Systems: Systematic Review. [24]	De Croon, Van Houdt, Štiglic, Vanden and Verbert **2021**	PubMed	Mencionan que las técnicas de recomendación más utilizada son el filtrado colaborativo, el basado en contenido, el basado en conocimiento y los híbridos.	Algoritmos de recomendación híbridos. El filtrado basado en contenido.
Health Recommender Systems Development, Usage, and Evaluation from 2010 to 2022: A Scoping Review. [25]	Cai, Yu, Kumar, Gladney and Mostafa. **2022**	Science-Direct	Se centran en cinco aspectos: Domino de salud, elemento recomendado, técnica de recomendación y la evaluación.	Enfoque basado en conocimiento.
Development and Evaluation of Health Recommender Systems: Systematic Scoping Review and Evidence Mapping. [26]	Sun, Zhou, Ji,Pei and Wang. **2023**	PubMed	Proporcionaron un total de 23 estudios donde se informa que los sistemas de recomendación híbridos son los más utilizados en el ámbito de la salud y que las interfaces más utilizadas son generalmente aplicaciones móviles.	Filtrado colaborativo, filtrado basado en contenido, Filtrado basado en conocimiento, Sistemas de recomendación híbridos.

Tabla 5. Algoritmos de IA y herramientas tecnológicas utilizadas en sistemas de recomendación de comida saludable.

Título	Autores	Fuente	Contribución	Algoritmos de IA, Herramientas tecnológicas y Métodos
An overview of recommender systems in the healthy food domain. [27]	Trang Tran, Atas, Felferning and Stettinger. **2018.**	Google Scholar	Mencionan los cuatro tipos de sistemas de recomendación para comida: 1. Considerando las preferencias de los usuarios, 2. Considerando las necesidades nutricionales de los usuarios, 3. Balanceando entre las preferencias y las necesidades nutricionales y 4. Sistemas de recomendación de alimentos para grupos.	Los algoritmos implementados son: Su base de conocimiento es una ontología. Modelo de predicción agregada. Método TF-IDF (frecuencia de término-frecuencia de documento inversa). **Algoritmos de IA:** Algoritmos de aprendizaje activo y factorización de matrices. Algoritmos basados en grafos. Lenguaje natural. **Otros:** Lenguaje de marcado basado en XML.
Addressing the complexity of personalized, context-aware and health-aware food recommendations : an ensemble topic modeling-based approach. [28]	Khan, Smyth and Coyle. **2021.**	Science-Direct	Se realiza un sistema de recomendación de alimentos basado en contenido, quien incluye y satisface los requerimientos del usuario en el momento dado con valores de nutrientes obligatorios que se deben consumir diariamente. Exploraron técnicas de Machine Learning para comprimir el espacio de datos de los FRS.	Los algoritmos implementados son: **Algoritmos de IA:** Esemble Toping Modeling (EnsTM). Técnicas de Machine Learning. Matriz de factorización no negativa. Filtrado colaborativo basado en la correlación de Pearson. Algoritmos metaheurísticos y genéticos.

 ISSN: 2007 8102

MATURE-Food: Food Recommender System for MAndatory FeaTURE Choices A system for enabling Digital Health. [29]	Shandilya, Sharma and Wong. **2022**	Science-Direct	Se realiza un sistema de recomendación de alimentos basado en contenido, quien incluye y satisface los requerimientos del usuario en el momento dado con valores de nutrientes obligatorios que se deben consumir diariamente.	Los algoritmos implementados son: Algoritmo MATURE (Recom-mender System for Mandatory FeaTURE choices). **Algoritmos de IA:** Matriz de factorización. Modelo basado en atributos categóricos. Algoritmo laplaciano de gráfico de interacción de usuario-elemento. **Otros:** Sistemas de recomendación alojados en la nube
Implementation of a personalized food recommendation system based on collaborative filtering & knapsack method. [30]	Thongsri, Warintarawej, Chotkaew and Saetang. **2022.**	Google Scholar	Desarrollaron un Sistema de recomendación personalizado de alimentos saludables, utilizando el filtrado colaborativo y el método de la mochila.	Los algoritmos implementados son: **Algoritmos de IA:** Minería de datos, algoritmo de la mochila.
Health-Aware Food Recommendation Based on Knowledge Graph and Multi-Task Learning [31]	Chen, Guo, Fan, Zhang and Dong. **2023**	Google scholar.	Desarrolló un modelo de recomendación de alimentos saludables (FKGM), mediante la integración de gráficos de conocimiento y el aprendizaje multitarea. FKGM utiliza una red neuronal convolucional de gráfico de atención consiente del conocimiento para capturar asociaciones semánticas entre usuarios y recetas y aprende los requisitos de salud y preferencias del usuario.	Los algoritmos implementados son: • Recomendación basada en gráficos de conocimiento: ○ Métodos basados en rutas. ○ Métodos basados en incrustación. • Recomendación basada en preferencias: ○ Filtrado colaborativo. ○ Basado en contenido. ○ Métodos híbridos. • Recomendación consientes de la salud: ○ Métodos basados en reglas. ○ Métodos ○ basados en datos. **Algoritmos de IA:** • Red neuronal convolucional

La compresión de los mecanismos de empujones digitales permite saber cómo apoyar a los usuarios en la toma de decisiones, evaluar posibles sesgos, mejorar las recomendaciones alineándolas con los objetivos de salud y bienestar, además de saber cómo dirigir las decisiones de los usuarios hacia elecciones más favorables. En la tabla 6 se muestra la información más reciente con respecto a los tipos de empujones más utilizados en el diseño de sistemas de recomendación de comida saludable.

Tabla 6. Tipos de empujones utilizados en sistemas de recomendación de comida saludable.

Título	Autores	Biblioteca	Contribución	Tipos de empujones
Digital nudging with recommender systems: Survey and future directions. [32]	Jesse and Jannach. **2021**	Science-Direct	Identificaron 87 mecanismos de empujón, que categorizaron en una nueva taxonomía, indicando que existe un enorme potencial para desarrollar sistemas de recomendación que aprovechen el poder de los empujones.	Mecanismos de empujones: • Información de toma de decisión. • Estructura de la toma de decisión. • Asistencia en la toma de decisiones. Apelación de la decisión social.
Digital Nudging for online food choices. [33]	Jesse, Jannach and Gula. **2021.**	Science-Direct	Realizaron una investigación a través de dos estudios, para comprender hasta qué punto es posible dirigir la elección de las personas con la implementación de los empujones digitales.	Empujón predeterminado, empujón resaltado, empujón social, empujón de advertencia.

Nudging food service users to choose fruit- and vegetable-rich items: Five field studies. [34]	Yi, Kanetkar and Brauer. **2022**	Science-Direct	Diseñaron e implementaron 5 intervenciones de impulso para promover frutas y verduras en las cafeterías universitarias con la implementación de empujones digitales.	Técnicas de arquitectura de selección.
Digital nudges to stimulate healthy and pro-environmental food choices in E-groceries. [35]	De Bauw, De La Revilla, Poppe, Matthys and Vranken.**2022.**	Science-Direct	Realizan una exploración de potencial de las funcionalidades digitales, para estimular aún más las elecciones de alimentos saludables.	Etiquetado combinado de Nutri y Eco-Score, para lograr un cambio hacia elecciones más saludables.
Mapping of the digital climate nudges in Nordic online grocery stores. [36]	Ytreberg, Alfnes and Oort. **2023**.	Science-Direct	En su revisión documental de los países Nórdicos, destacan la taxonomía de Münscher et al. (2016). Que se elabora de forma inductiva a partir de casos documentados de empujones. Proponen tres técnicas de arquitectura de elección: Información de decisión, Estructura de decisión y Asistencia de decisión.	Técnicas de arquitectura de elección: Información de decisión, Estructura de decisión y Asistencia de decisión. La técnica más utilizada es Estructura de decisión, ya que promueven productos amigables con el medio ambiente y por ende más saludables.

Los sistemas de recomendación en el ámbito de la salud se encuentran en apogeo, debido a la enorme utilidad que presentan, para apoyar a personas en general, así como al personal de salud. De acuerdo con [37], se están realizando diversos estudios que demuestran que este campo está madurando lentamente, implementando cada vez más nuevas técnicas basadas en IA que permiten predecir y recomendar de forma mucho más eficiente.

De acuerdo con [38], los empujones digitales y su aportación en la toma de decisiones, está teniendo una próspera oleada de investigación, sin embargo, aún no se comprende en su totalidad su uso pues al ser una temática reciente, existe muy poca información al respecto, sin embargo, el interés en su estudio se ha extendido a diversas áreas, como el marketing, las finanzas, la economía y se está incursionando en la salud, por lo que se espera que su estudio continúe.

5. Trabajo a futuro

Los sistemas de recomendación de alimentos saludables implementando los empujones digitales, aunque son un área de investigación muy joven, pueden mejorarse aún más mediante el uso de estrategias de cambio de comportamiento relevantes y mediante la implementación de características esenciales de intervenciones personalizadas. Este trabajo presenta grandes oportunidades como: avanzar en la personalización de las recomendaciones utilizando técnicas de aprendizaje automático y análisis de datos para comprender mejor las preferencias y necesidades individuales de los pacientes, además de incorporar información más detallada y precisa, se puede hacer uso de sensores o dispositivos móviles e incluso el internet de las cosas, para recopilar datos en tiempo real, utilizar elementos de gamificación que permitan mostrar a los usuarios sus objetivos, retos y logros e incluso brindarles recompensas para que permanezcan motivas por su nuevo estilo de vida y hábitos alimenticios, crear un enfoque educacional donde además de brindar recomendaciones de alimentos saludables, se les proporcione educación nutricional continua.

Este trabajo pretende ser el inicio de una revisión constante de los principales hallazgos en el dominio seleccionado, para poder apoyar a desarrolladores de software e investigadores en la creación de nuevas tecnologías que utilicen la información mostrada en este documento. Además, se pretende desarrollar un sistemas de recomendación de comida saludable que utilice las técnicas clásicas, las de IA y los empujones digitales, que permita contribuir en la mejora de la calidad de vida de la población que presenta enfermedades no transmisibles, así como en aquella que desee cambiar sus hábitos alimenticios hacia opciones más saludables.

6. Discusión y conclusiones

Los sistemas de recomendación de comida saludable están teniendo bastante apogeo en la actualidad ya que proporcionan información personalizada y de utilidad de acuerdo con las necesidades específicas de cada usuario. De acuerdo con la selección de literatura que se aborda en este trabajo, se observó que los sistemas de recomendación más utilizados en el dominio de la salud son los híbridos con técnicas de filtrado colaborativo basado en conocimiento y basado en contenido, sin embargo, aunque presentan buenos resultados, para el diseño de sistemas de recomendación de comida saludable, en la actualidad se suelen implementar otros algoritmos y métodos de inteligencia artificial como redes neuronales convolucionales, lenguaje natural, algoritmos basados en grafos, algoritmos genéticos, entre otros, que permiten mejorar la calidad de las recomendaciones.

De acuerdo con la metodología implementada para la búsqueda de información, los sistemas de recomendación de comida saludable clásicos han sido de utilidad a lo largo de los años, sin embargo, los hallazgos han demostrado que las técnicas implementadas en ellos han sido insuficientes, en este sentido, los empujones digitales a pesar de ser un área de investigación reciente están teniendo un impacto positivo en apoyo a la toma de decisiones y además, pueden apoyar en la prevención enfermedades no transmisibles como la obesidad y la diabetes, así como mejorar los hábitos alimenticios.

Con apoyo de los criterios de inclusión y exclusión de la metodología de revisión literaria que se utilizó, se logró encontrar información bastante útil acerca de las diversas técnicas, algoritmos y métodos implementados en los sistemas de recomendación en el ámbito de la salud, poniendo énfasis en los de comida saludable, así como los mecanismos de empujones digitales más utilizados en el diseño y desarrollo de sistemas de recomendación de comida saludable. Los hallazgos encontrados demuestran principalmente que se pueden utilizar una combinación de herramientas para el diseño de sistemas de recomendación para volverlos mucho más robustos y permitan monitorear en todo momento la salud y la ingesta diaria de nutrientes, promoviendo un enfoque integral de bienestar y que, con la integración de los mecanismos de empujones digitales, se puede dirigir o impulsar la toma de decisiones de los usuarios hacia elecciones mucho más informadas y saludables.

Referencias

[1] M. Blüher, "Obesity: global epidemiology and pathogenesis.," *Nat Rev Endocrinol,* vol. 5, no. 15, pp. 288-298, 2019.

[2] A. Dabas and A. Seth, "Prevention and Management of Childhood Obesity.," *Indian J Pediatr,* vol. 7, no. 85, pp. 546-553, 2018.

[3] L. Laranjo, A. Dunn, H. Tong, A. Kocaballi, J. Chen, R. Bashir, D. Surian, B. Gallego, F. Magradbi and A. Lau, "Conversational agents in healthcare: A systematic review," *JAMIA Open,* no. 25, p. 1248–1258, 2018.

[4] J. Fanzo and C. Davis, "Can Diets Be Healthy, Sustainable, and Equitable?," *Springer Open Choice,* vol. 8, no. PMC6910888, pp. 495-503, 2019.

[5] S. Barquera, L. Hernández-Barrera, B. Trejo-Valdivia, T. Shamah, I. Campos-Nonato and J. Rivera-Dommarco, "Obesidad en México, prevalencia y tendencias en adultos," *Salud Pública de México,* pp. 682-692, 15 agosto 2022.

[6] R. Burke, A. Felferning and M. Göker, "Recommender systems: An overview," *AI Magazine,* pp. 13-18, 2011.

[7] G. Carcamo Vargas and C. Mena Bastías, "Alimentación saludable," *Horizontes educacionales,* 2006.

[8] D. Elsweiler, C. Trattner and M. Harvey, "Exploiting food choice biases for healthier recipe recommendation," in *Conference on Research and Development in Information Retrieval, SIGIR 17*, Shinjuku, Tokyo, Japan, 2017.

[9] V. Espín-Martín, "SISTEMAS DE RECOMENDACIÓN SEMÁNTICOS PARA LA COMPARTICIÓN DE CONOCIMIENTO Y LA EXPLOTACIÓN DE TESAUROS: Un enfoque práctico en el ámbito de los sistemas nutricionales". Granada Patent ISBN: 978-84-9125-959-6, Mayo 2016.

[10] J. Guthiere, I. Mancino and C.-T. Lin, "Nudging Consummers toward Better Food Choices: Policy Approaches to Changing Food Consumption Behaviors," *Psycol. Mark.,* vol. 5, no. 32, pp. 501-511, 2015.

[11] H. Thaler. R., R. Sunstein, C. and R. Thaler, "Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth, and Hapiness," 2008.

[12] R. Thaler, C. Sunstein and J. Balz, "Choice architecture. The Behavioral Fundations of Public Policy," 2012.

[13] C. Schneider, M. Weinmann and J. Von Brocke, "Digital nudging: Guiding online user choices through interface design," *Communications of the ACM,* no. 61, p. 67–73, 2018.

[14] T. Bucher, C. Collins, M. Rollo, A. McCaffrey,T., N. De Vlieger, D. Van der Bend and et al., "Nudging Consummers towars Healthier Choices: a Systematic Review of Positional Influences on Food Choice," *Br. J. Nutr.,* vol. 12, no. 115, pp. 2252-2263, 2016.

[15] B. Kitchenham and P. Brereton, "A systematic review of process research in software engineering," *Information and software technology,* vol. 55, no. 12, pp. 2049-2075, 2013.

[16] A. Jannach, M. Zanker, A. Felfering and G. Friederich, "Recommender systems: an introduction.," Cambridge University Press, 2010.

[17] J. Bobadilla, F. Ortega, A. Hernando and A. Gutiérrez, "Recommender systems survey," *Knowledge-based systems,* vol. 46, pp. 109-132, 2013.

[18] C. Aggarwal, Recommender Systems, Switzerland: Springer, 2016.

[19] C. L. Sánchez Bocanegra, Artist, *HealthRecSys: Sistema Recomendador para la salud.* [Art]. Universidad de Sevilla, 2017.

[20] J. Diaz Ochoa, T. Schimper and C. Orsolya, "Medical Recommender systems based on continuous-valued logic and multi-criteria decision operators, using interpretable neural networks," *BMC Medical Informatics and Decision Making,* vol. 21, no. 186, 2021.

[21] A. Caraban, E. Karapanos, D. Gonçalves and P. Campos, "23 Ways toNudge: A Review of Technology-Mediated Nudging in Human-ComputerInteraction," in *Conference on HumanFactors in Computing Systems*, 2019.

[22] S. Hors-Fraile, O. Rivera-Romero, E. Schneider, L. Fernández-Luque, F. Luna-Perejon, A. Civit-Balcells and H. De Vires, "Analyzing recomender systems for Health promotion using a multidisciplinary taxonomy: A scoping review.," *Int J Med Inform,* vol. 155, p. 114:143, 2018.

[23] K. Cheung, D. Durusu, X. Sui and H. De Vries, "How recommender systems could support and enhance computer-tailored digital health programs a scoping review.," *Digital Health,* vol. 5, 2019.

[24] R. De Croon, L. Van Houdt, N. Nyi Htun, G. Stiglic, V. Vanden Abeele and K. Verbert, "Health Recommender Systems: Systematic Review," *Journaul of Medical Internet Research,* vol. 6, no. 26, 2021.

[25] Y. Cai, F. Yu, M. Kumar, R. Gladney and J. Mostafa, "Health Recommender Systems Development, Usage, and," *International Journal of Environment Research and Public Health,* vol. 19, no. 15115, 2022.

[26] Y. Sun, J. Zhou, M. Ji, L. Pei and Z. Wang, "Development and Evaluation of Health Recommender Systems: Systematic Scoping Review and Evidence Mapping.," *Med Internet Res,* vol. 25, 2023.

[27] T. N. Trang Tran, A. Felferning, C. Trattner and A. Holzinger, "Recommender systems in the healthcare domain: state-of-the-art and research issues," *Journal of Intelligent Information Systems,* no. 57, pp. 171-201, 2021.

[28] M. Khan, K. Muhammad and D. Coyle, "Investigating Health-Aware Smart-Nudging with Machine Learning to HelpPeople Pursue Healthier Eating-Habits," *School of Computer Science,* 2021.

[29] R. Shandilya, S. Sharma and J. Wong, "MATURE Food Recommender System for MAndatory FeaTURE Choices A system for enabling Digital Health," *International Journal of Information Management Data Insights,* 2022.

[30] N. Thongsri, P. Waruntarawej, S. Chotkaew and W. Saetang, "Implementation of a personalized Food Recommendation System Based on Collaborative Filtering and Knapsack Method," *Int. J. Electr. Comput.,* vol. 12, pp. 630-638, 2022.

[31] Y. Chen, G. Yandi, F. Qiuxu, Z. Quinghui and D. Yu, "Health-Aware Food Recomendation Based on Knowledge Graph and Multi-Task Learning," *Foods,* vol. 12, no. 10, p. 2079, 2022.

[32] M. Jesse and D. Jannach, "Digital nudging with recomender systems: Survey and future directions," *Computer and Human Behaivor Reports,* vol. 3, 2021.

[33] M. Jesse, D. Jannach and B. Gula, "Digital Nudging for Online FoodChoices," *Frontiers in Psychology,* vol. 12, no. 729589, 2021.

[34] S. Yi, V. Kanetkar and P. Brauer, "Nudging food service users to choise fruit and vegetable rich items: Five field studies," *Appetite,* vol. 173, 2022.

[35] M. De Bauw, L. De La Revilla, V. Poppe, C. Matthyas and L. Vranken, "Digital nudges to simulate healthy and pro-environment food choices in E-groceries," *Appetite,* vol. 172, 2022.

[36] N. Svarstad Ytreberg, F. Alfines and B. Van Oort, "Mapping of the digital climate nudges in Nordic online grocery stores," *Sustainable Production and Consumption,* vol. 37, pp. 202-212, 2023.

[37] R. De Croon, L. Van Houdt, N. Htun, V. Vanden Abeele and K. Verbert, "Health Recommender Systems: Systematic Review," *J Med Internet Res,* vol. 6, pp. 23-29, 2021.

[38] C. Jia and H. Mustafa, "A bibliometric Analisys and Review of Nudge Research Using VOSviewer," *Behav Sci,* pp. 13-19, 2022.

ISSN: 2007 8102

Asociando Enfermedades Crónicas y Condiciones Físicas a través de Técnicas de Aprendizaje Automático: Caso México

Fernando Mora Brito[1], Julieta Henao Pérez[2], Richard de Jesús Gil Herrera[3]
[1]UNADE y fmorabrito@gmail.com, [2]UNADE y julietahenaoperez@gmail.com,
[3]UNIR y richard.dejesus@unir.net

***Área de participación**: Sistemas Computacionales*

Resumen

Las enfermedades crónicas como la hipertensión y la diabetes no tienen una causa única, por lo que la predicción de padecer una o combinación de estas enfermedades es complicada. Esta investigación tiene como objetivo aplicar técnicas de análisis de Machine Learning para identificar patrones entre datos de dichas enfermedades versus los hábitos y condiciones físicas. El Machine Learning es un recurso de la analítica de datos ante problemas multifactoriales, para gestión de riesgos en diferentes ámbitos-dominios. Metodológicamente, se utilizan fuentes de datos públicas para alimentar el sistema de Machine Learning, para lograr la predicción y/o el diagnóstico temprano de dichos padecimientos. En la bibliografía consultada, se identifican beneficios del uso de estas tecnologías para el análisis predictivo en el ámbito de la salud, favoreciendo la prevención. Como conclusión, se demuestra que el modelo Random Forest presenta mejor desempeño comparado con relación a las otras técnicas evaluadas.

***Palabras clave**: Enfermedades Crónicas, Predicción, Machine Learning, Analítica de datos*

Abstract

Chronic diseases such as hypertension and diabetes do not have a single cause, making it difficult to predict who will develop one or a combination of these diseases. This research aims to apply machine learning (ML) analysis techniques to identify patterns between data on these diseases and habits and physical conditions. ML is a data analysis resource for multifactorial problems, for risk management in different domains. Methodologically, some public databases used as sources to feed the ML system to achieve prediction and/or early diagnosis of such diseases. It found in the literature consulted, the benefits of using these technologies for predictive analysis in the field of health, favoring prevention. In conclusion, it the random forest model presents a better performance compared to the other comparative techniques evaluated.

***Key words**: Chronic Diseases, Prediction, Machine Learning, Data analytics*

Introducción

Las enfermedades cardiovasculares son la primera causa de muerte prematura en el mundo; la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha anticipado que para el año 2030, el 30% de las muertes en el planeta, serán causadas por enfermedades crónicas no transmisibles relacionadas con los estilos de vida de las personas y se pueden prevenir con la identificación adecuada de los factores de riesgo asociados y los planes de intervención conductual [1]. Entre los factores de riesgo modificables más prevalentes se tiene a la hipertensión arterial, que es responsable de ser la tercera causa de muerte en el mundo, y se le atribuye una de cada ocho muertes a nivel global. La prevalencia mundial de hipertensión en los adultos mayores de 35 años es de 41%, de los cuales solamente el 46.5% son conscientes de ser hipertensos [2].

Por otra parte, la diabetes mellitus tipo 2 afecta a más de 7 millones de estadounidenses provocando anualmente 2.8 millones de hospitalizaciones, más de 300.000 muertes y más de 100.000 millones de dólares de costes totales [3]. Algunos de los factores de riesgo para padecer diabetes son: sobrepeso y obesidad, perímetro de cintura, ingesta inadecuada de fruta y/o verdura, actividad física insuficiente, tabaquismo entre otros [4].

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en México, de enero a junio de 2022 sumaron 105 864 muertes totales a causa de enfermedades del corazón, superando las registradas en 2021 en

ISSN: 2007 8102

41.24%. Por otra parte, la segunda enfermedad de mayor mortandad para los mexicanos en 2022 se trató de la diabetes mellitus, registrando 59 996 para el mismo periodo [5].
El costo de tratamiento para una enfermedad crónica como la diabetes puede ser muy elevado, el Instituto Mexicano para la Competitividad, determinó que el tratamiento por persona era aproximadamente de 82,294 pesos mexicanos, y si había complicaciones, podría costar hasta 1 976 054 pesos anuales [6].
Investigaciones recientes plantean el uso de Inteligencia Artificial (IA) para la predicción o diagnóstico temprano de padecer una enfermedad crónica como la Diabetes o hipertensión [7]. Referencia [8] define la IA como la frontera de los avances computacionales que hacen referencia a la inteligencia humana para abordar problemas de toma de decisiones cada vez más complejos.
La IA cuenta con varias ramas, entre las que destaca: el Aprendizaje Automático (Machine Learning) y el Aprendizaje Profundo (Deep Learning). En particular, Machine Learning (ML) puede definirse como el diseño y estudio de herramientas informáticas que utilizan la experiencia pasada para tomar decisiones futuras que pueden aprenden de los datos; su objetivo principal es generalizar, o definir una regla a partir de ejemplos donde esa regla es aplicada [9]. En esta investigación se aplican concretamente las siguientes técnicas de aprendizaje profundo: *regresión logística, árbol de decisión, random forest y naive bayes***.**
El presente trabajo evalúa modelos de análisis basados en ML para identificar la mejor técnica para predecir enfermedades crónicas como hipertensión y diabetes, utilizando indicadores de comportamiento y parámetros fisiológicos a partir de datos públicos oficiales mexicanos.
Dentro de las actividades a realizar se encuentra la selección de fuentes para el procesamiento de datos públicos oficiales correspondiente a un periodo de dos años, así como la aplicación de modelos de clasificación de ML al conjunto de datos público para evaluar el desempeño de cada uno, compararlos y seleccionar el modelo que mejor explica los resultados.

Estado del Arte

Existen algunas investigaciones que proponen el uso de herramientas de aprendizaje automático para la detección de enfermedades cardiovasculares y de importancia en la salud pública como la arritmia, la hipertensión, la diabetes y el COVID-19 [10, 11, 12, 13]. También se encontraron iniciativas como el programa HEARTS de la Organización Panamericana de la Salud, basado en un paquete técnico para el manejo de las enfermedades cardiovasculares en la atención primaria, proponiendo el monitoreo principalmente de la hipertensión y diabetes como los factores de riesgo modificables de las enfermedades cardiovasculares asociados a casi un tercio de todas las muertes en la Región de las Américas cada año [14].

Metodología

Se presenta un estudio cuantitativo descriptivo correlacional, en el cual se compararon los siguientes métodos de IA: regresión logística, árbol de decisión, random forest y Naive Bayes con el objeto de medir variables que permitan determinar cómo influyen factores como los hábitos y parámetros fisiológicos en la probabilidad de sufrir una enfermedad crónica como la hipertensión o la diabetes, los cuales se emplearon para modelar la solución del problema. El diagrama de la Figura 1 presenta el proceso metodológico seguido durante la investigación.



Figura 1: Proceso metodológico

La población objeto de estudio correspondió a mexicanos mayores de 20 años que participaron en la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (Ensanut) 2018, en la cual se entrevistaron 19 496 hombres y 23 574 mujeres con 43 070 registros y la Ensanut 2021 con la participación de 5 236 hombres y la de 8 166 mujeres con un total de 13 042 registros. Las encuestas se realizaron en las 32 Entidades Federativas del país incluyendo la Ciudad de

México; son de libre acceso y se obtienen en formato electrónico descargándolas de la página oficial del Instituto Nacional de Salud Pública de México. [15]

Los datos obtenidos se limpiaron para eliminar registros con datos nulos, selección de variables aplicables a ambos géneros y que fueran comunes entre los dos años evaluados, en la Figura 2 se muestra el flujo seguido para el pre-procesamiento de los datos.

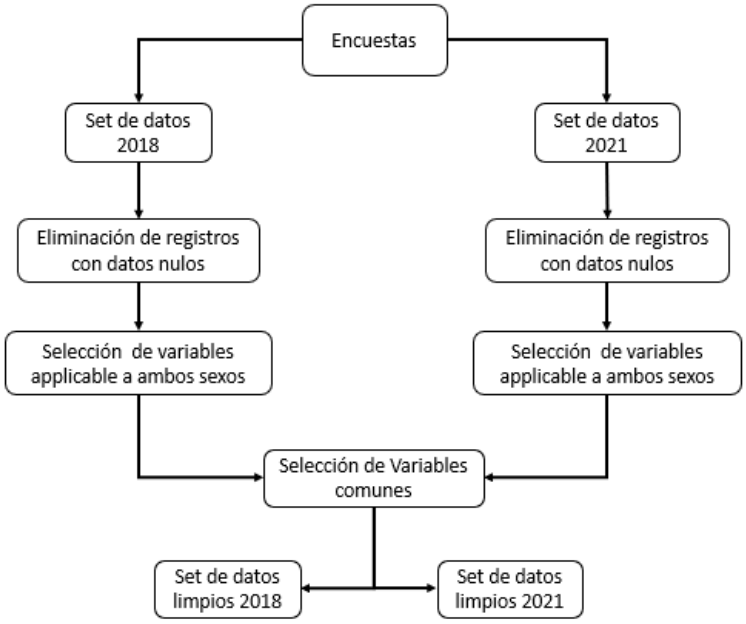


Figura 2: Flujo para pre-procesamiento de datos

EL tratamiento de los datos se realiza mediante la regresión logística (estadístico convencional), random forest (árbol de descomposición) y ML (aprendizaje automático). Los análisis estadísticos se realizaron mediante el lenguaje R [16], Excel © y la visualización de datos mediante Power BI ©.

En la Tabla 1 se muestran los tamaños muestrales de los conjuntos de datos de 2018 y 2021.

Tabla 1: Set de datos año 2018 y 2021

Descripción	***2018***	***2021***
Set de datos original	Registros: 43 070 Variables: 561	Registros: 13 402 Variables: 703
Set de datos limpios	Registros: 43 069 Variables: 32	Registros: 13 400 Variables: 32

Desarrollo

Para todos los métodos analizados se segmenta la muestra en dos partes: una para entrenamiento (70% de la muestra) y otra para prueba (30% de la muestra), quedando de la siguiente manera:

- Del total de muestras del 2018 (43 069) fueron utilizadas 70% para entrenar el modelo (30 148 registros) y 30% para prueba (12 921 registros)
- Del total de muestras del 2021 (13 400) fueron utilizadas 70% para entrenar el modelo (9 380 registros) y 30% para prueba (4 020 registros)

Utilizando la técnica de disminución media del coeficiente de Gini se identificaron las variables que contribuyen mayormente en la predicción de la variable bajo estudio. Cuanto mayor es el valor de Gini de la disminución media, mayor será la importancia de la variable en el modelo. La Figura 3 y la Figura 4 listan respectivamente las variables utilizadas identificando las que mayor impacto tienen para la predicción de Hipertensión y Diabetes.

ISSN: 2007 8102

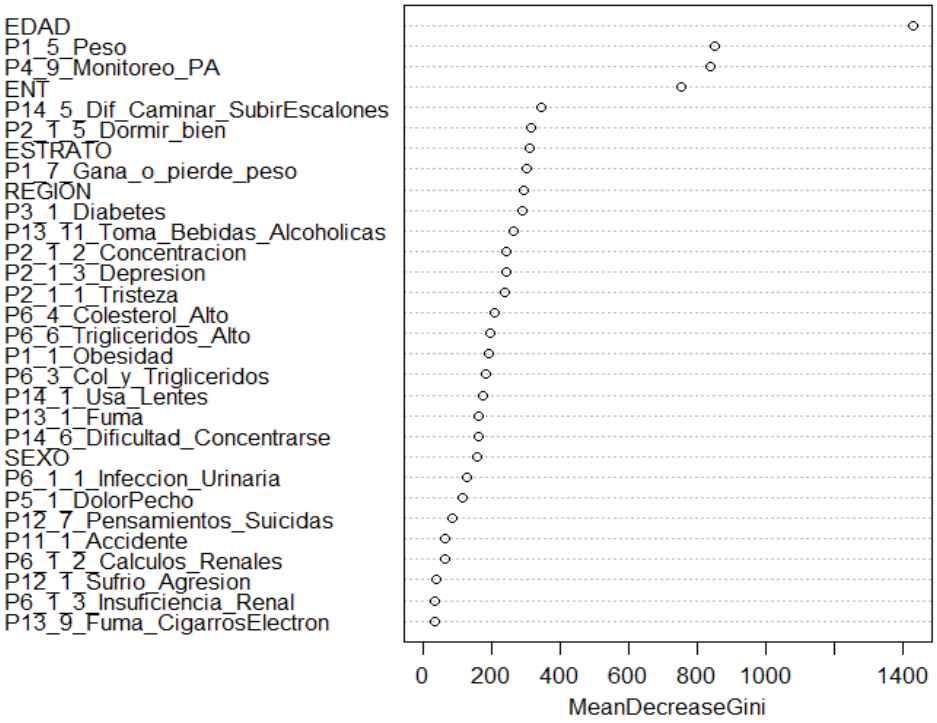


Figura 3: Gráfica de disminución media Gini (Hipertensión)

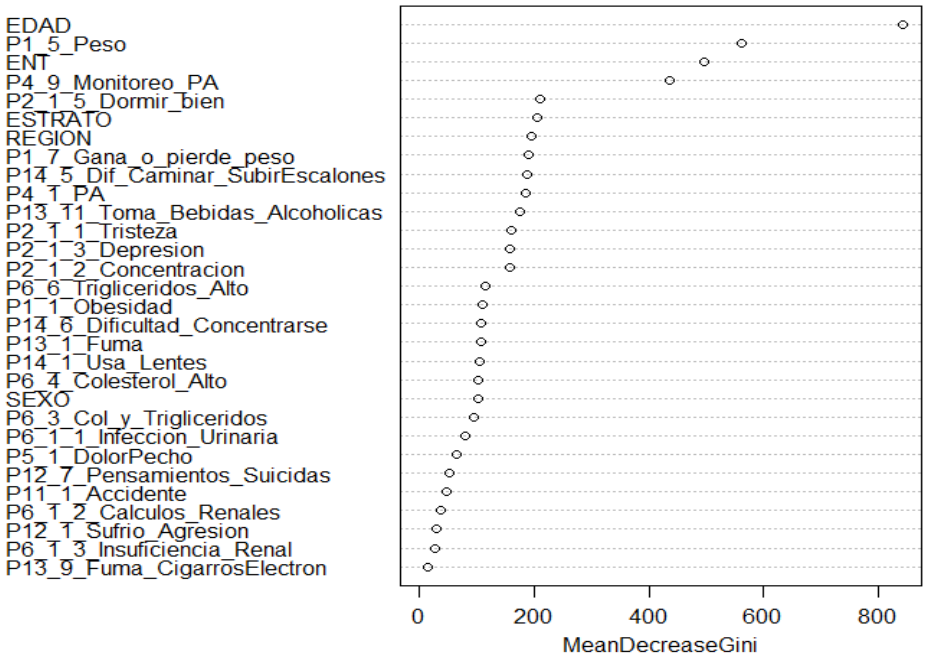


Figura 4: Gráfica de disminución media Gini (Diabetes)

Resultados y discusión

Se analizarán cuatro métodos de ML entre los cuales se encuentran: Regresión Logística, Árbol de Decisión, Random Forest y Naive Bayes para dos enfermedades crónicas, Hipertensión y Diabetes. La evaluación de cada uno de dichos métodos consistirá en determinar la matriz de confusión y calcular las siguientes métricas para su posterior comparación:

- **Exactitud:** Porcentaje que refleja el número de predicciones correctamente identificadas respecto al total de la muestra
- **Valor predictivo positivo (VPP):** Porcentaje de predicciones de la clase positiva con respecto al número total de casos de esa clase
- **Valor predictivo negativo (VPN):** Porcentaje de predicciones de la clase negativa con respecto al número total de casos de esa clase
- **Sensibilidad o Tasa de Verdaderos Positivos:** Relación entre el número de elementos identificados correctamente como positivos y el total de verdaderos positivos
- **Especificidad o Tasa de Verdaderos Negativos:** Relación entre el número de elementos identificados correctamente como negativos y el total de verdaderos negativos
- **AUC (área bajo la curva):** Corresponde al área bajo la curva ROC, métrica utilizada para evaluar el rendimiento de un modelo de clasificación. Su valor oscilar entre 0.5 y 1, cuanto mayor sea, mejor será el rendimiento

Las métricas de evaluación para valorar el rendimiento de un modelo de aprendizaje automático, es un componente integral de cualquier proyecto de ciencia de los datos. Su objetivo es estimar la precisión de la generalización de un modelo sobre los datos futuros [17].

Regresión Logística

El método de regresión logística es utilizado para estimar la asociación entre una o más variables independientes llamadas predictores y una variable dependiente binaria, es decir, el resultado [18]. La Tabla 2 y Tabla 3 muestran la matriz de confusión obtenida utilizando el método de Regresión Logística para Hipertensión y Diabetes, respectivamente para los dos años asociados al estudio.

Tabla 2: Hipertensión – Matriz de Confusión Regresión Logística

Año	Matriz de Confusión			
	Predicción / Real	***Hipertensión (NO)***	***Hipertensión (SI)***	***% Error***
2018	***Hipertensión (NO)***	9 889	523	5.02 %
	Hipertensión (SI)	1 643	866	65.48%
2021	***Hipertensión (NO)***	3 125	202	6.07 %
	Hipertensión (SI)	411	282	40.69 %

Tabla 3: Diabetes – Matriz de Confusión Regresión Logística

Año	Matriz de Confusión			
	Predicción / Real	***Diabetes (NO)***	***Diabetes (SI)***	***% Error***
2018	***Diabetes (NO)***	11 325	268	2.31 %
	Diabetes (SI)	1 132	196	85.24 %
2021	***Diabetes (NO)***	3 443	126	3.53 %
	Diabetes (SI)	378	73	83.81 %

Como se observa este método de regresión logística, tiene un error aceptable (< 6.1 %) para predecir el NO padecer una de las enfermedades crónicas antes mencionadas. Sin embargo, para la predicción de padecer positivamente dichas enfermedades el error es muy alto (> 40% y hasta 85%).

Árbol de Decisión

Se utilizaron variables multifactoriales que abarcan las condiciones del estado de salud tanto físico como mental de los participantes, así como su edad y región de residencia para ambos años en estudio (2018 y 2021). La Tabla 4 y la Tabla 5 muestran la matriz de confusión obtenidas con la técnica de Árbol de decisión.

Tabla 4: Hipertensión – Matriz de Confusión Árbol de Decisión

Año	Matriz de Confusión			
	Predicción / Real	***Hipertensión (NO)***	***Hipertensión (SI)***	***% Error***
2018	***Hipertensión (NO)***	9 581	1 434	13.02 %
	Hipertensión (SI)	828	1 078	43.44 %
2021	***Hipertensión (NO)***	3 110	509	14.06 %
	Hipertensión (SI)	188	213	46.88 %

Tabla 5: Diabetes - Matriz de Confusión Árbol de Decisión

Año	Matriz de Confusión			
	Predicción / Real	***Diabetes (NO)***	***Diabetes (SI)***	***% Error***
2018	***Diabetes (NO)***	11 543	1 378	10.66 %
	Diabetes (SI)	0	0	100 %
2021	***Diabetes (NO)***	3 401	422	11.04 %
	Diabetes (SI)	133	64	67.51 %

El uso del método de Árbol de Decisión para el análisis de los datos de Diabetes del año 2018 no logra converger, por lo que, no identifica ningún caso positivo (100% de error). Para la predicción de la Hipertensión tiene un error de casi 50% (46.88 %).

Random Forest

El método de Random Forest es una combinación de árboles predictores tal que cada árbol depende de los valores de un vector aleatorio muestreado independientemente y con la misma distribución para todos los árboles del bosque. El error de generalización de los bosques converge a un límite a medida que aumenta el número de árboles del bosque, en función de la fuerza de cada árbol y de la correlación entre ellos [19].

Se aplicó esta técnica de clasificación calculando 500 árboles, por medio de la técnica de decremento promedio de Gini, se encontró que, las variables con mayor impacto respecto a la variable de interés (hipertensión y diabetes) son la Edad, Peso, hábitos como caminar, y así sucesivamente.

La Tabla 6 y la Tabla 7 muestran respectivamente, la matriz de confusión al ejecutar la técnica de Random Forest, para Hipertensión y Diabetes.

Tabla 6: Hipertensión – Matiz de Confusión Random Forest

Año	Matriz de Confusión			
	Predicción / Real	***Hipertensión (NO)***	***Hipertensión (SI)***	***% Error***
2018	***Hipertensión (NO)***	9 876	1 584	13.82 %
	Hipertensión (SI)	520	941	35.59 %
2021	***Hipertensión (NO)***	3 187	443	12.20 %
	Hipertensión (SI)	116	274	29.74 %

Tabla 7: Diabetes - Matriz de Confusión Random Forest

Año	Matriz de Confusión			
	Predicción / Real	***Diabetes (NO)***	***Diabetes (SI)***	***% Error***
2018	***Diabetes (NO)***	11 451	1 261	9.92 %
	Diabetes (SI)	105	104	50.24 %
2021	***Diabetes (NO)***	3 533	448	11.25 %
	Diabetes (SI)	17	22	43.59 %

La matriz de confusión que se obtuvo con el método de Random Forest para predicciones de "No" padecer dichas enfermedades, tiene un error máximo aproximado al 12%. A pesar de ello el error de predicción de "Si" padecer una de las enfermedades analizadas, varía entre el 29 al 50%, el cual es alto.

Naive Bayes

El método Naive Bayes es un clasificador probabilístico basado en el teorema de Bayes, el cual es una técnica supervisada de clasificación y predicción que genera modelos para predecir la probabilidad de los posibles resultados [20]. Utilizando este método, se realizó la clasificación de la variable a predecir. Los resultados del análisis se presentan en la Tabla 8 y la Tabla 9 para Hipertensión y Diabetes respectivamente.

Tabla 8: Hipertensión - Matriz de Confusión Naive Bayes

Año	Matriz de Confusión			
	Predicción / Real	***Hipertensión (NO)***	***Hipertensión (SI)***	***% Error***
2018	***Hipertensión (NO)***	9 763	649	6.23 %
	Hipertensión (SI)	1 555	954	61.97 %
2021	***Hipertensión (NO)***	2 315	1 012	30.42 %
	Hipertensión (SI)	98	595	14.14 %

Tabla 9: Diabetes - Matriz de Confusión Naive Bayes

Año	Matriz de Confusión			
	Predicción / Real	***Diabetes (NO)***	***Diabetes (SI)***	***% Error***
2018	***Diabetes (NO)***	11 346	247	2.13 %
	Diabetes (SI)	1 126	202	84.79 %
2021	***Diabetes (NO)***	3 093	476	13.34 %
	Diabetes (SI)	196	255	43.46 %

El método de Naive Bayes muestra un error de predicción positiva de entre 14% al 84% entre los datos de ambos años y entre las enfermedades analizadas, teniendo una variación muy alta, como conclusión preliminar este método puede verse afectado por el tamaño de las muestras.

La Tabla 10 y Tabla 11 muestran las métricas de la evaluación de cada uno de los métodos analizados para la predicción de Hipertensión y Diabetes respectivamente, mostrando que el método Random Forest, obtiene los mejores resultados con una exactitud mayor al 83%, un VPP mayor al 64% para la predicción de Hipertensión y aproximadamente 50% para predicción de Diabetes (siendo el mayor valor en comparación con los otros métodos). También se observa un VPN de más del 86% en ambas enfermedades, así como un AUC mayor a 81%.

Tabla 10: Métricas de desempeño de técnicas de ML para predicción de Hipertensión

	Regresión Logística		**Árbol de Decisión**		**Random Forest**		**Naive Bayes**	
Métrica	**2018**	**2021**	**2018**	**2021**	**2018**	**2021**	**2018**	**2021**
Exactitud	0.8324	0.8475	0.8249	0.8266	0.8372	0.8609	0.8294	0.7239
Especificidad	0.85753	0.88377	0.92045	0.943	0.94998	0.96488	0.86261	0.9594
Valor Predictivo Positivo	0.34516	0.40693	0.56558	0.53117	0.64408	0.70256	0.38023	0.8586
Valor Predictivo Negativo	0.94977	0.93928	0.86981	0.85935	0.86178	0.87796	0.93767	0.6958
Sensibilidad	0.62347	0.58264	0.42914	0.29501	0.37267	0.38215	0.59513	0.3703
Área Bajo la Curva (AUC)	0.832	0.83	0.697	0.765	0.837	0.868	0.825	0.859

ISSN: 2007 8102

Tabla 11: Métricas de desempeño de técnicas de ML para predicción de Diabetes

	Regresión Logística		Árbol de Decisión		Random Forest		Naive Bayes	
Métrica	**2018**	**2021**	**2018**	**2021**	**2018**	**2021**	**2018**	**2021**
Exactitud	0.8916	0.8746	0.8934	0.8619	0.8943	0.8843	0.8937	0.8328
Especificidad	0.90913	0.90107	1	0.96237	0.990914	0.995211	0.90972	0.94041
Valor Predictivo Positivo	0.14759	0.16186	0	0.32487	0.497608	0.564103	0.15211	0.56541
Valor Predictivo Negativo	0.97688	0.9647	0.8934	0.88962	0.900802	0.887465	0.97869	0.86663
Sensibilidad	0.42241	0.36683	0	0.13169	0.07619	0.046809	0.44989	0.34884
Área Bajo la Curva (AUC)	0.837	0.775	0.5	0.755	0.844	0.811	0.838	0.851

La Figura 5 muestra una comparación de las métricas de evaluación para la predicción de padecer hipertensión para cada uno de los métodos de Machine Learning estudiados con respecto a los registros de 2018 y 2021, encontrando resultados muy similares en la mayoría de los métodos analizados, a excepción del método Naive Bayes que muestra que su desempeño se ve afectado por el número de registros.

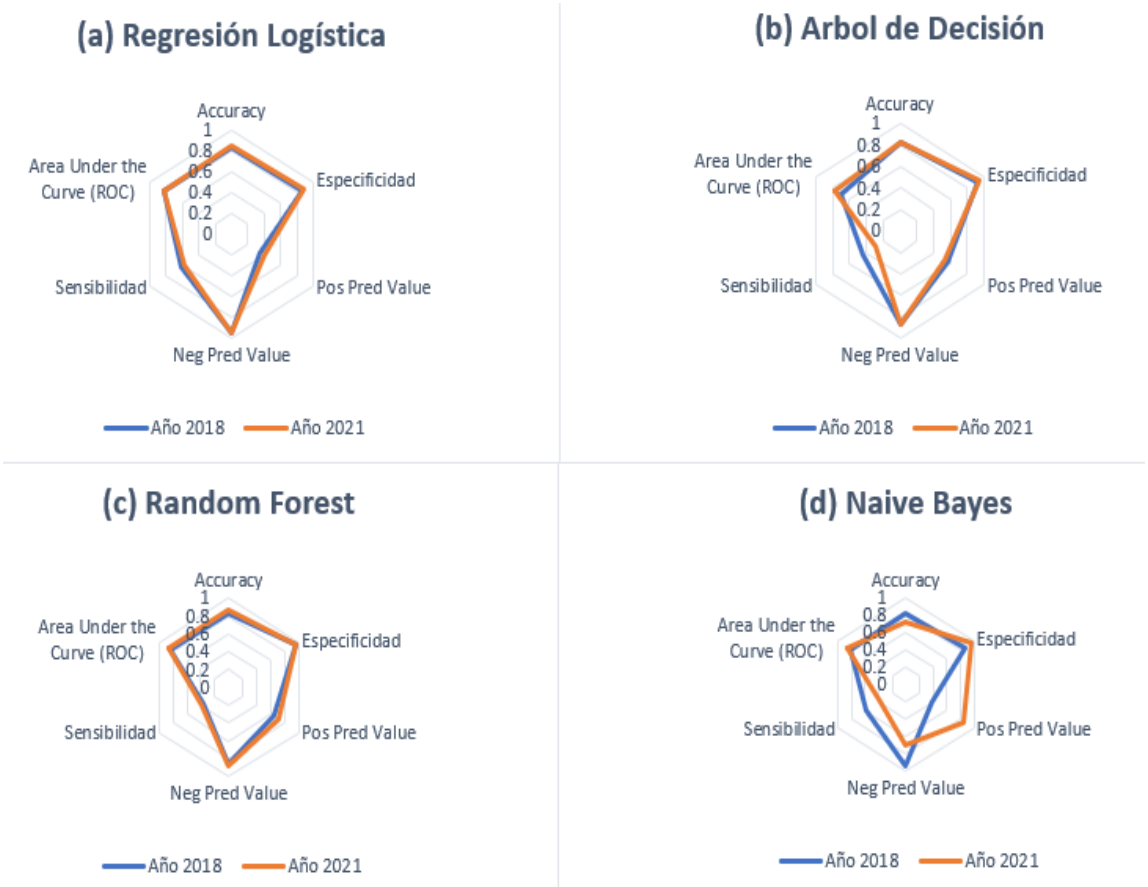


Figura 5: Hipertensión - Comparación de métricas por método de clasificación

La Figura 6 muestra la comparación de métricas para predicción de Diabetes, en la que se observa que tanto el método de Regresión Logística como el método de Random Forest tienen un desempeño similar entre los dos años analizados a diferencia de los métodos Árbol de Decisión y Naive Bayes.

 ISSN: 2007 8102

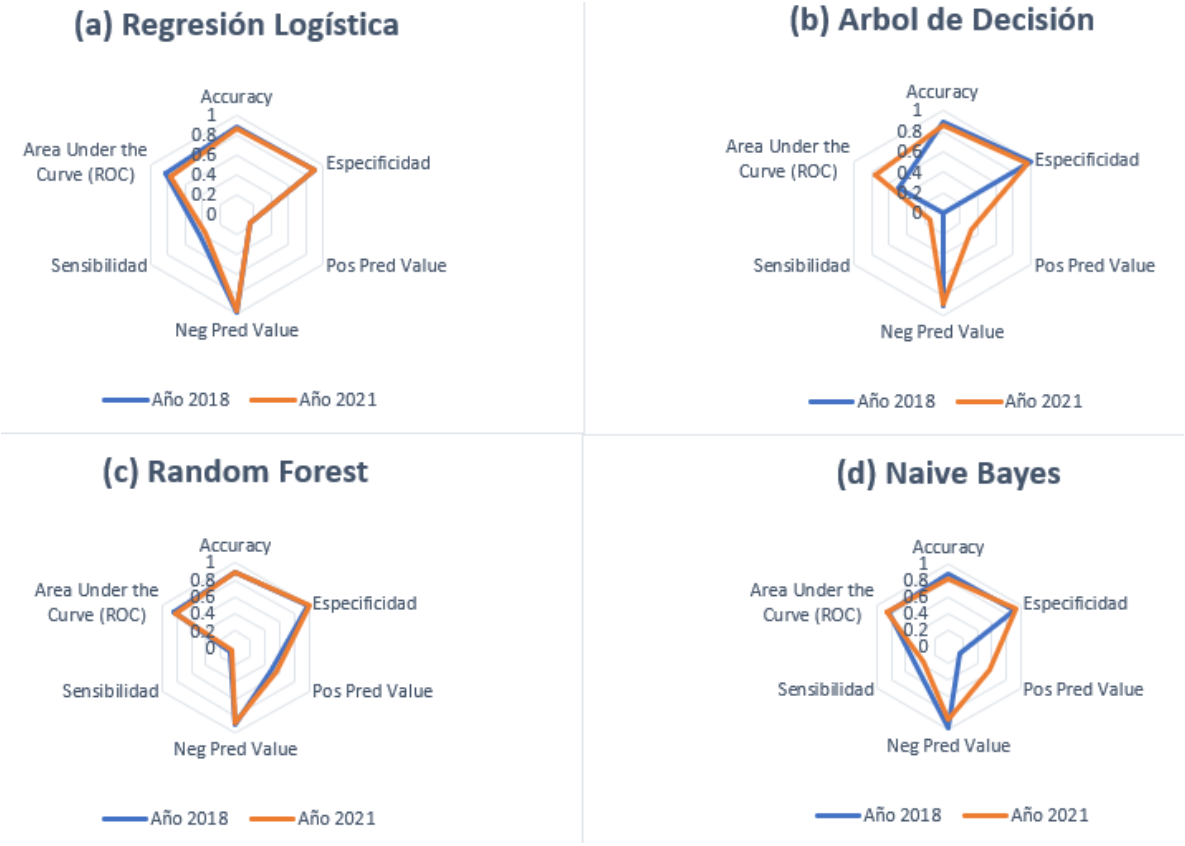


Figura 6: Diabetes - Comparación de métricas por método de clasificación

Trabajo a futuro

En investigaciones futuras se ampliará la comparación con otras técnicas de clasificación de aprendizaje supervisado como redes neuronales, así como extender el análisis hacia otros países de Latinoamérica para identificar coincidencias. Se explorará la opción de ligar parámetros que actualmente son medidos por dispositivos portátiles para alertar al usuario sobre posibles riesgos en su salud y consulte a un profesional de la salud tempranamente.

Conclusiones

La probabilidad de padecer una enfermedad crónica como hipertensión o diabetes es multifactorial, incluyendo factores físicos, así como hábitos de comportamiento y alimenticios, e incluso la región donde se habita, por lo que es factible obtener niveles de predicción basados en los factores mencionados.

En este estudio se evaluaron cuatro técnicas de clasificación de aprendizaje automático como son: Regresión Logística, Árbol de decisión, Random Forest y Naive Bayes. Dichas técnicas fueron evaluadas utilizando datos públicos mexicanos de dos años (2018 y 2021). Por medio de una comparación de las métricas obtenidas se encontró que la técnica de Random Forest destaca como mejor modelo. Por otro lado, la técnica de Árbol de Decisión presentó el menor rendimiento sobre todo procesando los datos del 2018 para predecir Diabetes y presentando un AUC muy bajo para ambas enfermedades crónicas evaluadas.

El presente estudio se limitó a datos públicos de dos años publicados por la Secretaría de Salud de México por lo que no es posible generalizarse estos resultados.

ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] Ayan Chatterjee, Martin W. Gerdes, Satiago G. Martinez, «Identification of Risk Factors Associated with Obesity,» *Sensors,* vol. 20, 2020.

[2] Gómez J.F, Camacho P.A., Lopez-Lopez J., Lopez Jaramillo P., «Control y tratamiento de la hipertensión arterial: Programa 20-20,» *Revista Colombiana de Cardiología,* vol. 26, nº 2, pp. 99-106, 2019.

[3] Gress, T. W., Nieto, F. J., Shahar, E., Wofford, M. R., & Brancati, F. L., «Hypertension and Antihypertensive Therapy as Risk Factors for Type 2 Diabetes Mellitus,» *New England Journal of Medicine,* pp. 905-912, 2000.

[4] A. Government, «Diabetes: Australian Facits,» Australian Institute of Health and Welfare, 30 6 2023. [En línea]. Available: https://www.aihw.gov.au/reports/diabetes/diabetes/contents/diabetes-risk-factors. [Último acceso: 26 7 30].

[5] Infobae, «Cuál es la enfermedad que mata a más mexicanos,» 25 Enero 2023. [En línea]. Available: https://www.infobae.com/mexico/2023/01/25/cual-es-la-enfermedad-que-mata-a-mas-mexicanos/. [Último acceso: 2023].

[6] Salinas Rodríguez, J. L., et al, «Diferencias en comportamientos de riesgo y problemas en personas con sobrepeso y obesos.,» *Revista Electrónica de Psicología Iztacala,* 2018.

[7] Thanat Chaikijurajai, Luke J Laffin, Wai Hong Wilson Tang, «Artificial Intelligence and Hypertension: Recent Advances and Future Outlook,» *American Journal of Hypertension,* vol. 33, nº 11, 2 July 2020.

[8] Berente N, Gu B, Recker J, Santhanam R, «Managing Artificial Intelligence,» *MIS Quarterly,* vol. 45, nº 3, pp. 1433-1450, 9 2021.

[9] Giletta M, Giordano A, Mercaú N, Orden P, Villareal V., «Inteligencia Artificial: definiciones en disputa,» *Sociales Investiga, Escritos Académicos, de Extensión y Docencia,* vol. 9, pp. 20-33, 25 6 2020.

[10] Gaibor Ochoa, Jorge Leonardo, Gaibor Ochoa, Jorge Leonardo, «Desarrollo de una aplicación Android para el monitoreo de señales ECG aplicando algoritmos preentrenados de aprendizaje automático,» Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales., Guayaquil, 2023.

[11] J. M. Díaz, «Inteligencia artificial y Big Data como soluciones frente a la COVID-19,» *Revista de Bioética y Derecho,* vol. 50, 23 Noviembre 2020.

[12] Akihiro Nomura, Masahiro Noguchi, Mitsuhiro Kometani, Kenji Furukawa, Takashi Yoneda, «Artificial Intelligence in Current Diabetes Managment and Prediction,» *PubMed Central,* vol. 21, nº 12, 13 December 2021.

[13] Sandosh Padmanabhan,Tran Quoc Bao Tran, Anna F Dominiczak, «Artificial Intelligence in Hypertension,» *Circulation Research,* 1 April 2021.

[14] David Flood, Elizabeth W. Edwards, David Giovannini, Emily Ridley, Andres Rosende, William H. Herman, Marc G. Jaffe, Donald J. DiPette, «HEARTS como herramienta para integrar el manejo de la hipertensión y la diabetes en los entornos de atención primaria de salud,» *Rev Panam Salud Publica,* vol. 46, 19 Mayo 2023.

[15] Instituto Nacional de Salud Pública, «Encuesta Nacional de Salud y Nutrición,» 12 Agosto 2022. [En línea]. Available: https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/descargas.php.

[16] R. C. Team, «R: A language and environment for statistical,» Vienna, 2022.

[17] DataSource.ai, «Métricas De Evaluación De Modelos En El Aprendizaje Automático,» DataSource.ai, 2 September 2020. [En línea]. Available: https://www.datasource.ai/es/data-science-articles/metricas-de-evaluacion-de-modelos-en-el-aprendizaje-automatico. [Último acceso: 2023].

[18] Vetter, Thomas R. MD, Schober, Patrick MD, «Regression: The Apple Does Not Fall Far From the Tree,» vol. 127, nº 1, pp. 277-283, 2018.

[19] L. Breiman, «Random Forests,» vol. 45, nº October 2001, pp. 5-32, 2001.

[20] L. A. Mendoza-Chate, «Estudio Comparativo de Naive Bayes, Árbol de Decisión, Redes Neuronales y K-NN,» Lima Perú, 2020.

[21] F. G. Arias, El proyecto de Investigación, Introducción a la metodología científica, Sexta Edición ed., C. Editorial Episteme, Ed., Caracas, 2012.

CHATBOT PARA DAR SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS PRESENTADOS EN LOS LABORATORIOS DE ISI DEL CU UNIVERSITARIO UAEM NEZAHUALCÓYOTL.

Paola Sofia Noriega Corona[1], Dora María Calderón Nepamuceno[2]*
[1]Centro Universitario UAEM Nezahualcóyotl y pnoriegac001@alumno.uaemex,[2] Centro Universitario UAEM Nezahualcóyotl y dmcalderonn@uaemex.mx

Área de participación: Sistemas Computacionales**.**

Resumen
En los últimos años, el procesamiento del lenguaje natural y los chatbots han experimentado un notable avance en el campo de la inteligencia artificial. Por ello, en este trabajo se ha implementado el chatbot "LaboratoriosISIBot" para los laboratorios de la carrera de Ingeniería en Sistemas Inteligentes del Centro Universitario UEAM Nezahualcóyotl. Se siguió la metodología de cascada, con etapas de identificación de requisitos, diseño detallado e implementación en el lenguaje de programación Python. El chatbot se integró con la plataforma Telegram mediante su API.

Se utilizaron algoritmos de procesamiento del lenguaje natural, como la distancia euclidiana, para comprender los mensajes de los usuarios y comparar las consultas con la base de datos de oraciones (Elaboración propia). Se crearon vectores binarios y se implementaron funciones para gestionar la interacción y almacenar los reportes de problemas en un archivo CSV. Las pruebas realizadas confirmaron la eficiencia del chatbot, cumpliendo su función principal de manera satisfactoria.

Palabras clave*:Chatbot, procesamiento del lenguaje natural, distancia euclidiana, python.*

Abstract
In recent years, natural language processing and chatbots have experienced a remarkable advance in the field of artificial intelligence. Therefore, in this work the chatbot "LaboratoriosISIBot" has been implemented for the laboratories of the Intelligent Systems career of the UEAM Nezahualcóyotl University Center. The waterfall methodology was followed, with stages of requirements identification, detailed design and implementation in the Python programming language. The chatbot was integrated with the Telegram platform through its API.

Natural language processing algorithms, such as Euclidean distance, were used to understand user messages and compare queries with the sentence database (Own elaboration). Binary vectors were created and functions were implemented to manage the interaction and store the problem reports in a CSV file. The tests carried out confirmed the efficiency of the chatbot, fulfilling its main function satisfactorily.

Key words*: Chatbot, natural language processing, euclidean distance, python.*

Introducción
La inteligencia artificial (IA) ha experimentado un notable avance en los últimos años, lo que ha permitido el desarrollo de sistemas capaces de realizar tareas asociadas con la inteligencia humana. Estas aplicaciones abarcan desde el reconocimiento de objeto, personas en imágenes o videos, hasta la traducción automática de textos, el diagnóstico médico y la toma de decisiones. El crecimiento de la IA se ha visto impulsado por una mayor disponibilidad de datos, recursos tecnológicos y financieros, así como por los avances en técnicas de aprendizaje [1].

Dentro de las diversas ramas de la IA, el procesamiento del lenguaje natural ha ganado una notable relevancia. El procesamiento de lenguaje natural (PLN) es un campo interdisciplinario que conjuga la lingüística, la informática y la inteligencia artificial para lograr que las computadoras puedan comprender, procesar y generar lenguaje humano. En los últimos años, se ha producido un considerable avance en el PLN gracias a los progresos en el aprendizaje profundo y el análisis de grandes conjuntos de datos, lo que ha permitido a los investigadores mejorar de manera significativa la capacidad de las computadoras para procesar el lenguaje natural con eficacia [2]

ISSN: 2007 8102

Una de las aplicaciones más destacadas del procesamiento del lenguaje natural es la utilización de chatbots. Los chatbots son programas informáticos que simulan conversaciones de carácter humano y son capaces de resolver las dudas de los usuarios mediante algoritmos y, en ocasiones, inteligencia artificial. Los chatbots integran un modelo de lenguaje y algoritmos computacionales para emular la comunicación informal por chat entre un usuario humano y un ordenador, utilizando el lenguaje natural. Los usuarios pueden interactuar con los chatbots a través de texto o voz en la pantalla de un ordenador o dispositivo móvil, recibiendo respuestas en forma de texto o audio/voz [3].

En términos generales, existen dos tipos de diseño de chatbots. Los chatbots orientados a tareas están diseñados con un propósito específico y están configurados para proporcionar respuestas en conversaciones, generalmente dentro de un dominio de servicio como la reserva de vuelos, solicitar comida, responder a las consultas de los clientes o adquirir una habilidad específica. Los chatbots no orientados a tareas emulan conversaciones informales pero interesantes con las personas, realizando charlas creativas o divertidas con fines de entretenimiento sin tener un objetivo informativo particular [4].

En su mayoría, los chatbots comprenden las intervenciones del usuario mediante texto (ChatterBot) y tienen la capacidad de responder a las consultas de diversas formas, ya sea a través de texto, voz o utilizando herramientas de conversión de texto a voz (TTS). Además, pueden llevar a cabo otras tareas solicitadas [5].

Algunas ventajas de la atención al cliente a través de chatbots son: garantiza la eficacia y efectividad, elimina los tiempos de espera, reduce costos, optimiza la relación con el cliente, brinda respuestas en tiempo real, genera entrada al big data como herramienta de marketing cualificado y automatizado, entre otras ([6, 7, 8, 9, 10]; Estas ventajas resaltan la capacidad de los chatbots para mejorar la experiencia del usuario al proporcionar respuestas rápidas y precisas, reducir la carga de trabajo de los equipos de atención al cliente y proporcionar información valiosa para la toma de decisiones estratégicas en marketing y servicios.

En los laboratorios de la carrera de Ingeniería en Sistemas Inteligentes (ISI), se han presentado diversas situaciones en las cuales las máquinas experimentan fallos, carecen de dispositivos de entrada (ratón y teclado) o se encuentrán en mal estado. Aunque en esos momentos se notifica al profesor, debido a la continuidad de las clases o a las tareas pendientes, no siempre se informa al encargado de los laboratorios, lo que retrasa la obtención de una solución para el problema. Por esta razón, se propone la implementación de un chatbot a través de Telegram, que permita notificar los problemas que surjan en el momento, generando reportes que se almacenarán en un archivo CSV. El objetivo es contar con un mejor control de las fallas en los laboratorios de ISI y ofrecer una respuesta más rápida a las solicitudes de solución.

Metodología

En este proyecto, se empleó la metodología de cascada para llevar a cabo el desarrollo del sistema de chatbot destinado a los laboratorios de ISI. La metodología de cascada propone un enfoque metodológico que implica ordenar de manera lineal las distintas etapas a seguir durante el desarrollo del software [11].(véase Figura 1):

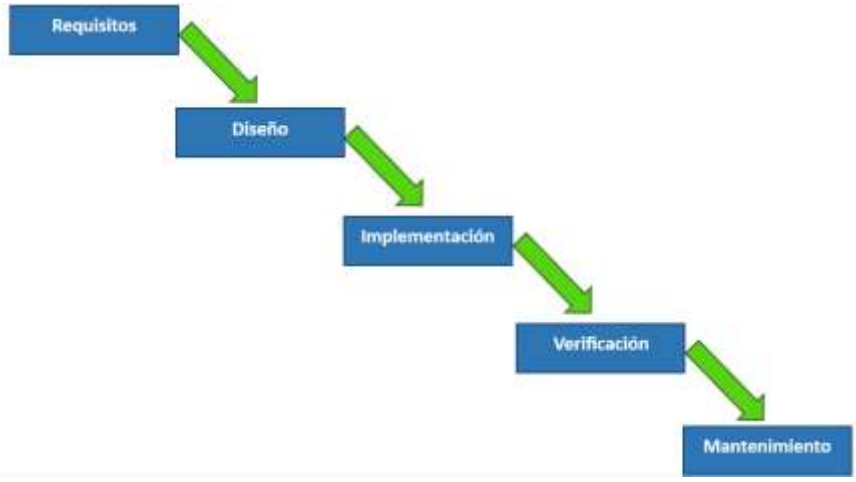


Figura 1. Etapas del modelo cascada.

 ISSN: 2007 8102

Requerimientos: Durante esta etapa, se identificaron las metas y objetivos generales del sistema chatbot. El objetivo general consistió en desarrollar un sistema autónomo capaz de identificar problemas en los laboratorios de ISI basándose en los mensajes de los usuarios.

Diseño: Durante esta etapa, se llevó a cabo el diseño detallado del chatbot, el cual comprendió la definición de los flujos de conversación, la estructura del chatbot y la interfaz de usuario.

En relación a los flujos de conversación, se establecieron las posibles interacciones entre el chatbot y los usuarios. Se identificaron diversos escenarios de diálogo que podrían surgir, como la solicitud de reportes de problemas y la presentación de soluciones o recomendaciones. Se implementó una lógica de diálogo coherente para asegurar una experiencia de usuario fluida y comprensible.

En cuanto a la estructura del chatbot, se delinearon los componentes principales que lo conforman, incluyendo los módulos de procesamiento del lenguaje natural, la base de datos para almacenar los reportes (elaborada internamente basándose en los problemas comunes de los laboratorios) y la lógica de respuesta. Se definieron las funcionalidades y características necesarias para alcanzar el objetivo establecido.

La interfaz de usuario del chatbot se fundamenta en la plataforma de mensajería Telegram. Se empleó la API de Telegram para establecer la conexión entre el chatbot y la plataforma, lo que posibilita a los usuarios interactuar con el chatbot a través de la interfaz de Telegram. Adicionalmente, se optó por el lenguaje de programación Python para el desarrollo del chatbot debido a su extenso ecosistema de bibliotecas y su eficiencia en el procesamiento de lenguaje natural. Python brinda herramientas como la biblioteca Numpy, especialmente útil para efectuar cálculos matriciales y manipulación de datos, elementos esenciales en el procesamiento del lenguaje natural.

Implementación: Durante esta fase, se llevó a cabo el desarrollo y la implementación del código del chatbot utilizando el lenguaje de programación Python. El principal objetivo consistió en integrar el chatbot con la plataforma de mensajería Telegram para permitir la interacción con los usuarios.

Para lograr este propósito, se empleó la API de Telegram, la cual proporciona una interfaz de programación para conectarse y comunicarse con la plataforma. A través de esta API, el chatbot pudo recibir y enviar mensajes a través de Telegram, lo que facilitó la interacción con los usuarios de manera intuitiva y familiar.

Un aspecto fundamental de la implementación fue la aplicación de algoritmos y técnicas de procesamiento de lenguaje natural (NLP) para analizar los mensajes de los usuarios y detectar problemas en los laboratorios de ISI. Estos algoritmos y técnicas se utilizaron para comprender y procesar los textos redactados por los usuarios, identificar palabras clave relevantes y llevar a cabo acciones específicas basadas en esta información.

Específicamente, se utilizó la distancia euclidiana como algoritmo para determinar la similitud entre palabras. La distancia euclidiana se calcula como la raíz cuadrada de la suma de las diferencias al cuadrado entre los valores de dos casos para cada variable

$$\mathrm{d}(\mathrm{p},\mathrm{q}) = \sqrt{\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} (\mathrm{qi} - \mathrm{p1})^2}$$

En el contexto del chatbot, se utilizó para medir la similitud entre las palabras presentes en las consultas de los usuarios y las palabras almacenadas en la base de datos de oraciones. Este enfoque permitió establecer una medida cuantitativa de similitud y comparar las consultas de los usuarios con los datos existentes para determinar la correspondencia más cercana. Para llevar a cabo esta comparación, se generaron vectores binarios que representaban las palabras presentes en las consultas de los usuarios y en la base de datos de oraciones. Estos vectores binarios se construyeron asignando un valor de 1 a las palabras que estaban presentes en ambos conjuntos de datos y un valor de 0 a las palabras que solo estaban presentes en uno de ellos. Al comparar los vectores binarios, fue posible determinar la similitud entre las consultas de los usuarios y las oraciones almacenadas en la base de datos.

Además de la implementación de los algoritmos de procesamiento de lenguaje natural, se desarrollaron funciones y para gestionar la interacción del chatbot con los usuarios. Se diseñaron flujos de conversación coherentes y se

establecieron respuestas automáticas para diferentes situaciones y consultas comunes. Esto permitió al chatbot proporcionar una experiencia interactiva y responder de manera adecuada a las necesidades de los usuarios.

Todo este proceso de desarrollo se llevó a cabo siguiendo los siguientes pasos:

1. Creación del bot en BotFather: El primer paso consistió en buscar y acceder a "BotFather" dentro de la aplicación de Telegram. Se utilizó el comando "/newbot" para crear un nuevo bot, y se asignaron un nombre y un nombre de usuario al bot ("LaboratoriosISIBot" y "LaboratoriosISI_bot" respectivamente) (véase Figura 2).



Figura 2. Creación del bot.

2. Obtención del token de Telegram: Una vez creado el bot, se procedió a obtener un token único proporcionado por Telegram. Dicho token se emplea para establecer la conexión entre el chatbot y la plataforma de Telegram. Junto con el token, se adquirió un enlace de acceso al chatbot (véase Figura 3).

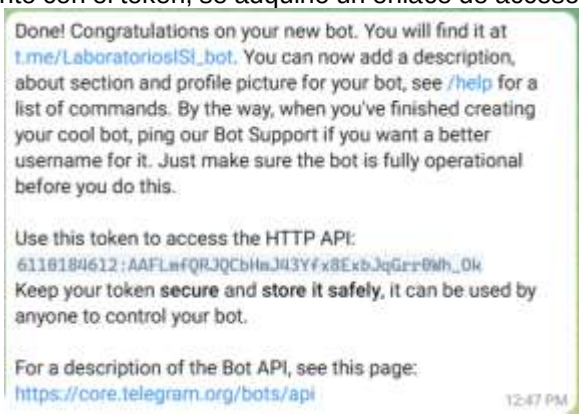


Figura 3. Token del bot.

3. Implementación de la distancia euclidiana: Se creó una función denominada "distancia()" que incorpora la fórmula de la distancia euclidiana y acepta dos vectores binarios como parámetros (véase Figura 4).

```
def distancia(vector1,vector2):
    a = 0
    vec1 = 0
    vec2 = 0
    for i in range(len(vector1)):
        a+= vector1[i]*vector2[i]
        vec1+=pow(vector1[i], 2)
        vec2+=pow(vector2[i], 2)
    vec1 = math.sqrt(vec1)
    vec2 = math.sqrt(vec2)
    res = a/(vec1*vec2)
    return res
```

Figura 4. Función distancia().

4. Generación de vectores binarios: Se diseñó la función "similitud()" con el propósito de generar vectores binarios a partir de una oración almacenada en una base de datos (archivo "data.py") y la consulta realizada por el usuario. En esta función, se lleva a cabo una comparación entre las palabras presentes en la oración y la consulta, asignando el valor 1 a las palabras coincidentes en ambos y 0 a aquellas presentes solo en una de las dos. Como resultado, la función devuelve dos vectores binarios de igual longitud (véase Figura 5).

```
def similitud(v_documento,v_consulta):
    documento = []
    consulta = []
    iguales = []
    for i in range(len(v_documento)):
        for j in range(len(v_consulta)):
            if comparar(v_documento[i],v_consulta[j]):
                documento.append(1)
                consulta.append(1)
                iguales.append([v_documento[i],v_consulta[j]])

    for i in iguales:
        v_documento.remove(i[0])
        v_consulta.remove(i[1])

    l = len(v_documento)+len(v_consulta)
    if l!=0:
        for i in range(l):
            if i < len(v_documento):
                documento.append(1)
                consulta.append(0)
            else:
                documento.append(0)
                consulta.append(1)
    return documento,consulta
```

Figura 5.Función similitud().

5. Comparación de consultas: Se desarrolló la función "comparar()" con el fin de realizar comparaciones entre consultas, sin considerar las diferencias en mayúsculas, minúsculas y acentos. Esta función tiene la finalidad de evaluar la similitud entre la consulta realizada por el usuario y las oraciones almacenadas en la base de datos (véase Figura 6). El acceso a la base de datos se lleva a cabo a través del archivo "data.py", que contiene una clase denominada "c_oracion" (véase Figura 7) y una función llamada "oraciones()" que corresponde a la base de datos a utilizar (véase Figura 8).

```
def comparar(a,b):
    igual = False
    if unicodedata.normalize('NFKD', a).encode('ASCII', 'ignore').strip().lower() == unicodedata.normalize('NFKD', b).encode('ASCII', 'ignore').strip().lower():
        igual = True
    return igual
```

Figura 6. Función comparar.

```
class c_oracion:
    def __init__(self, oracion):
        self.ora = oracion
        self.opciones = []
        self.soporte = []

    def agregar_opciones(self,nueva_op,requiere_so):
        self.opciones.append(nueva_op)
        if requiere_so == 'si':
            self.soporte.append(nueva_op)

    def agregar_similitud(self, sim):
        self.similitud = sim
```

Figura 7. class c_oracion.

```
def oraciones():
    m_oracion = []
    oracion = c_oracion('La computadora no enciende')
    oracion.agregar_opciones('Esta roto algun cable','si')
    oracion.agregar_opciones('Esta desconectado algun cable','no')
    oracion.agregar_opciones('No hay luz','si')
    m_oracion.append(oracion)
    oracion = c_oracion('La pantalla no enciende')
    oracion.agregar_opciones('Verifico si esta conectada a la pc','no')
    oracion.agregar_opciones('Esta roto algun cable','si')
    oracion.agregar_opciones('Tiene algun golpe la pantalla','si')
    m_oracion.append(oracion)
    oracion = c_oracion('El teclado no funciona')
    oracion.agregar_opciones('Verifico si esta conectada a la pc','no')
    oracion.agregar_opciones('Le faltan teclas','si')
    oracion.agregar_opciones('Esta roto de alguna parte el teclado','si')
    oracion.agregar_opciones('El cable que va conectado a la pc esta roto','si')
    m_oracion.append(oracion)
```

Figura 8. Función oraciones.

6. Conexión con el bot: Se estableció la conexión con el bot mediante el token proporcionado por Telegram. El token fue almacenado en la variable denominada "token" y se empleó la función "TeleBot()" perteneciente a la biblioteca "telebot" para llevar a cabo la conexión (véase Figura 9).

```
token = '6110184612:AAFLmfQRJQCbHmJ43Yfx8ExbJqGrr0Wh_Ok'

bot = telebot.TeleBot(token)
```

Figura 9. Conexion.

7. Recepción y respuesta de mensajes: Se empleó la función "@bot.message_handler" con el propósito de recibir y procesar los mensajes enviados por el usuario a través del chatbot. Se implementó el método "bot_message_text()" (véase Figura 10) para obtener el mensaje del usuario y emitir una respuesta apropiada.

```
@bot.message_handler(content_types=["text"])
def bot_message_text(message):
    ms = message.text
    if len(ms.split())<= 2 :
        text = "¡Hola," + message.from_user.first_name +"! ¿En qué puedo ayudarte? "
        bot.send_message(message.chat.id, text)
    else:
        text = "Estamos atendiendo tu petición, un momento " + message.from_user.first_name + "..."
        bot.send_message(message.chat.id, text)
        cmp = comparar_data(message.text)
        if  cmp == False:
            bot.send_message(message.chat.id,'Verifica tu petición')
        else:
            p_itemes = cmp.opciones
            keyboard = keyboa.Keyboa(items= p_itemes )
            bot.send_message(message.chat.id,'Seleccione una opción:', reply_markup=keyboard())
```

Figura 10. Función boot_message_text.

8. Manejo de respuestas en forma de menú: Se utilizó la función "@bot.callback_query_handler()" para recibir las respuestas del usuario a través de los diversos menús ofrecidos por el chatbot. Se desarrolló el método "bot_message_menu()" (véase Figura 11) para gestionar estas respuestas y ejecutar las acciones correspondientes.
   Guardado de datos del reporte: Se implementó la función "guardar_datos()" con el propósito de obtener la información del reporte suministrada por el usuario en función de las opciones y consultas efectuadas. Esta función se encarga de recopilar los datos necesarios para generar el informe de problemas en los laboratorios de cómputo (véase Figura 12).

 ISSN: 2007 8102

```python
@bot.callback_query_handler(func=lambda query: True)
def bot_message_menu(message):
    if data.validar_respuesta(str(message.data)):
        print('entro')
        laboratorio(message)
        respuestas_Sec.append(message.data)
    elif message.data.isdigit() and 1 <= int(message.data) <= 6:
        soporte(message)
        respuestas_Sec.append(message.data)
    elif message.data.isdigit():
        respuestas_Sec.append(message.data)
        guardar_datos(message)
        bot.send_message(message.from_user.id,'Su reporte fue generado correctamente')
        bot.send_message(message.from_user.id,'Si tienes algún otro problema o necesitas asistenc

    else:
        text = 'Si esta todo conectado correctamente y sigue presentando fallas seleccione que el
        bot.send_message(message.from_user.id,text)

        keyboard = keyboa.Keyboa(items= ['Esta roto algun cable'] )
        bot.send_message(message.from_user.id,'Seleccione una opcion:', reply_markup=keyboard())
```

Figura 11. Función bot_message_menu.

```python
def guardar_datos(message):
    fecha_actual = datetime.date.today()
    fecha_formateada = fecha_actual.strftime("%d/%m/%Y")
    nuevo_res = {
    'Id':[message.from_user.id],
    'Name' :[message.from_user.first_name],
    'Laboratorio':[respuestas_Sec[1]],
    'Maquina':[respuestas_Sec[2]],
    'Reporte':[respuestas_Sec[0]],
    'Fecha':[fecha_formateada]
        }
    df = pd.DataFrame(nuevo_res)
    df.to_csv("Reportes Laboratorios.csv", mode='a', index=False, header=False)
```

Figura 12. Función guardar_datos.

Verificación: La etapa de verificación resulta fundamental para asegurar el correcto funcionamiento del chatbot antes de su despliegue y puesta en producción. Durante esta fase, se llevaron a cabo diversas pruebas exhaustivas con el propósito de evaluar el desempeño y la eficacia del chatbot en la detección de problemas en los laboratorios de ISI.
Estas pruebas se llevaron a cabo simulando distintas situaciones, utilizando conjuntos de datos representativos y consultas de usuarios variadas. El objetivo primordial consistió en evaluar la capacidad del chatbot para comprender y responder de manera precisa a las consultas de los usuarios, además de identificar correctamente los problemas en los laboratorios.

Mantenimiento: Debido a circunstancias particulares, el proyecto del chatbot no llegó a la fase de implementación en el Centro Universitario UAEM Nezahualcóyotl. Como resultado, no se realizarón tareas de mantenimiento, ya que esta fase implica brindar soporte continuo, corregir errores, realizar actualizaciones y mejoras en el sistema. Dado que el chatbot no fue implementado, no fue necesario llevar a cabo actividades de mantenimiento para garantizar su correcto funcionamiento a lo largo del tiempo.

Resultados y discusión

Los resultados presentados a continuación fueron obtenidos de las pruebas realizadas para verificar el funcionamiento del chatbot.

ISSN: 2007 8102

En la barra de búsqueda de Telegram, se procede a buscar el nombre del bot "LaboratoriosISIBot" y se inicia la interacción. Al enviarle un mensaje al bot, este responde con el mensaje "¡Hola, seguido del nombre del usuario!¿En qué puedo ayudarte?" acompañado del nombre del usuario, tal como se muestra en la Figura 13.



Figura 13. Interacción de usuario con el chat bot.

Una vez que el usuario expone la falla al bot, este responderá indicando que está atendiendo la solicitud y ofrecerá una serie de opciones adaptadas al problema planteado por el usuario. Posteriormente, el usuario podrá seleccionar una de las opciones proporcionadas y el bot procederá a preguntar en qué laboratorio se encuentra el usuario, tal como se muestra en la Figura 14.

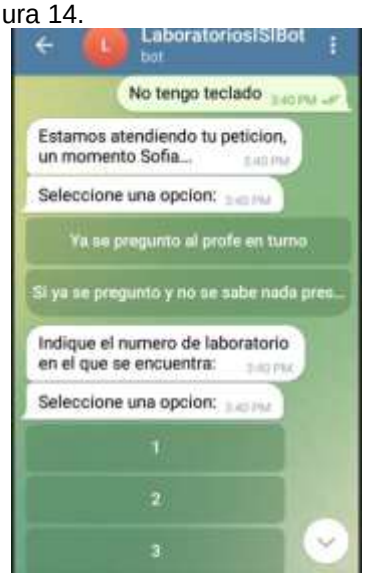


Figura 14. Iteracción del usuario con el chat bot.

El bot responderá indicando que se levantará un informe al soporte técnico y solicitará que se proporcione el número de máquina en la que se está experimentando el problema, tal como se muestra en la Figura 15.



Figura 15. Interración del chatbot con el usuario.

ISSN: 2007 8102

Una vez generado el reporte, el bot notificará al usuario que se ha creado exitosamente y a continuación, preguntará si existe algún otro problema o inquietud que el usuario desee abordar. En caso de que el usuario no tenga más asuntos pendientes, la interacción con el bot se dará por concluida, como se muestra en la Figura 16.

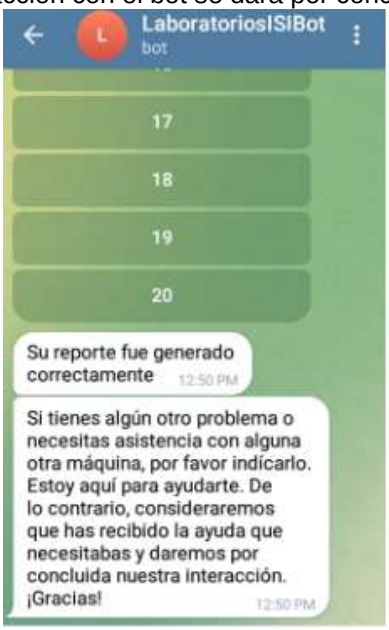


Figura 16. Interacción del chatbot con el usuario.

Todos los reportes generados serán almacenados en un archivo CSV que contiene información como el ID de usuario, nombre, número de laboratorio, número de máquina y la fecha en que se realizó el reporte. En la Figura 17 se pueden visualizar algunos reportes de las pruebas realizadas.

Id	Nombre	Laboratorio	Maquina	Reporte	Fecha
5141801362	Sofia	1	4	Si ya se pregunto y no se sabe nada presione aqui	12/07/2023
5141801362	Sofia	3	18	Si ya se pregunto y no se sabe nada presione aqui	12/07/2023
2106209838	Oscar	4	12	Esta roto algun cable	12/07/2023
5413018016	Jaime	3	6	Esta roto algun cable	12/07/2023
5413018016	Jaime	1	12	Tiene algun golpe la pantalla	12/07/2023
2106209838	Oscar	2	5	Le faltan teclas	12/07/2023

Figura 17 . Archivo CSV con los reportes generados.

Trabajo a futuro

Además de los resultados obtenidos en esta investigación, se vislumbra un trabajo prometedor a futuro para la implementación del bot "LaboratoriosISIBot" en el entorno del Centro Universitario. Dado que la interacción con estudiantes, profesores y personal administrativo es una parte integral de la vida académica, se considera que la adopción de este tipo de asistente virtual podría proporcionar numerosos beneficios en términos de eficiencia y experiencia del usuario.

Conclusiones

En conclusión, basándonos en los resultados de las pruebas realizadas del chatbot "LaboratoriosISIBot", se puede decir que este podría ser una solución efectiva y prometedora para mejorar la detección y resolución de problemas en los laboratorios de la carrera de Ingeniería en Sistemas Inteligentes (ISI). A través de pruebas exhaustivas, se ha validado el desempeño y la eficacia del chatbot en la detección de problemas en los laboratorios de ISI. Los resultados obtenidos demuestran la capacidad del chatbot para identificar correctamente los problemas y brindar soluciones o recomendaciones adecuadas.

La utilización de técnicas de procesamiento del lenguaje natural y algoritmos como la distancia euclidiana ha permitido al chatbot comprender las consultas de los usuarios y proporcionar respuestas relevantes y precisas.

ISSN: 2007 8102

Además, la integración del chatbot con la plataforma de mensajería Telegram ha facilitado la interacción con los usuarios, ofreciendo una experiencia intuitiva y familiar.

En definitiva, el chatbot "LaboratoriosISIBot" se posiciona como una herramienta valiosa para el control de fallos en los laboratorios de ISI, ofreciendo respuestas rápidas y precisas, y mejorando la eficiencia en la atención a los problemas presentados. Su implementación exitosa en el entorno universitario puede ser un paso importante hacia la automatización de procesos y la mejora de la experiencia del usuario en el ámbito académico.

Referencias

[1] INCyTU, «Inteligencia Artificial,» 2018.

[2] Giraldo Forero, A. F., & Orozco Duque, A. F., «Evolucion del procesamiento natural del lenguaje,» 2023.

[3] Wang, Y., Petrina, S., «Using Learning Analytics to Understand the Desing of an Intelligent Language Tutor.,» 2013.

[4] Hussain, S., Ameri Sianaki, O., & Ababneh, N., «A Survey on Conversational Agents/ Chatbots Classification and Design Techniques. In L. Barolli, M. Takizawa, F. Xhafa, & T. Enokido (Eds.),» *Artificial Intelligence and Network Applications.,* pp. 946-956, 2019.

[5] A. Solutions, «Chatbots: La guia definitiva,» 2020.

[6] Artyco, «España:Customer Service,» 2016. [En línea].

[7] Molina, W., «La inteligencia artificial mejora el rendimiento y la atencion al cliente.,» *Desde Cero,* pp. 14-15, 2017.

[8] Charlán, J., «Qué es un chatbot y para qué sirve.,» Perú:ESIC., 2018.

[9] Luna, P., & Molina, A., «Bots:tipología y aplicaciones en el ámbito empresarial,» *España:US.,* 2019.

[10] Medina, P., Beltran, C., & Maigua, J., «Agente conversacional para consultas sobre servicio médico en una clínica privada.,» *3C Tecnologia,* pp. 47-71, 2021.

[11] A., Carranza, «Modelo en cascada: ¿Qué es y cómo funciona?,» 2021.

ISSN: 2007 8102

Una mejora del algoritmo Fuzzy c-Means utilizando la función de distribución gaussiana

A. Mexicano Santoyo[1], P.N. Montes Dorantes[2], E.G. Pérez Estrada[1], J.C. Carmona Frausto[1], S. Cervantes Alvarez[3]*
[1]División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, Boulevard Emilio Portes Gil #1301 Pte. A.P. 175 C.P. 87010 Cd. Victoria, Tamaulipas.
[2]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Saltillo, Blvd. Venustiano Carranza, Priv. Tecnológico 2400, 25280 Saltillo, Coah.
[3]Departamento de Ciencias Computacionales e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, UdeG, Ameca, Jalisco.
[*]jesus.cf@cdvictoria.tecnm.mx

***Área de participación**: Sistemas Computacionales*

Resumen

Fuzzy c-Means (FCM) es un algoritmo de agrupamiento suave no supervisado, altamente utilizado en diversas áreas de estudio como el reconocimiento de patrones, segmentación, análisis de datos, etc. No obstante, una de sus limitantes es el número de cálculos que se realizan para obtener el grado de membresía de cada objeto hacia cada centroide, lo que implica un alto costo computacional. En este trabajo se propone reducir el número de cálculos utilizando la función de distribución gaussiana para calcular el grado de membresía de cada objeto hacia cada centroide y para el cálculo de los centroides en cada iteración se calculó la media, considerando los principios del algoritmo *K-means*. Para evaluar la propuesta se utilizaron dos instancias sintéticas y una real. Los resultados mostraron una reducción en el tiempo de ejecución de hasta el 78.39% y una reducción de la calidad del agrupamiento del 7.78% en comparación con el algoritmo estándar.

***Palabras clave**: Fuzzy c-Means, función de membresía, distribución gaussiana*

Abstract

Fuzzy c-Means (FCM) is an unsupervised smooth clustering algorithm, widely used in various study areas such as pattern recognition, segmentation, data analysis, etc. However, one of its limitations is the number of calculations that are performed to obtain the degree of membership of each object towards each centroid, which implies a high computational cost. In this work it is proposed to reduce the number of calculations using the Gaussian distribution function to calculate the degree of membership of each object towards each centroid, also for the calculation of the centroids in each iteration the average was calculated, considering the principles of the K-means algorithm. To evaluate the proposal, two synthetic instances and one real were used. The results showed a reduction in execution time of up to 78.39% and a reduction in clustering quality of 7.78% compared against the standard algorithm.
***Key words**: Fuzzy c-Means, membership function, Gaussian distribution*

Introducción

El agrupamiento de datos es una técnica no supervisada, la cual es muy utilizada en diversas áreas tales como reconocimiento de patrones, procesamiento de imágenes, negocios, minería de datos, aprendizaje automático, entre otros [1]. Debido al crecimiento exponencial de datos en los últimos años el agrupamiento ha cobrado mucha relevancia, convirtiéndose en un objeto de estudio relevante para el aprendizaje automático. El objetivo del agrupamiento consiste en dividir un conjunto de objetos en grupos, donde los objetos que pertenecen a un grupo son muy similares entre sí, y también son diferentes en cuanto a los objetos que pertenecen a otro grupo. Con el tiempo, se han desarrollado diferentes algoritmos de agrupamiento y se han categorizado como agrupamiento basado en centroide [2], agrupamiento jerárquico [3], agrupamiento basado en distribución [4] y agrupamiento basado en densidad [5]. FCM forma parte del agrupamiento basado en centroide, este algoritmo es muy popular y forma parte de los algoritmos de lógica difusa. Un inconveniente de FCM es su alto costo computacional, lo cual

ISSN: 2007 8102

es una razón para generar nuevas mejoras. En este trabajo se propone una mejora al algoritmo FCM que consiste en reducir el costo computacional del algoritmo, sin una pérdida significativa en la calidad del agrupamiento. Para ello se sustituyó la función del cálculo de membresía de cada objeto hacia cada centroide por la función de distribución gaussiana y adicionalmente, para el cálculo de los centroides en cada iteración, se utilizó el cálculo de la media.

Trabajos relacionados

En la literatura se pueden encontrar diversos trabajos que se han desarrollado para mejorar el algoritmo *Fuzzy c-Means* (FCM), algunos de ellos van enfocadas en cuanto a la calidad del agrupamiento, para ello en [1], [6], [7], [8] y [9], se emplean algoritmos de inteligencia de enjambres buscando solucionar el principal inconveniente que presenta FCM que es sensible a la inicialización de los centroides, lo cual puede resultar en una convergencia lenta o no óptima, algunos de los algoritmos utilizados son PSO (*Particle Swarm Optimization*), GWO (*Grey Wolf Optimizer*), WOA (W*hale Optimization Algorithm*) y WSA (*Weighted Superposition Attraction Algorithm*). Otro enfoque al cual se han desarrollado es en busca de la reducción de tiempo de ejecución del algoritmo como el que se muestra en [10] el cual considera el parámetro m como un hiperparámetro clave que afecta el rendimiento de la agrupación, se propone un algoritmo FCM mejorado que permita variar el parámetro de difusividad en la función objetivo mostrando que mejora el rendimiento de la agrupación en grandes dimensiones, además el tiempo que tarda en ejecutarse se reduce considerablemente. En la literatura también se pueden encontrar distintos trabajos que implementan sistemas de lógica difusa utilizando distintas funciones de membresía, como se muestra en [11], donde el uso de una función de membresía de distribución gaussiana favorece ante el problema de la incertidumbre por lo que brindan una mejor interpretabilidad de los datos que se estén manejando, en [12] es aplicada una función triangular para la clasificación de una fruta utilizando reglas difusas para llevar a cabo la clasificación, donde el método propuesto reduce el tiempo y el esfuerzo de clasificación.

Fuzzy c-Means

El algoritmo FCM fue presentado por Bezdeck en [13] basándose en la teoría de conjuntos difusos que fue propuesta por Zadeh [14] [15]. Donde se expresa que un elemento puede tener una membresía parcial a múltiples grupos, expresado mediante un valor difuso entre 0 y 1. FCM es un algoritmo de optimización no lineal alternativo [1], como medida de la calidad del conglomerado busca minimizar el valor de la función objetivo [16] que se muestra en la Ecuación 1, la cual considera la distancia euclidiana entre los elementos del conjunto de datos y los centroides, tomando en cuenta los grados de membresía.

$$J = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{C}\mu_{ij} \parallel x_i - c_j \parallel^2 \quad (1)$$

Donde N es el número de elementos, C es el número de grupos requeridos, μ_{ij} representa el grado de membresía para el iésimo elemento x_i en el grupo j , $\parallel x_i - c_j \parallel^2$ denota la distancia euclidiana entre el elemento x_i perteneciente al grupo c_j.

Para minimizar la función objetivo el algoritmo realiza iteraciones, en donde se van actualizando la matriz de membresía y así mismo el valor de los centroides.

La función de membresía de FCM [17] se describe mediante la Ecuación 2:

$$\mu_{ij} = \left[\sum_{t=1}^{c}\left(\frac{\|x_j - v_i\|_A}{\|x_j - v_t\|_A}\right)^{\frac{2}{m-1}}\right]^{-1} \quad (2)$$

μ_{ij} es el valor de membresía, el número de grupos está representado por c , x_j representa el j-ésimo objeto, v_i es el i-ésimo centroide sobre el que se calculará el grado de pertenencia. $\|.\|_A$ es la función de la norma y $\sum_{t=1}^{c}\mu_{tj} = 1$, lo que significa que la suma de los grados de membresía de cualquier grupo es uno.

La actualización de los centroides para cada iteración se lleva a cabo por medio de la Ecuación 3:

ISSN: 2007 8102

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^{N} \mu_{ij}^{m} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{N} \mu_{ij}^{m}} \quad (3)$$

Cabe destacar que el parámetro m, influye en la suavidad de la asignación del grado de membresía y en la nitidez de los grupos. Con un valor mayor de m se obtendrán resultados más suaves, mientras que con un valor bajo se obtendrán resultados más nítidos, este valor tiene que ser mayor a 1, aunque diversos trabajos en la literatura emplean un valor de $m = 2$.

Como condición de paro se pueden utilizar distintos criterios, uno muy conocido es el de un umbral de diferencia en los grados de membresía entre una iteración y otra, esto se denota mediante la Ecuación 4.

$$||\mu_{\text{ij}}^{k+1} - \mu_{ij}^{k}|| < \varepsilon \quad (4)$$

El Algoritmo 1, muestra las fases del algoritmo *Fuzzy c-Means*

Algoritmo 1: Fuzzy c-Means

Entrada: Datos, número de centroides c, constante difusa m, *valor del umbral* ε.
Salida: Centroides c_j, matriz de membresía $U = \mu_{ij}$, resultado del agrupamiento $\boldsymbol{G} = \{G_1, G_1, G_1\}$.

Paso 1. Se inicializan los centroides de manera aleatoria, se establecen los valores de c, m y ε.
Paso 2. Cálculo del grado de membresía μ_{ij} de cada objeto i hacia cada centroide j
Paso 3. Actualización de los centroides usando la Ecuación 3.
Paso 4. Validación de la condición de paro, tomando en cuenta la diferencia entre el grado de membresía y el grado de membresía anterior $||\mu_{\text{ij}}^{k+1} - \mu_{ij}^{k}|| < \varepsilon$, en caso de que la diferencia sea mayor que ε, el algoritmo se detiene, en caso contrario, $k = k + 1$ y se repite a partir del Paso 2.
Paso 5. Se asignan los objetos al grupo con mayor grado de membresía y se obtiene $\boldsymbol{G} = \{G_1, G_1, G_1\}$

Observaciones realizadas al algoritmo Fuzzy c-Means

Por medio de observaciones realizadas al comportamiento del algoritmo FCM, se observó que para obtener el grado de membresía de un objeto a un grupo se requiere calcular la distancia euclidiana del objeto hacia los diferentes centroides de los grupos existentes (ver Ecuación 2), lo cual resulta muy costoso, de tal forma se optó por sustituir dicha función por una función de distribución gaussiana (Ecuación 6) dado a que esta solamente requiere el cálculo de la media de los datos, la desviación estándar y la distancia del objeto al centroide que se desea obtener el grado de membresía, lo cual reduce la cantidad de cómputo requerido. Por otra parte, se observó que la etapa de la actualización de los centroides de FCM requiere elevar el grado de membresía de cada objeto a cada grupo a la potencia del coeficiente de difusividad ($\mu_{ij}{}_{ij}^{m}$) y posteriormente obtener el producto por cada una de las características del objeto x_i lo cual también representa alto número de cálculos (ver Ecuación 3), por lo tanto, se decidió cambiarlo por el cálculo de la media de los objetos asignados a un grupo, inspirándose en el algoritmo *k-Means*.

Propuesta de mejora del algoritmo Fuzzy c-Means

La etapa de clasificación es muy importante, debido a que es donde se asignan los objetos a un grupo de acuerdo con sus características. El algoritmo FCM emplea una función de membresía propia en donde se utiliza la distancia euclidiana para poder realizar dicho cálculo. En busca de reducir los cálculos requeridos para cumplir con la tarea de agrupamiento, se propone la utilización de una función de membresía de distribución gaussiana en busca de reducir los cálculos requeridos para el agrupamiento. Esto contribuirá dado a que para dicha función no será necesario el cálculo de la distancia euclidiana entre cada uno de los objetos al centroide de cada grupo.

Para la medición de la calidad del agrupamiento se emplea una función objetivo, la cual evalúa la cohesión que existe en los grupos que el algoritmo generó (Ecuación 5).

$$J = \sum_{l=1}^{k} \sum_{x_j \in C_l} \left\| x_j - C_l \right\|^2 \quad (5)$$

Donde k representa el número de grupos, j el j-ésimo elemento y C el l-ésimo centroide.

Para el cálculo del grado de membresía del conjunto de datos se utilizó la Ecuación 6, tomando como universo del discurso las variables del conjunto de datos a evaluar.

$$\mu_{x_i} = \text{Gauss}(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - c}{\sigma}\right)} \quad (6)$$

donde x_i representa las variables de entrada, c representa la media del conjunto de datos y σ representa la desviación estándar del conjunto difuso.

Tomando en cuenta la membresía de cada elemento a los diferentes centroides, se asigna al que tenga mayor grado de membresía. Una vez que se han asignado todos los elementos a un grupo, se recalcula el centroide de cada grupo. Dicha actualización se lleva a cabo obteniendo la media de todos los elementos asignados a determinado grupo, lo cual contribuye a la reducción de cálculos en la fase de recalculo de centroides, en comparación con el algoritmo FCM que requiere el uso de la Ecuación 3.

El algoritmo se repite iterativamente hasta cumplir con la condición de paro, la cual puede ser un número máximo de iteraciones o un umbral en los grados de membresía entre una iteración y otra, como se muestra en la Ecuación 4. El Algoritmo 2 representa la propuesta de mejora.

Algoritmo 2 Propuesta de mejora del algoritmo Fuzzy c-Means

Entrada: Datos, número de centroides c, constante difusa m, *valor del umbral* ε.
Salida: Centroides c_j, resultados del agrupamiento $\boldsymbol{G} = \{G_1, G_1, G_1\}$.

Paso 1. Inicialización de los centroides de manera aleatoria, se establecen los valores de c, m y ε.
Paso 2. Cálculo del grado de membresía con una función de membresía de distribución gaussiana mediante la Ecuación 6, se asignan los elementos al centroide que obtenga un mayor número de grado de membresía se obtiene $\boldsymbol{G} = \{G_1, G_1, G_1\}$
Paso 3. Actualizar los centroides, inspirándose en el funcionamiento del algoritmo K-Means, donde se obtiene la media de todos los elementos asignados a determinado grupo.
Paso 4. Se valida la condición de paro, tomando en cuenta la diferencia entre el grado de membresía y el grado de membresía anterior $||\mu_{ij}^{k+1} - \mu_{ij}^{k}|| < \varepsilon$, en caso de que la diferencia sea mayor que ε el algoritmo se detiene, en caso contrario $k = k + 1$ y se repite a partir del Paso 2.

Ejemplo motivacional

Con la finalidad de mostrar el comportamiento de los algoritmos FCM y la mejora (denotada en adelante por "Mejora"), se hicieron pruebas con una pequeña instancia sintética de 25 objetos distribuidos de manera uniforme a la cual se le generaron 3 centroides pseudoaleatorios. Para este ejemplo se midió la calidad del agrupamiento mediante la Ecuación 5 para ambos algoritmos, también se consideró medir el tiempo que demoró en ejecutarse cada uno de los algoritmos, el algoritmo fue detenido al cumplir con un umbral entre los grados de membresía de ε =0.1.

Figura 1 se observa el comportamiento de los algoritmos FCM y el comportamiento de la Mejora, en ambos casos se observa la asignación de grupos por iteración, mostrando en cada iteración el valor de la calidad del

ISSN: 2007 8102

agrupamiento denotado por J que corresponde al error medio cuadrado, donde se observa que la propuesta de mejora muestra un agrupamiento similar al obtenido por medio del algoritmo FCM, no obstante, la Mejora requiere una menor cantidad de cálculos para su funcionamiento.

El desempeño del algoritmo se puede observar en la *Tabla 1*, la columna $\tau\%$ representa el porcentaje de la reducción del tiempo de la Mejora con respecto a FCM donde se observa una diferencia del 8.57%. La columna $E\%$ representa la diferencia en la calidad del agrupamiento y se observó una disminución del 1.51% en comparación con la versión estándar. Los valores de $\tau\%$ y $E\%$ fueron obtenidos mediante las Ecuaciones 7 y 8, respectivamente.

$$\tau\% = \frac{(T_c - T_g)x100}{T_c} \tag{7}$$

Donde T_c denota el tiempo promedio en ejecutarse el algoritmo FCM y T_g el tiempo promedio en ejecutarse el algoritmo Fuzzy G-Mean.

$$E\% = \frac{(E_c - E_g)x100}{E_g} \tag{8}$$

Donde E_c denota la media del error al cuadrado del algoritmo FCM y E_g el error medio cuadrado de la Mejora.

Tabla 1 Desempeño de los algoritmos FCM y la Mejora, al agrupar una instancia de 25 objetos distribuidos uniformemente en tres grupos.

Tiempo (s)			Error medio al cuadrado		
FCM	Mejora	τ %	FCM	Mejora	E %
0.0068	0.0063	8.5708	33.4735	33.9793	1.5112

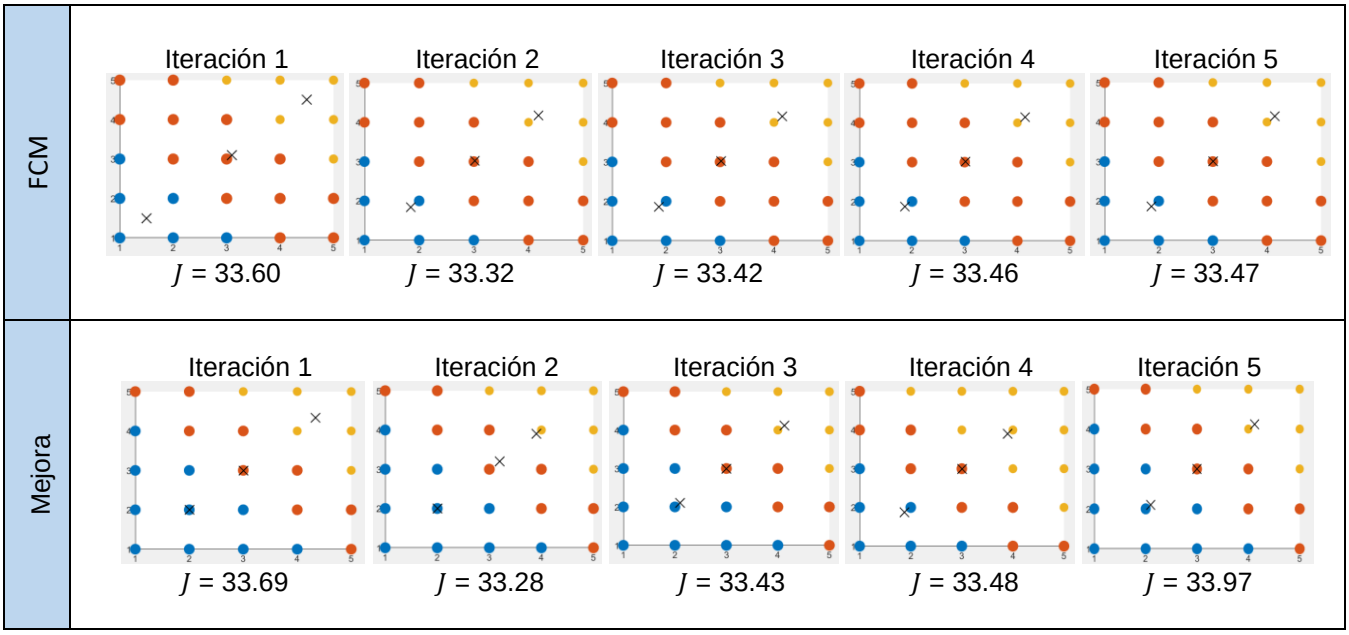


Figura 1 Ejemplo Motivacional, tomando de referencia el comportamiento del algoritmo FCM y la Mejora, donde se muestra un agrupamiento similar en cada iteración entre ambos algoritmos y el valor del error obtenido por cada iteración.

ISSN: 2007 8102

Experimentación y Resultados

La implementación se realizó en MATLAB R2022b, usando una computadora con un procesador Intel CORE i9 de 3.42 GHz, con 64 GB de RAM y con un sistema operativo Windows 11 Pro. Se realizaron experimentos con los algoritmos FCM y la Mejora. Se utilizaron tres instancias, las primeras dos son instancias sintéticas con datos uniformemente distribuidos en dos dimensiones con 2500 y 40000 objetos y la tercera es un dataset real denominado *The concrete compressive strength,* con 1030 objetos en 8 dimensiones extraído de *UCI Machine Learning* [18]. Para las tres instancias se le generaron 100, 200 y 400 grupos. Para medir el desempeño de los algoritmos se calculó la sumatoria de las distancias al cuadrado (Ecuación 5) y también se midió el tiempo de ejecución de cada prueba. Para las pruebas realizadas se tomó en cuenta como criterio de paro un umbral entre los grados de membresía ε = 0.01.

Las columnas tres y cuatro de la Tabla 2 y Tabla 3 están divididas en tres subcolumnas donde se muestran los resultados del algoritmo FCM y la Mejora; la subcolumna $\tau\%$ corresponde a la reducción del tiempo (expresado en segundos) respecto a FCM (Ecuación 7). La subcolumna $E\%$ corresponde al porcentaje de la reducción en la calidad calculada por el error medio cuadrado (Ecuación 8). Los resultados presentados corresponden al promedio de 30 ejecuciones. Los resultados muestran que la Mejora reduce el tiempo de ejecución en el mayor de los casos hasta un 78.39% y además en el caso de la instancia de 40000 objetos al generarle 200 centroides la calidad tuvo una ligera reducción de 7.78%, para el caso de las instancias sintéticas. En el caso de la instancia real la mayor reducción de tiempo obtenida fue de 72.20 %, mientras que en calidad del agrupamiento se obtuvo una reducción del 4.33% respecto a FCM.

Tabla 2 Comparación de los resultados al evaluar el algoritmo FCM y la Mejora con instancias sintéticas de 2500 y 40000 objetos, donde se resaltan los valores más significativos.

Dataset	Número de Grupos	*Tiempo (s)*			Error medio al cuadrado		
		FCM	Mejora	*τ*%	FCM	Mejora	*E*%
2500	100	44.37	46.68	-4.94	10951.01	10952.21	0.01
	200	433.96	406.96	6.63	5674.59	5785.70	1.96
	400	1349.19	756.32	**78.39**	3661.70	3646.39	-0.42
40000	100	841.24	844.32	-0.36	2808510.46	2848619.36	1.43
	200	4783.46	3865.25	23.76	1414684.95	1524785.64	**7.78**
	400	25941.60	15856.38	63.60	729378.91	739705.87	1.42

Tabla 3 Comparación de los resultados al evaluar el algoritmo FCM y la Mejora con el dataset Concrete con 1030 objetos, donde se resaltan los valores más significativos.

Instancia	Número de Grupos	*Tiempo (s)*			Error medio al cuadrado		
		FCM	Mejora	τ %	FCM	Mejora	*J*%
Concret	100	10.30	9.98	3.25	83281.61	83363.22	0.10
	200	54.95	25.36	56.53	71978.32	73593.90	2.24
	400	143.70	52.98	**72.20**	57293.81	59775.39	**4.33**

ISSN: 2007 8102

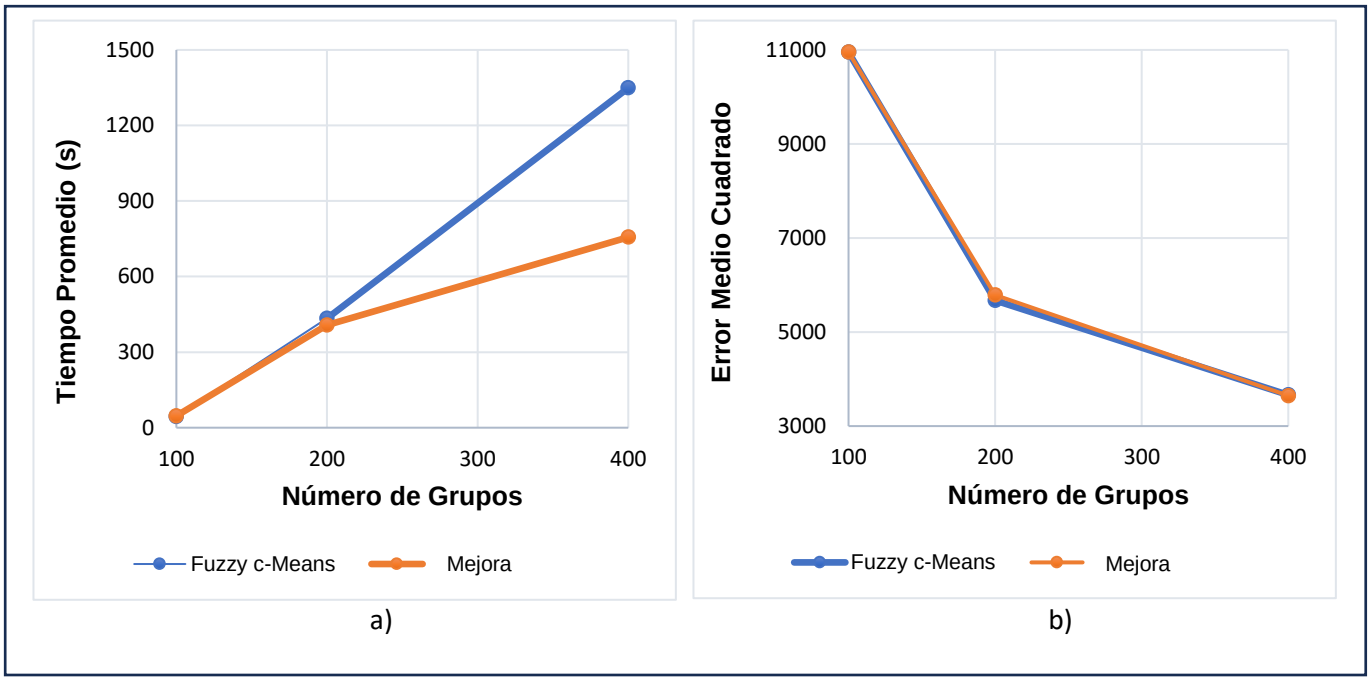


Figura 2 Comparación de los resultados obtenidos de los algoritmos FCM y la mejora para la instancia sintética de 2500 objetos, con respecto a: a) tiempo promedio que demoró en ejecutarse el algoritmo y b) la calidad del agrupamiento.

El tiempo y la medición del error (calidad del agrupamiento) se muestran gráficamente en las Figuras 2, 3 y 4 donde se aprecian los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a las instancias de 2500, 40000 y 1030 objetos, respectivamente. En cuestión del tiempo se observa que la Mejora muestra una reducción considerable a diferencia de FCM. En cuanto a la calidad del agrupamiento, para las tres instancias se observa una diferencia pequeña en comparación con el algoritmo FCM.

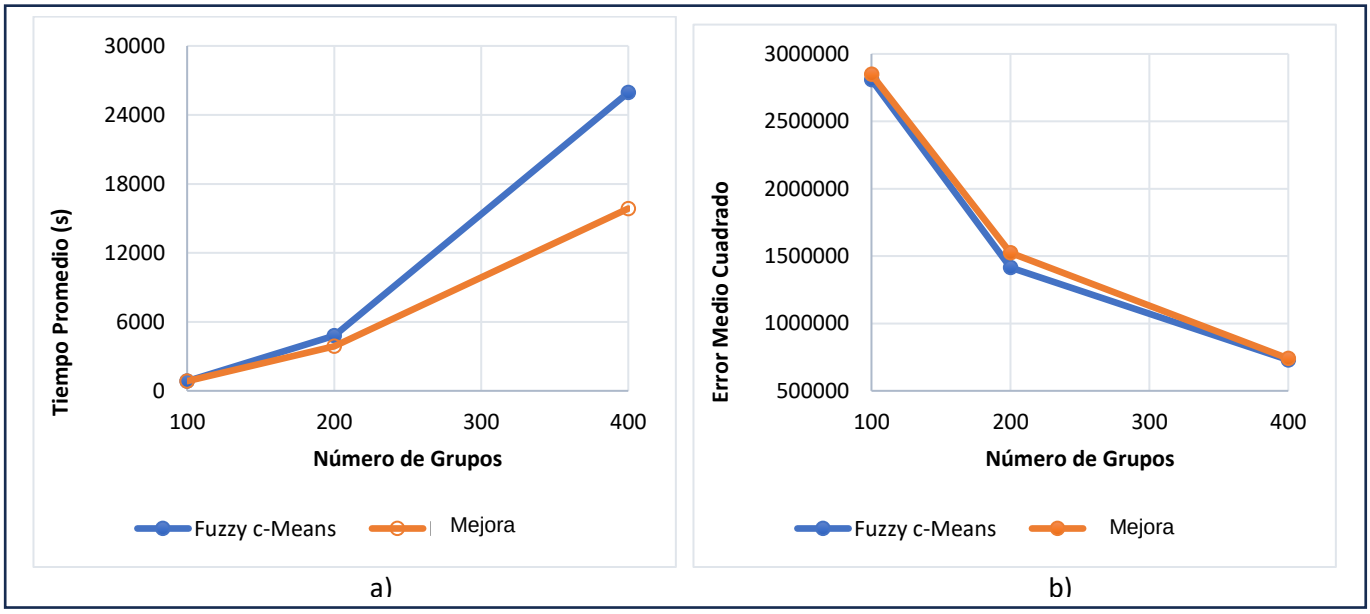


Figura 3 Comparación de los resultados obtenidos de los algoritmos FCM y la mejora para la instancia sintética de 40000 objetos, con respecto a: a) tiempo promedio que demoró en ejecutarse el algoritmo y b) la calidad del agrupamiento.

 ISSN: 2007 8102

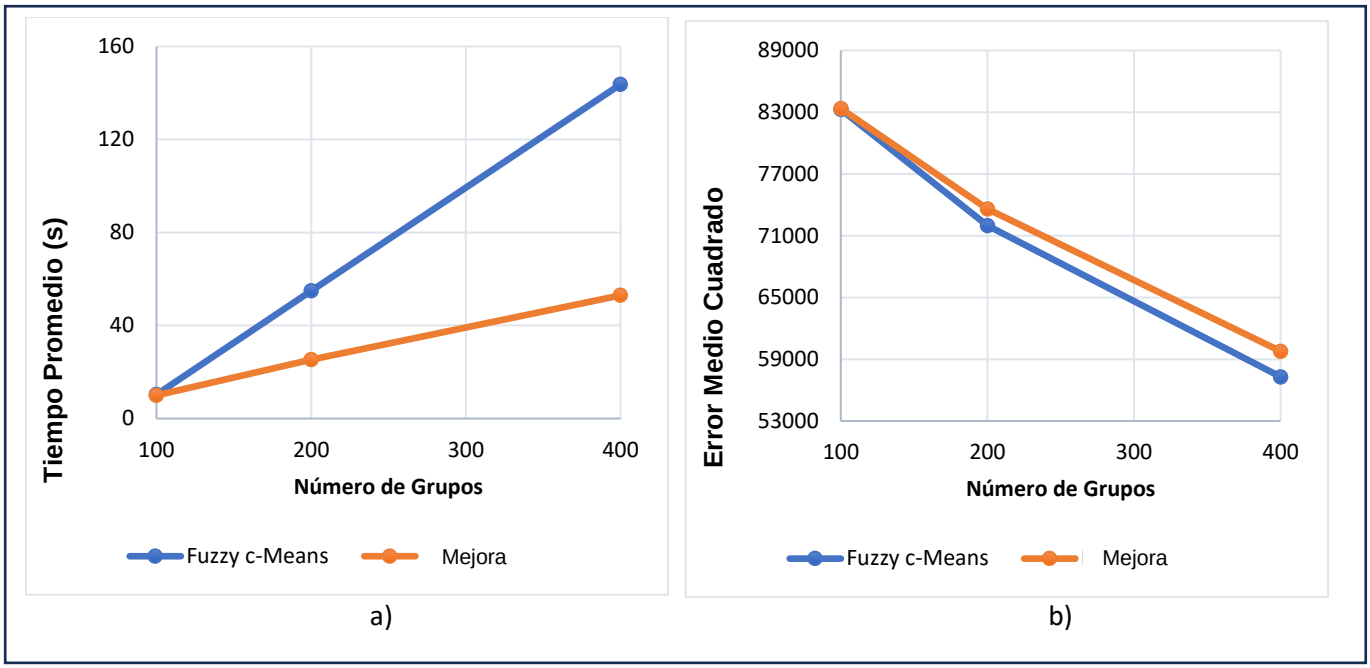


Figura 4 Comparación de los resultados obtenidos de los algoritmos Fuzzy c-Means y la mejora para la instancia real de 1030 objetos, con respecto a: a) tiempo promedio que demoró en ejecutarse el algoritmo y b) la calidad del agrupamiento.

Conclusiones

En este trabajo se muestra una propuesta de mejora para un algoritmo de agrupamiento difuso (FCM), donde lo que se busca es reducir el costo computacional requerido para su ejecución, empelando una función de membresía de distribución gaussiana, buscando con ello la reducción del costo computacional, sin afectar significativamente la calidad el agrupamiento, además la actualización de los centroides se realizó obteniendo la medio de los objetos de cada grupo lo cual también contribuyó a la reducción de tiempo del algoritmo. Al realizar distintas pruebas se pudo observar que el tiempo requerido para su ejecución llego a ser hasta un 78.39% menor comparado a FCM e incluso en la calidad del agrupamiento se obtuvo una ligera reducción en la calidad del agrupamiento de hasta un 7.78%. Como trabajo futuro se pretende la implementación de las funciones de membresía triangular, trapezoidal y de la campana, con el propósito de encontrar la función con la que se obtenga mejores resultados.

Referencias

[1] H. Verma, D. Verma y P. Kumar, “A population based hybrid FCM-PSO algorithm for clustering analysis and segmentation of brain image,” Expert Systems with Applications, vol. 167, 2021, https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114121.

[2] A. Mexicano, R. Rodriguez, S. Cervantes, P. Montes, M. Jiménez, N. Almanza y A. Abrego, “The early stop heuristic: A new convergence criterion for K-means,” AIP Conference Proceedings 1738, 310003; 2016, Rodas, Grecia. pp. 22-28, 2015, doi: 10.1063/1.4952103.

[3] Nisha y J. Puneet, “Cluster quality based performance evaluation of hierarchical clustering method,” 2015 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT), pp. 649-653, 2015, 10.1109/NGCT.2015.7375201.

[4] A. Mann y N. Kaur, “Review Paper on Clustering Techniques,” Global Journal of Computer Science and Technology Software & Data Engineering, vol. 13, pp. 1-7, 2013.

[5] Y. Yang, C. Qian, H. Li, J. Wu, C.-j. Liu y S. Zhao, “An efficient DBSCAN optimized by arithmetic optimization algorithm with opposition-based learning,” The Journal of Supercomputing, vol. 78, pp. 19566–19604, 2022, https://doi.org/10.1007/s11227-022-04634-w.

[6] J. Zhang y L. Shen, “An improved fuzzy c-means clustering algorithm based on shadowed sets and PSO,” Computational Intelligence and Neuroscience, vol. 2014, 2014, https://doi.org/10.1155/2014/368628.

ISSN: 2007 8102

[7] A. Baykasoglu, I. Golcuk y F. Burcin, “Improving fuzzy c-means clustering via quantum-enhanced weighted superposition attraction algorithm,” Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, vol. 48, pp. 859-882, 2019.
[8] S. Emaddedin, F. Gholian y M. Hajiaghaei, “A fuzzy C-means algorithm for optimizing data clustering,” Expert Systems with Applications, vol. 227, 2023, https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120377
[9] M. Mohammdian khoshnoud, A. R. Soltanian, A. Dehghan y M. Farhadian, “Optimization of fuzzy c-means (FCM) clustering in cytology image segmentation using the gray wolf algorithm,” BMC Molecular and Cell Biology, vol. 23, no. 9, 2022, https://doi.org/10.1186/s12860-022-00408-7
[10] Y. Chen, S. Zhou, X. Zhang, D. Li y C. Fu, “Improved fuzzy c-Means clustering by varying the fuzzyness parameter”, Pattern Recognition Letters, vol. 157, pp. 60-66, 2022, https://doi.org/10.1016/j.patrec.2022.03.017 .
[11] X. Liu, T. Zhao y X. Xie, “Two-dimensional Gaussian hierarchical priority fuzzy modeling for interval-valued data,” Information Sciences, vol. 630, pp. 23-29, 2023, https://doi.org/10.1016/j.ins.2023.02.026.
[12] K. A. Ahmad, S. L. Abdullah, M. Othman y M. N. Bakar, “Inducction of membership functions and Fuzzy rules for harumanis classification,” Journal of Fundamental and Applied Sciences, vol. 10, no. 1S(2018), pp. 1202-1215, 2018, https://doi.org/10.4314/jfas.v10i1s.89
[13] J. Bezdek, Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, New York: Springer, 1981.
[14] L. Zadeh, “Fuzzy Sets,” Information and Control, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
[15] P. K. TImawari y A. Srivastava, “Zadeh extension principle: A note,” Annals of Fuzzy Mathematics and Informatics, vol. 9, no. 1, pp. 37-41, 2014.
[16] J. Nayak, B. Naik y H. Behera, “Fuzzy C-Means (FCM) Clustering Algorithm: A Decade Review from 2000 to 2014,” Computational Intelligence in Data Mining, vol. 32, pp. 133-149, 2014.
[17] M. Huang, Z. Xia, H. Wang, Q. Zeng y Q. Wang, “The range of the value for the fuzzifier of the fuzzy c-means algorithm,” Pattern Recognition Letters, vol. 33, pp. 2280-2284, 2012.
[18] C. Merz, P. Murphy y D. Aha, UCI Repository of Machine Learning Databases. Departament of Information anda computer Science, University of California, https://archive.ics.uci.edu/datasets, último acceso: julio 2023.

ISSN: 2007 8102

Estado actual de la Ingeniería de Software Orientada a Asuntos

Aline M. Hernández-Fajardo[1], Karen Cortés-Verdín[2], Ulises Juárez-Martínez[3], Ángeles Arenas Valdés[4]
[1,2,4]Facultad de Estadística e Informática, Universidad Veracruzana, Av. Xalapa esq. Ávila Camacho s/n, C.P. 91020, Xalapa, Veracruz, México. alinemhdez@gmail.com, kcortes@uv.mx, aarenas@uv,mx
[3]División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba, Tecnológico Nacional de México, Oriente 9, Emiliano Zapata Sur, C.P. 94320, Orizaba, Veracruz, México. ulises.jm@orizaba.tecnm.mx

***Área de participación**: Sistemas Computacionales*

Resumen

El principio de separación de asuntos o intereses permite abordar el desarrollo de software de manera sistemática y gradual, permitiendo obtener software resistente al cambio. A pesar de estas ventajas, actualmente no se reporta un formalismo para representar asuntos como entidades de primera clase¸ mucho menos un proceso de desarrollo orientado a asuntos o intereses. A partir de una revisión sistemática de la literatura en el tema de Ingeniería de Software Orientada a Asuntos o Intereses, se desarrolla una síntesis temática. El objetivo es analizar este tema a fin de identificar los grandes subtemas que lo conforman, así como posibles áreas de investigación. Este estudio revela la falta de un enfoque unificado para el desarrollo de software orientado a intereses. Se presentan propuestas y áreas de investigación para el futuro desarrollo de tecnología, métodos y modelos para el desarrollo de software orientado a asuntos o intereses.

***Palabras clave**: ingeniería de software, asunto, interés, síntesis*

Abstract

The separation of concerns principle allows a systematic and step-wise approach for software development which, in turn, supports obtaining software that is easy to change. Despite such advantages, at the present time a formalism that permits the representation of concerns as first-class entities has not been reported; even less a concern oriented software development process. Having performed a systematic literature review about Concern Oriented Software Engineering, a thematic synthesis has been developed. The objective was to analyze such a topic and identify its main themes, as well as probable research areas. Our study uncovers the lack of a unified concern-oriented process for software development. It presents proposals and research areas for the future development of technology, methods, and models for concern-oriented software development.

***Key words**: software engineering, concern, synthesis*

Introducción

El principio de separación de intereses o asuntos es un principio de diseño básico en el desarrollo de software. La adecuada separación de intereses contribuye a la calidad del software. Siendo el software un elemento importante en los sistemas computacionales, es de interés conocer el estado actual en esta área. Así, la contribución de este trabajo se centra en la identificación de áreas en las que se puede realizar investigación dentro de Ingeniería de Software Orientada a Asuntos o Intereses, puesto que, hasta el momento, no se ha reportado un método o proceso al respecto, mucho menos un formalismo para modelar asuntos.

IEEE define a los intereses o asuntos como “aquellos que pertenecen al desarrollo del sistema, el funcionamiento o cualquier aspecto crítico o importante para uno o más *stakeholders”* [1]. El software debería ser fácil de extender, modificar y personalizar, para ello es necesario diseñar y mantener los modelos apropiados [2]. Es esencial que cada interés se considere como una unidad de primera clase, de manera que pueda ser representado de forma

ISSN: 2007 8102

completa e independiente, facilitando así la integración y reutilización del software. El principio de la separación de intereses o asuntos permite la descomposición de software en partes pequeñas, manejables y comprensibles [3]. Para lograr una adecuada separación de asuntos o intereses, resulta fundamental disponer de métodos, modelos y herramientas orientados a dichos intereses. Aunque la separación de asuntos o intereses es un principio crucial para la calidad de un producto de software, en la práctica, muchos de los artefactos producidos no los abarcan de manera completa.

Se define la tiranía de la descomposición dominante como una forma para descomponer el software, que impone una estructura en el software haciendo difícil o imposible encapsular otros asuntos o intereses. Esta da como resultado la separación deficiente de asuntos o intereses y que el software que se desarrolla sea quebradizo, con una integración complicada y una baja reutilización [3]. En el desarrollo de software se requiere tratar con diferentes tipos de asuntos o intereses, como pueden ser los intereses de datos y las reglas de negocios. Desde hace tiempo se emplea el paradigma orientado a objetos para el desarrollo de software. Este paradigma, sólo permite encapsular los intereses de datos por lo que otro tipo de intereses no pueden representarse [3]. Esto da como resultado que los intereses se dispersen, dificultando el mantenimiento. Se dice, entonces, que el software es quebradizo o frágil. Es así que se propone la separación multidimensional de intereses para remodelar el software en evolución (MDSOC, por sus siglas en inglés), que busca descomponer el software en pequeñas partes, encapsula todos los tipos relevantes de intereses y tiene una alta capacidad de composición [4]. Se realizó una investigación acerca de métodos, modelos y herramientas orientadas a asuntos o intereses mediante una revisión sistemática de la literatura [5]. Como resultado de dicho trabajo, se confirmó la falta de un estudio que recopilara y clasificara las propuestas existentes de la Ingeniería de Software Orientada a Asuntos o Intereses (COSE en inglés). Es así que en este documento se presentan los principales hallazgos a partir de dicha revisión sistemática mediante una síntesis temática [6], identificando el estado actual de la investigación acerca de la ingeniería de software orientada a asuntos o intereses, incluyendo posibles líneas de investigación.

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera: En la sección de metodología, se resume la primera etapa que consistió en una revisión sistemática de la literatura; seguido de la segunda etapa que consistió en la síntesis temática, conforme a [6]. A continuación, se presentan y discuten los resultados obtenidos a partir de la revisión y del mapa de orden superior de la síntesis. En el apartado de trabajo futuro, se exponen las áreas de oportunidad identificadas en el desarrollo orientado a intereses o asuntos. Finalmente, en las conclusiones se resume lo que se logró encontrar en el área de intereses a través de este trabajo.

Metodología

Como ya se mencionó, el origen del presente trabajo es una revisión sistemática de la literatura con el objetivo de conocer el estado del arte de la Ingeniería de Software Orientada a Intereses o Asuntos [5]. Originalmente, dicha revisión incluyó una síntesis narrativa [5]. Con el fin de analizar con mayor detalle los resultados de dicha síntesis, se realizó una síntesis temática. Una síntesis temática tiene el fin de “identificar, evaluar y sintetizar estudios relevantes de un tema en particular” [6]. Este método se basa en la idea de hacer un todo a partir de las partes proporcionadas para construir nuevos conceptos e interpretaciones de orden superior, argumentos o teorías nuevas o mejoradas. Se decidió realizar la síntesis temática para identificar y clasificar los resultados de la revisión sistemática y así facilitar la propuesta de posibles líneas de investigación en el área de la ingeniería de software orientada a intereses o asuntos. Como principal resultado de la síntesis temática se obtuvo un mapa de orden superior, a partir del cual se presentan las posibles líneas de investigación en ingeniería de software orientada a intereses o asuntos. A continuación, se describen las dos etapas o fases de este trabajo.

Revisión sistemática de la literatura

Se realizó una revisión sistemática de la literatura con el objetivo de recopilar todos los trabajos existentes en la ingeniería de software orientada a asuntos o intereses. Para la realización de la revisión sistemática de la literatura se siguió el método propuesto por Kitchenham & Charters [7], empleando, además una síntesis narrativa [5]. Para mayor detalle en cuanto al proceso de la revisión sistemática y sus resultados, referirse a [5].
Se definieron las preguntas de investigación para esta revisión sistemática, las cuales se listan a continuación.
PI1. ¿Qué es un interés (asunto)?
PI2. ¿Cómo se hace uso de los asuntos en la etapa de gestión de proyectos?
PI3. ¿Cómo se manejan los asuntos en la etapa de requerimientos?
PI4. ¿Cómo se modela la arquitectura orientada a asuntos?
PI5. ¿Cómo se ve reflejado el modelado de asuntos en la etapa de diseño de software?
PI6. ¿Cómo se manejan los asuntos en la etapa de implementación de software?
PI7. ¿Cuál es la forma de probar asuntos en la etapa de pruebas de software?

ISSN: 2007 8102

PI8. ¿Cómo se verifican los asuntos en la etapa de verificación de software?
PI9. ¿Cómo se validan los asuntos en la etapa de validación de software?

Se realizó una búsqueda automatizada en las siguientes bibliotecas digitales; Springer Link, Science Direct Elsevier, ACM Digital Library, IEEEXplore. Se escogieron estas bibliotecas ya que son las más especializadas en el área de ingeniería de software. Como resultado de la búsqueda, se obtuvieron un total de 277 estudios primarios. Sin embargo, aplicando los criterios de inclusión y exclusión solo 14 estudios primarios cumplieron dichos criterios. La revisión sistemática se realizó en el periodo Febrero – Julio 2020 por lo cual los estudios encontrados datan del año 1996 hasta el año 2015. En la Tabla 1, se muestran los estudios primarios seleccionados.

Tabla 1. Estudios primarios seleccionados

ID	Referencia
EP1	Schöttle, M., Alam, O., Garcia, F., Mussbacher, G., & Kienzle, J. (2014). TouchRAM: a multitouch-enabled software design tool supporting concern-oriented reuse. In Proceedings of the companion publication of the 13th international conference on Modularity (MODULARITY '14). New York, USA, 25–28.
EP2	Sutton, S. and Rouvellou, I. (2002). Modeling of software concerns in Cosmos. In Proceedings of the 1st international conference on Aspect-oriented software development (AOSD '02). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 127–133.
EP3	Harrison, W., Ossher, H., Sutton, S. and Tarr, P. (2005). Concern modeling in the concern manipulation environment. In Proceedings of the 2005 workshop on Modeling and analysis of concerns in software (MACS '05). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–5.
EP4	Harrison, W., Ossher, H., Sutton, S. and Tarr, P. (2005). Concern modeling in the concern manipulation environment. In Proceedings of the 2005 workshop on Modeling and analysis of concerns in software (MACS '05). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–5.
EP5	Tekinerdogan, B., Hofmann, C. and Aksit, M. (2007). Modeling traceability of concerns in architectural views. In Proceedings of the 10th international workshop on Aspect-oriented modeling (AOM '07). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 49–56.
EP6	Ossher, H. (2007). Fundamentals of concern manipulation. In Proceedings of the 6th workshop on Foundations of aspect-oriented languages (FOAL '07). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–4.
EP7	Tekinerdogan, B., Scholten, F., Hofmann, C. and Aksit, M. (2009). Concern-oriented analysis and refactoring of software architectures using dependency structure matrices. In Proceedings of the 15th workshop on Early aspects (EA '09). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 13–18.
EP8	Link D., Behnamghader P., Moazeni, R. and Boehm, B. (2019). Recover and RELAX: concern-oriented software architecture recovery for systems development and maintenance. In Proceedings of the International Conference on Software and System Processes (ICSSP '19). IEEE Press, 64–73.
EP9	Noorwali, I. (2018). Stakeholder Concern-Driven Requirements Analytics. SIGSOFT Softw. Eng. Notes 43, 1 (January 2018), 1–6.
EP10	Dagenais, B. and Ossher, H. (2006). Guidance through active concerns. In Proceedings of the 2006 OOPSLA workshop on eclipse technology eXchange (eclipse '06). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 60–64.
EP11	Bogdan, C. (2008). "Concern-Oriented and Ontology-Based Design Approach of Software Architectures". 10th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing, Timisoara, 2008, pp. 249-252.
EP12	Takoshima, A. and Aoyama, M. (2018). "A Design Method for Domain-Specific Models of Software Requirements Specification Based on Stakeholders' Concerns," 2018 25th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC), Nara, Japan, pp. 542-550.

 ISSN: 2007 8102

EP13 Zhang, L., Zhao, K., Jia, Z. and Ni, Y Z.. (2013). “Modeling Concern of Online Auction System with SA-CDL,” 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing, Beijing, pp. 2063-2066.

EP14 Robillard, M. and Murphy, G. (2005). Just-in-time concern modeling. In Proceedings of the 2005 workshop on Modeling and analysis of concerns in software (MACS ’05). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–3.

Síntesis temática

Posterior a la revisión sistemática de la literatura, se procedió a realizar la síntesis temática. El proceso de este tipo de síntesis puede observarse en la Figura 1.

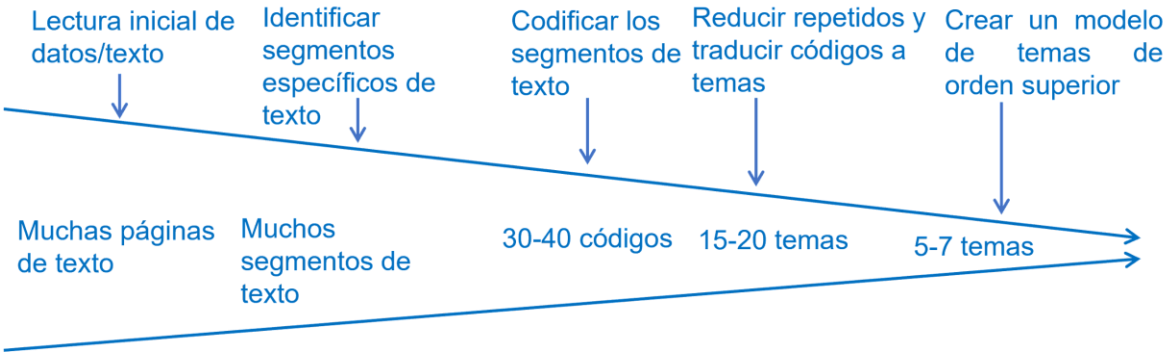


Figura 1. Proceso de la síntesis temática tomada de Cruzes y Dybå [6]

Conforme al proceso mostrado, primero se realizó la lectura inicial de los estudios resultantes de la revisión sistemática de la literatura para familiarizarse con los estudios primarios encontrados, así como para identificar los subtemas principales y de mayor importancia. Posteriormente se identificaron segmentos específicos del texto, que son los hallazgos ya sea porque responden a una pregunta de investigación o porque aportan al tema de interés, por ejemplo, la definición de interés y la importancia del interés como entidad de primera clase. Después, se codifican los segmentos específicos ya identificados de cada artículo, es decir, se agrupan los segmentos que comparten un tema, subtema o características; por ejemplo, en el tema de interés están los códigos de la definición de interés y la importancia de los intereses. Para la asignación de códigos se siguió el enfoque integrado según [6], el cual consiste en crear una lista con códigos iniciales de acuerdo a las preguntas de investigación. Posteriormente se crea la lista de códigos finales agregando los códigos necesarios una vez se codifiquen todos los segmentos. En el proceso resultaron más códigos que los que se tenían en la lista inicial y estos códigos se fueron agregando para dar como resultado la lista final que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Lista de códigos finales.

Pregunta de investigación relacionada	Código
PI1	Definición de interés
PI1	Importancia de los intereses
PI1	Importancia de la entidad de primera clase
PI1	Deficiencias en la separación de intereses
PI1	Ventajas de la separación de intereses
PI1	Relaciones entre intereses
PI2, PI3, PI4, PI6	Modelado de intereses
PI2, PI3, PI4, PI6	Restricciones de los intereses
PI2, PI3, PI4, PI6	Objetivo del modelado de intereses
PI4	Patrones para identificar intereses
PI4	Modelado de intereses en arquitectura
PI5	Modelado de intereses en diseño
PI6	Modelado de intereses en la implementación

 ISSN: 2007 8102

PI2, PI3, PI4, PI5, PI6	Restricciones de la herramienta
PI2, PI3, PI4, PI5, PI6	Característica del método o herramienta
PI2, PI3, PI4, PI5, PI6	Herramienta para el modelado de intereses
PI3,PI4,PI6	Categorías de los intereses en la herramienta
PI2, PI3, PI4, PI5, PI6	Enfoque de la herramienta

Posteriormente, los códigos se agruparon y tradujeron a temas. Por ejemplo, aquellos relacionados con métodos, como la característica del método, fueron clasificados junto a los métodos utilizados para el modelado de intereses en diseño, dentro de un mismo tema. Los temas de orden superior reúnen el material encontrado en unidades significativas; es una forma de agrupar los códigos iniciales en un conjunto menor. Por último, se crea un modelo de orden superior, es decir que a partir de los temas obtenidos se crean temas de orden superior y las relaciones entre ellos. Este modelo o mapa de orden superior se muestra en la siguiente sección.

Resultados y discusión

Como resultado de la síntesis temática se obtuvo la lista de códigos finales que se muestra en la Tabla 2, que son los códigos agrupados en temas encontrados en los estudios primarios. A partir de esta lista, se crea el mapa de orden superior, que es el principal resultado de la síntesis temática. Este mapa se muestra en la Figura 2.

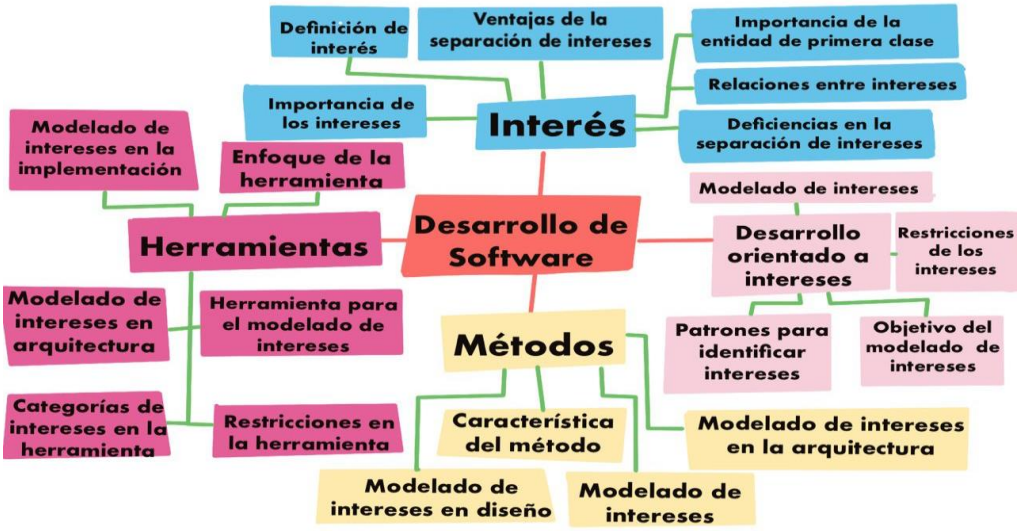


Figura 2. Mapa de orden superior

El mapa se encuentra organizado por temas uno de ellos “Interés”. En este tema se destaca la importancia de definir '*concern*', dado que existen múltiples interpretaciones de este término según distintos autores. En el proceso, se identificaron cuatro hallazgos referentes a su definición, cada autor define *concern* de acuerdo con su perspectiva, un ejemplo de ello son los autores de [8] que definen bajo la perspectiva de implementación de software. Acerca de la importancia de los asuntos o intereses, se tienen tres estudios primarios que reconocen la importancia de que los asuntos sean la entidad de primera clase. Sutton & Rouvellou [9] mencionan que los requisitos funcionales y no funcionales buscan cubrir asuntos, por ello los asuntos o intereses deben ser una entidad de primera clase. Tekinerdogan et al. [10] hablan acerca de la importancia de los intereses o asuntos en la arquitectura de software, ellos afirman que un interés se define implícitamente en los escenarios de la arquitectura y no se representa. explícitamente como abstracciones de primera clase en los enfoques de análisis. Por último, Shaw & Garlan en [11] dicen que, al examinar los proyectos de software, uno de los escenarios recurrentes es la falta de un modelo de intereses que sea fácil y que beneficie directamente al proyecto, lo que puede llevar al fracaso un proyecto de software. Respecto a las ventajas de modelar los intereses como entidades de primera clase, se localizaron dos hallazgos [12,13].

En el tema de desarrollo orientado a intereses o asuntos, en la etapa de gestión de proyectos se encontró solo un trabajo, que trata de un prototipo [14]. De un tablero para evaluar los intereses de los *stakeholders*; sin embargo, no se reporta un procedimiento bien definido para ocupar este prototipo, sino que de acuerdo con los intereses que se tienen se selecciona una métrica para el criterio del *stakeholder*. La etapa de diseño de software

ISSN: 2007 8102

es muy importante para el desarrollo, sin embargo, se encontraron solo un modelado y una técnica de modelado orientados a intereses o asuntos. El modelado RAM, este modelado integra los diagramas de clase, secuencia y estado. Sin embargo, no se menciona que este modelado se pueda complementar con alguna otra herramienta en otra etapa. El mayor número de métodos y modelos se encuentran en la fase de arquitectura, donde existen métodos para la recomposición de arquitecturas y métodos para la arquitectura del sistema. Se encuentra COSMOS [4], un esquema de modelado de espacios de intereses o asuntos, se menciona que COSMOS se puede complementar con Hyper/J [9]. CTM (Modelo de Trazabilidad de Intereses, por sus siglas en inglés) permite la trazabilidad de intereses dentro de vistas arquitectónicas, se dice que se puede utilizar para modelar los intereses, los elementos arquitectónicos y los vínculos de trazabilidad entre los elementos dentro y a través de las vistas arquitectónicas [10]. También se encontró COSAAM [15] que es un método de análisis de arquitectura orientado a intereses o asuntos que se basa en escenarios y que incluye una noción explicita del análisis de asuntos o intereses. Otro de ellos es RELAX [16] que es un modelado para la recomposición de arquitectura, que se basa en código fuente para la recomposición.

Por último, se encontró una guía de técnicas para la recomposición de intereses en las arquitecturas desde el código de algún tercero [17]. Esta guía de recomposición se compone de 4 vistas, la vista del interés para representar los diferentes intereses en el espacio de trabajo, donde “un usuario puede crear diferentes tipos de intereses e interactuar con ellos agregando, eliminando o reestructurando referencias a elementos. En la fase de implementación se encontraron dos herramientas, en las dos se representan los intereses en clases de Java, siendo cada clase un interés. La primera de ellas es Hyper/J [9] que es una herramienta que se ha desarrollado en IBM TJ, para el modelado de intereses en el lenguaje de Java. Hyper/J admite un nuevo enfoque para construir, integrar y desarrollar software. La segunda es FEAT [8] una herramienta para localizar, describir y analizar intereses transversales en código fuente de Java. Estos resultados que se mencionaron son importantes ya que se puede notar la falta de propuestas en la etapa de pruebas, verificación y validación. Se puede notar un área de mejora en la mayoría de las propuestas es complementarse entre sí con las propuestas existentes en las diferentes etapas. Cabe destacar que no se encontraron notaciones específicas o formalismos en las etapas del desarrollo.

Trabajo a futuro

Como ya se mencionó, el principio de separación de intereses o asuntos es un principio básico en el desarrollo de software. Sin embargo, a partir de los resultados presentados se puede concluir que, a pesar de ello, no se reporta un proceso de desarrollo de software orientado a intereses. También se ha podido apreciar, que no se reporta una notación o formalismo que permita representar a los asuntos o intereses como entidades de primera clase lo cual explica también la falta de un proceso de desarrollo correspondiente. Es así, que se han podido identificar áreas de oportunidad para futuras investigaciones, mismas que se proponen en esta sección como trabajo futuro a partir de lo que aquí se ha presentado. Dicho trabajo futuro es el siguiente:

1. La definición y creación de notación específica y de formalismos para el modelado de intereses a lo largo del ciclo de vida.

2. COSMOS [4] parece ser una buena propuesta que permite considerar a los asuntos como entidades de primera clase. Sin embargo, no se reporta una herramienta que soporte su uso. Es así, que se propone el desarrollo de una herramienta para el modelado de intereses o asuntos utilizando COSMOS.

3. En los estudios analizados, se encontraron pocos casos reales en los que se haya empleado COSMOS para el modelado de asuntos o intereses, por lo que se propone continuar realizar casos de estudio empleándolo, para detectar posibles mejoras y definir sus alcances.

ISSN: 2007 8102

4. Integrar COSMOS y Hyper/J para evaluar resultados.

5. Proponer uno o más casos de estudio en los que se busque integrar los métodos encontrados para validar sus resultados y evaluar su aplicabilidad.

6. Investigar la aplicación de COSMOS en las distintas fases del desarrollo y aprovechar la herramienta Hyper/J para la implementación.

7. Recopilar y analizar los métodos para análisis y diseño orientados a aspectos encontrados y tratar de aprovecharlos en el área de asuntos o intereses.

8. Investigar métricas, estándares y buenas prácticas en el área de aspectos e intentar utilizarlas en el desarrollo orientado a intereses o asuntos.

9. La definición de métricas estandarizadas orientadas a intereses para el proceso de desarrollo.

Conclusiones

En este trabajo se presentaron los resultados de la síntesis temática en el tema de Ingeniería de Software Orientada a Asuntos o Intereses. A partir de los resultados presentados en la revisión sistemática de la literatura [5] y de acuerdo al método presentado en Cruzes & Dybå [18], se elaboró un mapa de orden superior que permitió identificar los grandes temas en esta área. A partir de esta síntesis, se puede concluir que:

1. No se reportan notaciones o formalismos para la representación de asuntos o intereses como entidades de primera clase.
2. Ante la falta de dicho formalismo, se dificulta la correcta consideración de asuntos o intereses en el desarrollo de software.
3. Se identificaron esfuerzos de métodos o modelos para separar y representar los intereses o asuntos en algunas etapas o artefactos del desarrollo de software orientado a intereses; sin embargo aún no se reporta un proceso de desarrollo orientado a asuntos o intereses.

De igual forma, se consiguió identificar 12 propuestas, entre las que se encuentran maneras de modelar, herramientas y métodos dentro del desarrollo de software orientado a intereses. Aunque no se encontró un único método o modelado que abarque todo el desarrollo de software, se identificaron varios métodos que pueden complementarse entre sí. Finalmente, se presentaron propuestas o líneas de investigación, las cuales constituyen el trabajo futuro que se deriva del presente. Es importante mencionar que, debido a que este trabajo fue finalizado en 2021, la principal amenaza a la validez consiste en que las publicaciones que puedan haber sido realizadas posteriormente a 2021 no pudieron ser consideradas.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Veracruzana y al Instituto Tecnológico de Orizaba por el apoyo para la realización de este trabajo.

Referencias

[1] Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1999). IEEE Software Engineering Standards Collection 1999 Edition.
[2] Ossher, H., & Tarr, P. (2001). Using multidimensional separation of concerns to (re) shapeevolving software. Communications of the ACM, 8.

ISSN: 2007 8102

[3] Collet, P., & Lahire, P. (2013). Feature Modeling and Separation of Concerns. 2013 3rd International Workshop on Comparing Requirements Modeling Approaches (pág.6). Río de Janeiro, Brasil: IEEE.
[4] Sutton, S. M., & Rouvellou, I. (2002). Modeling of software concerns in Cosmos. Proceedings of the 1st international conference on Aspect-oriented software development, (págs. 127-133).
[5] Fuente propia.
[6] Cruzes, D. and Dybå, T. “Synthesizing Evidence in Software Engineering Research” in ESEM '10: Proceedings of the 2010 ACM-IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement. Association for Computing Machinery, New York, NY, United States. 2010, pp.1-10.
[7] Kitchenham, B., & Charters, S. (2015). “Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering,” Department of Computer Science University of Durham, Durham, UK, Tech. Rep.
[8] Robillard, M. and Murphy, G. “Just-in-time concern modeling” in Proceedings of the 2005 workshop on Modeling and analysis of concerns in software (MACS ’05). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2005, pp. 1–3.
[9] Sutton, S. and Rouvellou, I. “Advanced Separation of Concerns for Component Evolution” in Workshop on Engineering Complex Object Oriented Systems for Evolution. Conf. on Object-Oriented Programming. Systems, Languages, and Appfications, Tampa, Florida, 2001.
[10] Tekinerdogan, B., Hofmann, C. and Aksit, M. “Modeling traceability of concerns in architectural views” in Proceedings of the 10th international workshop on Aspect-oriented modeling (AOM ’07). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2007, pp. 49–56.
[11] Shaw, M., Garlan, D. (1996). Software Architecture: Perspectives on a Emerging Discipline. Schöttle, M., Alam, O., Garcia, F., Mussbacher, G. & Kienzle, J. “TouchRAM: a multitouch-enabled software design tool supporting concern-oriented reuse” in Proceedings of the companion publication of the 13th international conference on Modularity (MODULARITY ’14). New York, USA, 2014, pp. 25–28.
[12] Ossher, H. “Fundamentals of concern manipulation” in Proceedings of the 6th workshop on Foundations of aspect-oriented languages (FOAL ’07). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2007, pp. 1–4.
[13] Ossher, H. and Tarr, P. “Hyper/J (TM): Multi-dimensional separation of concerns for Java (TM)” in Proceedings - International Conference on Software Engineering. 2001, pp.821 - 822.
[14] I. Noorwali, “Stakeholder Concern-Driven Requirements Analytics” SIGSOFT Softw. Eng. Notes, vol 43 1, pp. 1-6, January 2018.
[15] Tekinerdogan, B., Sözer, H. and Aksit, M. FLORA: A framework for decomposing software architecture to introduce local recovery. 2009
[16] Link, D., Behnamghader, P., Moazeni, R. and Boehm, B. “Recover and RELAX: concern- oriented software architecture recovery for systems development and maintenance” In Proceedings of the International Conference on Software and System Processes (ICSSP ’19). IEEE Press, 2019, pp. 64–73.
[17] Dagenais B. and Ossher, H. “Guidance through active concerns” in Proceedings of the 2006 OOPSLA workshop on eclipse technology eXchange (eclipse ’06). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2006, pp. 60–64.
[18] Cruzes, D. and Dybå, T. “Synthesizing Evidence in Software Engineering Research” in ESEM '10: Proceedings of the 2010 ACM-IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement. Association for Computing Machinery, New York, NY, United States. 2010, pp.1-10.

ISSN: 2007 8102

Simplificación evolutiva de Máquinas de Estado Finitas a partir de una cadena de entrada y salida (E-FSM)

Rodolfo Romero Herrera [1], Alvarado Flores José A.[2], Cervantes Hernández Diego I.[3], García Zacarías Ángel E.[4], Reveles Gonzáles Ángel A. [5]
rromeroh@ipn.mx[1], jalvaradof1700@alumno.ipn.mx[2],
dcervantesh2101tmp@alumnoguinda.mx[3],
agarciaz1703@alumno.ipn.mx[4], arevelesg1700@alumno.ipn.mx[5]

***Área de participación**: Sistemas computacionales*

Resumen

El presente trabajo muestra el desarrollo de un sistema computacional en el cual se usa la programación evolutiva para minimizar máquinas de estado finitas de modo que comportamientos más complejos puedan ser reducidos y se mantenga su optimización para seguir dando un buen desempeño en la situación en la que son aplicadas. El aumento de recursos computacionales en sistemas embebidos por parte de las aplicaciones provoca plataformas heterogéneas que buscan equilibrar la potencia de procesamiento con el consumo de energía. Cada sistema aumenta en complejidad por lo que resulta más difícil minimizar el embrollo que este provoca, por lo que la búsqueda de alternativa que simplifique y mantenga la optimización se convierte en un objetivo que este proyecto busco. Así la herramienta desarrollada simplifica maquinas de estado finitas empleando algoritmos genéticos, sin descuidad el desempeño. El sistema permite modificar diversos parámetros de manera simple mediante una interfaz y generar el diagrama grafico como salida. El sistema se programo en Java, pero al ser un algoritmo es factible emplear cualquier lenguaje. Lo que lo convierte en una propuesta general y novel de solución.

***Palabras clave**: Programación evolutiva, máquinas de estado finito, minimización*.

Abstract

The present work shows the development of a computational system in which evolutionary programming is used to minimize finite state machines so that more complex behaviors can be reduced and their optimization is maintained to continue giving good performance in the situation in which are applied. The increase in computational resources in embedded systems by applications causes heterogeneous platforms that seek to balance processing power with energy consumption. Each system increases in complexity, so it is more difficult to minimize the mess it causes, so the search for an alternative that simplifies and maintains the optimization becomes an objective that this project sought. Thus, the developed tool simplifies finite state machines using genetic algorithms, without neglecting performance. The system allows to modify various parameters in a simple way through an interface and generate the graphic diagram as output. The system was programmed in Java, but since it is an algorithm it is feasible to use any language. To become it a general and novel solution proposal.

***Key words**: Evolutionary programming, finite state machines, minimization.*

Introducción

Las Máquinas de Estados Finitos (FSM) son herramientas que permiten modelar y controlar procesos que evolucionan en etapas discretas [1]. La eficiente generación de una FSM a partir de una cadena de entrada y una cadena de salida se convierte en el desafío; ya que su configuración correcta tiene un impacto significativo en el rendimiento y la complejidad del sistema. El presente proyecto tiene el objetivo de desarrollar un método eficiente para generar una FSM. Además, se busca encontrar la configuración óptima del sistema, que permita obtener el FSM con la menor cantidad de estados y transiciones posibles.

La generación de una FSM implica encontrar un equilibrio entre la complejidad y el rendimiento del sistema. Una FSM con demasiados estados y transiciones resulta en una implementación costosa y difícil de mantener, mientras que una FSM con muy pocos estados y transiciones no es capaz de capturar adecuadamente la complejidad del sistema que se desea controlar [2]. Por lo tanto, se usaron algoritmos de búsqueda heurística y

programación evolutiva para encontrar soluciones eficientes en términos de la cantidad de estados y transiciones requeridas.
La Programación Evolutiva (PE) es una rama de la inteligencia artificial que se basa en algoritmos inspirados en la teoría de la evolución para resolver problemas complejos [3]. Este enfoque ha demostrado ser especialmente efectivo en la optimización y búsqueda de soluciones en diversos dominios. Estas técnicas permiten explorar el espacio de diseño de manera exhaustiva, evaluando diferentes configuraciones y seleccionando aquellas que mejor se adapten a los criterios de rendimiento y complejidad.
El presente trabajo se divide en cuatro secciones fundamentales. En trabajos relacionados se presentan las ideas de un conjunto de artículos conexos con el presente proyecto. Se habla brevemente de cada uno, dando a conocer los puntos más sobresalientes que han servido de apoyo. En metodología se presenta el procedimiento que se llevó a cabo para el desarrollo del proyecto, así como la aplicación de conceptos fundamentales. En resultados se realiza un análisis de las derivaciones obtenidas. Finalmente se concluye considerando los objetivos alcanzados y las perspectivas de desarrollo. Siendo el principal aporte el empleo de computación evolutiva para minimizar máquinas de estado finitas con el objetivo de simplificar comportamientos complejos, manteniendo la optimización.

Trabajos Relacionados

La programación genética es realmente una variante del algoritmo genético en la cual los individuos son representados mediante árboles (o programas de computadora), en vez de usar cadenas binarias, como en los Algoritmos Genéticos [4]; es un libro sobre investigación científica avanzada que, aunque presenta un análisis de datos no profundiza en la problemática de las máquinas de estado. Cada año, aumenta la demanda de recursos computacionales de las aplicaciones que se ejecutan en sistemas embebidos. Para satisfacer esta demanda, los diseños de estos sistemas han hecho uso de la combinación de diversos componentes, dando como resultado plataformas heterogéneas que buscan equilibrar la potencia de procesamiento con el consumo de energía [5]. Este artículo si bien aborda las máquinas de estado, no lo hace desde la perspectiva del cómputo evolutivo. Para resolver este tipo de problemas Golberd y Natalie presentan para tales dificultades, las máquinas de estados finitas que utilizan algoritmos genéticos (GA) que fueron diseñados para mejorar la convergencia del algoritmo para genomas de FSM [6]; es importante su enfoque práctico con resultados prometedores, por lo que se proponemos una alternativa que muestre una herramientas en la que se pueda experimentar cambios en población, y se puedan realizar mutaciones y obtener resultados alternativos.
La principal motivación de estas investigaciones radica en la reproducibilidad de los diferentes trabajos que se hacen en cuanto al tema de modelos económicos; pero dichos trabajos carecen de la información necesaria para reproducir los mismos resultados de los 17 experimentos que cada uno reporta en sus artículos. En el artículo [7] se presenta un método para máquinas de estado finito extendidas con relojes de valor real. El método de aprendizaje genera un modelo consistente con un conjunto de seguimientos cronometrados recopilados a través de pruebas. Se basa en la programación genética, una técnica basada en la búsqueda para la creación automática de programas. No se determinan métodos automáticos para configurar o adaptar en línea los parámetros de acuerdo con los escenarios de aprendizaje. En [8] se muestra que la programación genética se usa de manera efectiva para aprender la estructura de un árbol de comportamiento (BT) para resolver una tarea robótica en un entorno impredecible usado como alternativa a una FSM; aunque también es importe tener el código que permita adaptarlo a otras aplicaciones como la medicina.
Existen numerosas investigaciones y aplicaciones en algoritmos genéticos, y cada vez se exploran nuevas formas de utilizar algoritmos evolutivos para la optimización y simplificación de sistemas complejos como en [9]. Lo cual justifica en interés por tener herramientas que permitan experimentar en este campo. De igual forma otros tipos de enfoque, como lo es en la reducción de dimensionalidad de datos, la optimización de estructuras moleculares, diseño de circuitos electrónicos, diseño de redes neuronales y simplificación de modelos de aprendizaje automático [10]; permite ver con optimismo la ampliación de las aplicaciones posibles.

Metodología

Diseño

Los Algoritmos Genéticos enfatizan la importancia de la cruza sexual (operador principal) sobre el de la mutación (operador secundario) y usa selección probabilística. En el presente proyecto se aplica la metodología DOE (Diseño orientado a experimentos), la cual es una herramienta estadística que permite comprender y optimizar los procesos, maximizando la información obtenida a partir de los resultados de cada experimento. El algoritmo básico es el siguiente:

1. Generar (aleatoriamente) una población inicial.
2. Calcular la aptitud de cada individuo.
3. Seleccionar (probabilísticamente) con base a la aptitud.
4. Aplicar operadores genéticos (cruce y mutación) para generar la siguiente población.
5. Ciclar hasta que cierta condición se satisfaga.

Para desarrollar el proyecto se optó por utilizar Java, aunque esto no es fundamental, ya que es factible su desarrollo en cualquier lenguaje, siendo una de las características principales de los algoritmos genéticos, donde separamos en diferentes clases cada una de las etapas de la programación evolutiva, además de distintas clases que tienen una funcionalidad específica.

Implementación

Las clases más representativas utilizadas son:

1)Definición de FSM.

Para la construcción de las FSM se tiene una clase que define los elementos de la misma, la estructura como se ve en la Figura 1.

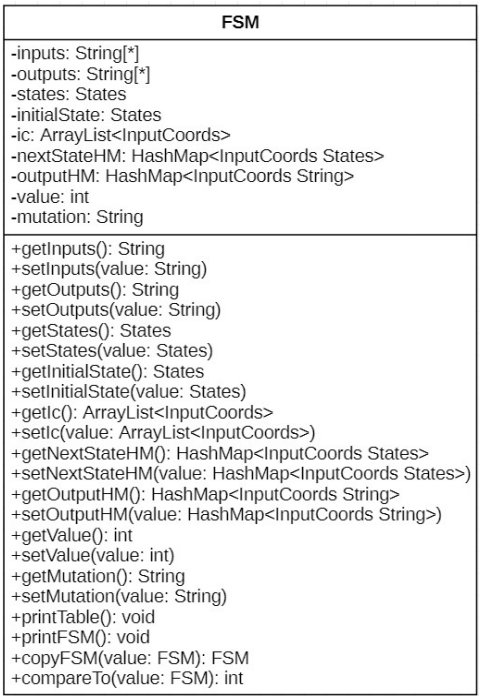


Figura 1. Estructura de la clase FSM

Donde tenemos también atributos definidos a través de otras clases que se desarrollaron, como la clase *States* y la clase *InputCoords*. Para reducir la cantidad de código optamos por utilizar la librería *Lombok* que nos ayuda a implementar los *getters & setters* sin tener que definir estos métodos. La clase *States*, como su nombre lo indica, es para definir los estados a través de la estructura mostrada en la Figura 2.

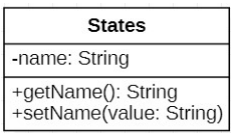


Figura 2. Estructura de la clase *States*

La clase *InputCoords* nos ayuda a definir las combinaciones de entradas y estados, para obtener por medio de un HashMap la salida y el estado siguiente a través de la estructura mostrada en la Figura 3 [11].

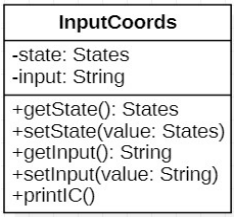


Figura 3. Estructura de la clase *InputCoords*

2) **Generación de FSM.**
Para la generación de las FSM utilizaremos una clase llamada *FSMGenerator*, donde tendremos los métodos necesarios para generar de acuerdo con los datos ingresados usando la estructura mostrada en la Figura 4.

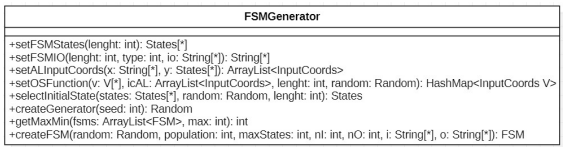


Figura 4. Estructura de la clase *FSMGenerator*

3) **Etapas de la programación evolutiva.**

Ahora,vamos a hablar de la clase *EvolutionAlgorithm,* donde se realizan las distintas etapas de programación evolutiva con ayuda de la estructura de la Figura 5.

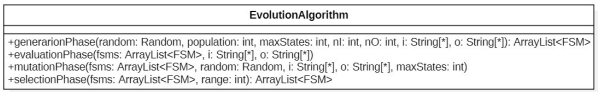


Figura 5 Estructura de la clase *EvolutionAlgorithm*

4) **Generación.** Para la generación de las FSM vamos a seguir los pasos de a) a g):
   a) Utilizando el generador de números pseudoaleatorios se obtiene la cantidad de estados que se van a tener en esa FSM.
   b) A partir de las cadenas de entrada y salida ingresadas se recorren para obtener cada uno de los símbolos que la conforman para formar el conjunto de símbolos de entrada y salida.
   c) Utilizando el número de estados obtenido en el punto a), se define cada uno de los estados que forman parte de la FSM. Lo más óptimo es que los estados sean números iniciando desde 00 e incrementando de uno en uno, por ejemplo {00,01,02,...} .
   d) Se obtiene un arrayList de objetos de la clase *InputCoords*, la cual tiene como atributos un String que representa la entrada y un objeto de la clase *States* que representa el estado actual. El ArrayList tiene como objetivo tener una lista de todas las posibles combinaciones entre estados y entradas.
   e) Se obtiene las funciones de salida y el estado siguiente, por lo que se utiliza el conjunto de estados o salida, el ArrayList obtenido y el generador de números pseudoaleatorios para conseguir de forma pseudoaleatoria el estado o salida para esa combinación de entrada y estado. Esto nos va a retornar un hashmap donde la *key* es uno de los elementos del ArrayList y el valor es un estado o un String.
   f) Vamos a obtener con el generador de números pseudoaleatorios el estado inicial de la FSM.
   g) Creamos un objeto de la clase *FSM* y utilizando sus *getter* vamos a definir cada uno de los atributos.

Además de los atributos mencionados, debemos de definir que tiene un valor de 0 y en el campo de mutación debemos de especificar que no tienen ninguna mutación.

5) Mutación.

Después de tener una población inicial se mutar cada una de las FSM, donde utilizando el generador de números pseudoaleatorios es posible tener uno de los siguientes casos:

- No hay mutación.
- Cambiar la salida.
- Cambiar la transición.
- Cambiar estado inicial.

Las posibles mutaciones son:

a) **Cambiar la salida.** A partir de la FSM original, vamos a generar una nueva con sus mismos atributos. Después de eso con el generador de números pseudoaleatorios vamos a obtener uno de los índices del ArrayList y después obtendremos el índice de uno de los elementos del conjunto de salida. A partir del primer índice se obtiene ese elemento y con el segundo índice conseguimos la nueva salida, para que después en el hashmap se remplace la salida anterior con la nueva. Finalmente, se modifica el atributo mutación y se indica.

b) **Cambiar la transición.** A partir de la FSM original, se genera una nueva con los mismos atributos. Con el generador de números pseudoaleatorios se obtiene uno de los índices del ArrayList y después el índice de uno de los elementos del conjunto de estados. A partir del primer índice obtendremos ese elemento y con el segundo índice obtendremos el nuevo estado, para que después con hashmap se remplace el estado anterior con el nuevo. Finalmente, se modifica el atributo mutación.

c) **Cambiar estado inicial.** A partir de la FSM original, vamos a generar una nueva con sus mismos atributos. Con el generador de números pseudoaleatorios se obtiene uno de los índices del conjunto de estados y con el índice se define el nuevo estado inicial para modificar el atributo de la FSM. Finalmente, se modifica el atributo mutación.

Es importante remarcar que después de realizar la mutación se verifica que en la nueva FSM al momento de ingresar el primer símbolo de entrada de la cadena se obtenga el primer símbolo de salida de la cadena de salida, en caso de que concuerden vamos a retornar la FSM, en caso contrario vamos a realizar nuevamente la mutación con la nueva FSM.
Toda la fase de mutación se va a repetir en cada una de las generaciones. En la Fig. 6 se muestra la estructura de la clase.

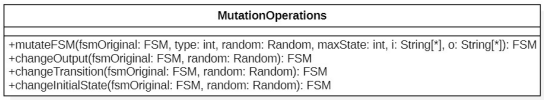


Figura 6. Estructura de la clase *MutationOperations*

6) Evaluación.

Al momento de evaluar vamos a verificar que la FSM a partir de la cadena ingresada genere una cadena igual a la cadena de salida que se ingresó en la configuración del sistema. En caso de que desde un inicio, en el estado inicial, el primer símbolo de entrada de la cadena de entrada nos genere un símbolo de salida diferente al primer símbolo de salida de la cadena, se pone una puntuación de 100 a la FSM con el propósito de indicar que esa FSM no es nada óptima.
En caso contrario, agregaremos -1 al valor de la FSM y continuaremos recorriéndola. A partir de aquí si no llega a coincidir el símbolo de salida obtenido con el símbolo de salida de la cadena, entonces dejaremos de evaluar y agregaremos +1 al valor, si no es así continuaremos agregando -1 al valor de la FSM hasta terminar de recorrerla.
Es importante remarcar que las FSM serán evaluadas una sola vez, en caso de que sobrevivan en las siguientes generaciones estas evaluaciones serán omitidas con el propósito de disminuir el tiempo de ejecución. En la Fig. 7 se observa la estructura de la clase.



Figura 7. Estructura de la clase *EvaluationOperations*

7) **Selección.**

Después de evaluar cada una de las FSM, se ordenan tomando como referencia el valor evaluado de cada una de estas. Se posiciona en los primeros lugares a las FSM con los valores más negativos, mientras que las FSM con los valores más positivos se colocan en los últimos lugares. En caso de que dos o más FSM tengan el mismo valor evaluado, se da prioridad a las FSM con una menor cantidad de estados. Si el método de selección es *Elitismo*, se selecciona las *k* mejores FSM de la población, donde este valor fue previamente definido en la configuración del sistema.

Para ordenar la población vamos a implementar una interfaz llamada Comparable <T> para poder sobreescribir el método compareTo (T o), donde vamos a comparar las FSM utilizando como referencia su atributo *value* para que las FSM con un valor muy negativo tengan preferencia. Después de eso enviaremos la población ordenada como parámetro a un método llamado *selectionPhase* para obtener únicamente las primeras k-ésimas FSM.

Finalmente, vamos a repetir desde la etapa de mutación (punto 5) hasta la etapa de selección (punto 7) interrumpiendo una vez que se cumpla alguno de los criterios de parada.
Al momento de terminar la ejecución del sistema, se va a imprimir la matriz de transición de la FSM y simultáneamente se va mostrar su representación gráfica usando *Graph Stream* [8]. Para el estado inicial cambiaremos su color a amarillo para que sea más fácil para el usuario identificarlo, además de cambiar el grosor de dicho estado.

Resultados y discusión

La interfaz resultante se muestra en la figura 8. Esta nos permite cambiar el comportamiento y mejorar los resultados, pues no hay que olvidar que los algoritmos genéticos dan diferente resultado unos mejores que otros, pero la mayoría de las veces siempre dará una solución óptima.

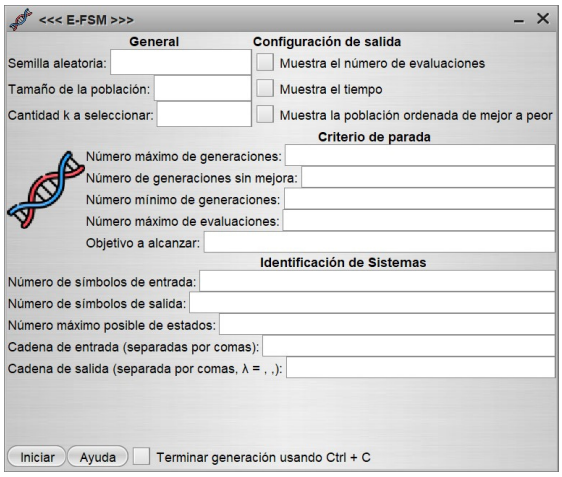


Figura 8. Interfaz del sistema computacional

Como se observa, la interfaz cuenta con varios campos para configurar el sistema:

- **General.**
  - Semilla aleatoria: Es un número entero sin signo utilizado para inicializar el generador de números pseudoaleatorios usando un objeto *Random*.
  - Tamaño de la población: Es un número entero sin signo utilizado para definir la cantidad inicial de FSM que van a ser generadas al momento de iniciar el sistema.
  - Cantidad *k* a seleccionar: Es un número entero sin signo utilizado para definir la cantidad de FSM que van a ser seleccionados de acuerdo con el método de selección; por ejemplo, Elitismo.

- **Configuración de salida.**
  - Muestra el número de evaluaciones: Se van a imprimir la cantidad de evaluaciones realizadas en cada generación.

- Muestra el tiempo: Se va a imprimir cuánto tiempo fue utilizado para cada una de las generaciones.
- Muestra la población ordenada de mejor a peor: Se van a imprimir las definiciones (séxtuplas) de cada una de las FSM de cada generación, donde van a estar ordenadas de acuerdo con el valor obtenido en la fase de evaluación.

- **Criterio de parada.**
  - Número máximo de generaciones: Es la cantidad máxima de generaciones, en caso de que se supere esta cantidad el sistema se va a detener.
  - Número de generaciones sin mejora: Es la cantidad máxima de generaciones sin mejora, en caso de que esta cantidad sea superada el sistema se va a detener.
  - Número mínimo de generaciones: Es la cantidad mínima de generaciones, esta es la segunda generación con mayor prioridad, ya que el sistema seguirá funcionando, aunque se cumplan los dos criterios mencionados anteriormente o el siguiente.
  - Número máximo de evaluaciones: Es la cantidad máxima de evaluaciones que se realizan durante la ejecución del sistema, esto engloba a cada una de las generaciones.
  - Objetivo a alcanzar: Debemos de agregar una puntuación negativa, la cual debe de ser alcanzada por al menos una de las FSM para que el sistema termine la ejecución.
- **Identificación de sistemas.**
  - Número de símbolos de entrada: Es la cardinalidad del conjunto de símbolos de entrada.
  - Número de símbolos de salida: Es la cardinalidad del conjunto de símbolos de salida.
  - Número máximo de estados: Es la cantidad máxima de estados que tiene una de las FSM generadas.
  - Cadena de entrada: Es la cadena formada por elementos del conjunto de símbolos de entrada separados por comas, la cual será usada como una de las referencias para evaluar cada FSM.
  - Cadena de salida: Es la cadena formada por elementos del conjunto símbolos de salida separados por comas, la cual será usada para evaluar cada una de las FSM. En caso de que se desee agregar el carácter nulo (λ) se debe de dejar un espacio en blanco.

Experimentación

Los resultados positivos aparecen cuando optamos por utilizar poblaciones de 700 000, y después de permitir que ocurran muchas generaciones. Por ejemplo, si queremos simplificar la siguiente FSM con estado inicial en 00:

Tabla 1 Transiciones de la FMS de ejemplo

	0	1
00	01,1	02,0
01	00,0	01,0
02	02,3	03,1
03	02,2	04,3
04	05,0	08,0
05	07,0	08,1
06	06,1	01,1
07	06,2	09,3
08	07,2	00,3
09	07,1	02,3

Se usan los siguientes datos los datos mostrados en la figura 9; una vez implementada esta configuración el sistema computacional.

 ISSN: 2007 8102

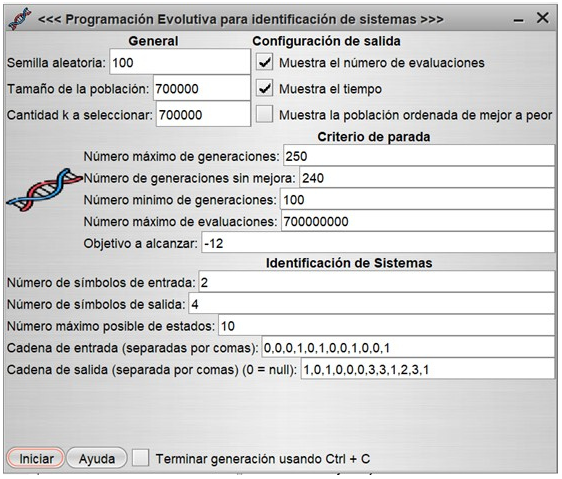


Figura 9. Configuración implementada en el sistema computacional

El proceso de evolución del sistema se muestra por cada generación como se observa en la figura 10.

```
Generación 1
Evaluaciones: 1400000
Tiempo transcurrido: 1208 milisegundos
Tamaño de la población: 700000
Evaluaciones totales: 1400000
Mejor evaluación hasta el momento: -8
0 generaciones con -8 como valor para la mejor FSM
<<
```

 ISSN: 2007 8102

```
Se alcanzó el objetivo.
Tiempo transcurrido: 2799 milisegundos
FSM con mejor puntaje:
Valor: -12
Estado Inicial: 02
0

FSM:
__||   0    |   1    |
00||[06,0] |[04,0] |
01||[08,0] |[07,3] |
02||[04,1] |[01,0] |
03||[02,2] |[05,2] |
04||[02,0] |[01,0] |
05||[06,2] |[07,3] |
06||[06,3] |[05,1] |
07||[04,2] |[06,0] |
08||[08,3] |[06,0] |
```

Figura 11. Despliegue de los datos de la FSM resultante

También se desplegará una pantalla que muestra la FMS resultante de manera gráfica resaltando el estado final como se ve en la figura 12.

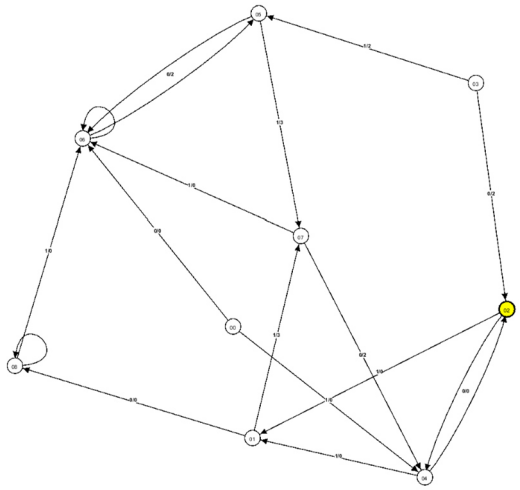


Figura 12. FMS resultante generada de forma gráfica

Como se observa, obtuvimos una FSM reducida en cuanto la cantidad de estados, que genera la misma cadena de salida a partir de la cadena de entrada ingresada.

Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro se empleará diferentes técnicas de mutación, así como poblaciones, para observar y mejorar los resultados mediante la experimentación y la observación estadística de los efectos; y una vez obtenidos los mejores parámetros se pude aplicara problemas en la medicina.

Conclusiones

La computación evolutiva es una forma de encontrar las soluciones a distintos problemas, además de que se elige la técnica que más se adapte a nuestro problema. Los resultados varían completamente dependiendo de diversos aspectos como la semilla aleatoria, el tamaño de la población, el método de selección, la mutación realizada, el criterio para evaluar, etcétera.

La computación evolutiva nos permite encontrar resultados óptimos que solucionen las problemáticas a las que nos enfrentamos, además de simplificar el trabajo que se debe de realizar y los recursos invertidos como el tiempo de procesamiento.
Durante la obtención de los resultados llegamos a varias conclusiones:

- En caso de utilizar cadenas con una corta longitud (menos de 8 caracteres) es posible optar por definir una población y límite de generaciones no tan grandes (aproximadamente 1000).
- En caso de que las cadenas superen los 8 caracteres, es importante definir poblaciones de un tamaño considerablemente grande (aproximadamente medio millón en adelante), mientras que se sigue optando por definir límites de generaciones menores a 1000.
- Se obtienen mejores resultados siempre que se defina el valor de k con la misma cantidad con la que definimos a la población inicial, debido a que tenemos la posibilidad de tomar una cantidad numerosa de elementos y esto nos ayuda a que sea más probable la selección de futuras FSM que sean mejores debido a una posible mutación.

Resaltar objetivos con respectos a trabajos relacionados
Se profundizo en las máquinas de estado con la finalidad simplificarlas mediante algoritmos genéticos.

Agradecimientos

Los autores reconocen al Instituto Politécnico Nacional el apoyo recibido para el desarrollo de este proyecto.

Referencias

[1] Tinder, Richard.*Asynchronous Sequential Machine design and analysis: A comprehensive development of the design and analysis of Clock-Independent State Machines and Systems*. Springer Nature, 2022.
[2] Zhang, Zhipeng, et al. "Reachability analysis of networked finite state machine with communication losses: A switched perspective." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 38.5 (2020): 845-853.
[3] Coello, Carlos Artemio Coello. "Computación evolutiva." *Academia Mexicana de Computación, Amexcomp* (2019).
[4] Valbuena, Roiman. *Inteligencia Artificial: Investigación Científica Avanzada Centrada en Datos*. ROIMAN VALBUENA, 2021.
[5] Lopes, Alba Sandyra Bezerra, and Monica Magalhães Pereira. "Exploração de espaço de projeto para multicores heterogêneos com o uso aprendizado de máquina: o estado da arte." *Brazilian Journal of Development* 6.5 (2020): 26730-26749.
[6] Hammerman, Natalie, and Robert Goldberg. "Algorithms to improve the convergence of a genetic algorithm with a finite state machine genome."*Practical Handbook of Genetic Algorithms*. CRC press, 2019. 119-238.
[7] Tappler, Martin, et al. "Time to learn–learning timed automata from tests." *Formal Modeling and Analysis of Timed Systems: 17th International Conference, FORMATS 2019, Amsterdam, The Netherlands, August 27–29, 2019, Proceedings 17*. Springer International Publishing, 2019.
[8] Iovino, Matteo, et al. "Learning behavior trees with genetic programming in unpredictable environments."*2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. IEEE, 2021.
[9] Hernández Hernández, José Clemente. "Neuroevolución: una alternativa para simplificar los modelos asociados al Aprendizaje Profundo." *Días Virtuales/Supercómputo/2022* (2022).
[10] FERREIRA QUAGLIATA, Jimena. Algoritmos evolutivos para el aprendizaje de modelos en la industria de procesos. 2022.
[11] INDRA, Dr Gaurav; THANUA, Prerna. Inner implementation and application of hash map. *Available at SSRN 4349028*, 2023.

ISSN: 2007 8102

Detección de depresión mediante procesamiento de fotogramas

Rodolfo Romero-Herrera[1], Odan Ricardo García Mosqueda.[2], Cecilio Rivero García[3]*
rromeroh@ipn.mx[1], Odan9354@gmail.com[2], crivero8100@egresado.ipn.mx[3]

***Área de participación**: Sistemas Computacionales*

Resumen

La depresión es un desorden mental que causa un alto costo. Por lo que es útil diseñar una herramienta de apoyo para su diagnóstico. Este proyecto propone medir el trastorno mental de la depresión en un individuo mediante el análisis de expresiones faciales donde se detecta la tristeza reiterativa como factor relacionado con la depresión; y una segunda técnica auxiliar mediante la prueba Montgomery aplicada por expertos en Piscología para verificar los resultados obtenidos. Se procesan fotogramas tomados de un video, donde se localiza la cara mediante Viola & Jones y puntos característicos BRISK relacionados con la tristeza. Para el reconocimiento de la expresión facial se usa FACS (Facial Action Units System); ya que se toma en cuenta el movimiento de los músculos atreves los puntos clave localizados, de los cuales mediante estadística se reconoce si hubo un cambio provocado por el movimiento. Como resultado el sistema permite la detección de la depresión mediante graficas. La detección de la depresión es importante si se considera pérdidas sobre todo después del periodo de pandemia.

***Palabras clave**: Depresión, expresiones faciales, tristeza*

Abstract

Depression is a mental disorder that exacts a high cost. Therefore, it is useful to design a support tool for its diagnosis. This project proposes to measure the mental disorder of depression in an individual by analysing facial expressions where repetitive sadness is detected as a factor related to depression; and a second auxiliary technique through the Montgomery test applied by experts in Psychology to verify the results obtained. Frames taken from a video are processed, where the face is located using Viola & Jones and characteristic BRISK points related to sadness. For facial expression recognition, FACS (Facial Action Units System) is used; since the movement of the muscles is taken into account through the localized key points, of which through statistics it is recognized if there was a change caused by the movement. As a result, the system allows the detection of depression through graphs. Detection of depression is important when considering losses, especially after the pandemic period.

***Keywords**: Depression, facial expressions, sadness.*

Introducción

La depresión es una enfermedad crónica para la cual solo un pequeño porcentaje pide ayuda de profesionales [1]. La depresión tiene varias etapas y múltiples perspectivas, por lo que es necesario detectar la intensidad que manifiesta el sujeto. Este estado de ánimo es un proceso biosociológico que en ciertos casos se prolonga hasta ser permanente [2] La depresión causa en las personas muchos sentimientos dominados por ideas negativas. Las personas tienden a pensar que los problemas no podrán resolverse rápidamente o que el problema no tiene solución, por lo que se rinden. Lo que conduce a una autocrítica muy dura hasta el punto de tener patrones suicidas [3]. La situación confunde y da la impresión de que la persona tiene una mala actitud lo que lleva a la falta de motivación, concentración y energía [4].

Existen herramientas que ayudan al diagnóstico de la depresión muchas de ellas multimodales [5]; tales como, las inclinaciones de la cabeza, las señas de la parte superior del cuerpo, la voz, etc [6]. Un enfoque particular es el enfoque audiovisual, con atención a las medidas de expresividad emocional, para lo cual es indispensable tomar en cuenta los parámetros estadísticos para la depresión y la no depresión [7]. En este trastorno la expresión facial es diferente a los estados normales por lo que es factible mediante una escala detectar la depresión [8], y su relación con la tristeza; se realiza mediante un análisis emocional tomando en cuenta la correlación entre el estado del paciente y el resultado de la detección de la depresión [9].

El objetivo del proyecto fue reconocer la tristeza en la expresión facial y con ello relacionarla con la depresión al prolongarse dicho estado emocional. Para confirmar el estado se empleó un cuestionario que es evaluado por un experto junto con el resultado del reconocimiento de imágenes.

ISSN: 2007 8102

Trabajos relacionados

Prasetio et al. [10] desarrollaron un sistema de reconocimiento de estrés con tres clases (neutral, bajo, alto) basado en redes neuronales. Pediaditis et al. [11] encontraron una forma de utilizar los rasgos faciales para la detección del estrés y la ansiedad. Los signos faciales consisten en actividad de la boca, frecuencia cardíaca, frecuencia y movimiento de parpadeo y movimiento de la cabeza. Giannakakis et al. [12] desarrollaron un marco para el estrés y la detección mediante señales faciales de los ojos, boca, movimiento de la cabeza y frecuencia cardíaca. Las Unidades de Acción Facial (AU) del Sistema de Codificación de Unidades de Acción Facial (FACS) [13] son una forma alternativa de extraer rasgos del rostro. Los patrones musculares de la cara se dividen en 46 AU primarias donde el análisis de las AU determina diferentes emociones. Viegas et al. [14] desarrollaron un modelo de detección de estrés utilizando 17 AU, como apretar el párpado, levantar las mejillas, levantar la ceja exterior y parpadear. Los FACS también se utiliza en una arquitectura no intrusiva para determinar los niveles de estrés por profesionales de la salud. Gavrilescu et al. [15] utilizaron 31 AU para determinar diferentes niveles de la Escala de estrés, ansiedad y depresión. La arquitectura está compuesta de tres capas. Las primeras capas toman las secuencias de video y aplican detección de rostros, encontrando bloqueos de ojos y boca. La segunda capa es una matriz construida sobre los niveles de AU en el fotograma actual y los fotogramas subsiguientes. La tercera capa utiliza una red neuronal, incluidos cinco estados, desde normal hasta extremadamente grave. Además de la detección de estrés mediante vídeos de espectros visibles, también se implementan estudios de reconocimiento de estrés mediante datos faciales en los espectros térmicos (TS) [16].

Metodología

Para la metodología se empleó DoE (Diseño orientado a Experimentos), ya que: permite volver a hacer tantos intentos como se requieran [17], Plantea el objetivo, Identifica las variables con relación a la respuesta. Diseña los experimentos, realiza pruebas y mejoras planificadas; entonces revisa los resultados obtenidos, asegura que las medidas adoptadas permanezcan en el tiempo, y repite un ensayo con los datos recabados para obtener los mejores resultados posibles.

Detección del rostro

Para la localización del rostro se usó el método de Viola & Jones. El algoritmo hace uso de clasificadores que se entrenan con miles de imágenes. Este método consiste en la localización de objetivos mediante el uso de un grupo de características rectangulares (CR) de partes claras y obscuras, distribuidas de forma rectangular dentro del objetivo [18]. Ver figura 3. Se usan tres clases de características las de dos, tres y cuatro rectángulos de 10 tipos diferentes. Se colocan dentro de la imagen y se obtiene la substracción entre la suma de los píxeles dentro de la parte clara y la parte obscura de la CR, obteniendo un valor entero que debe superar un umbral determinado dependiendo de la característica buscada. Esta CR es un clasificador. Ver figura 1:

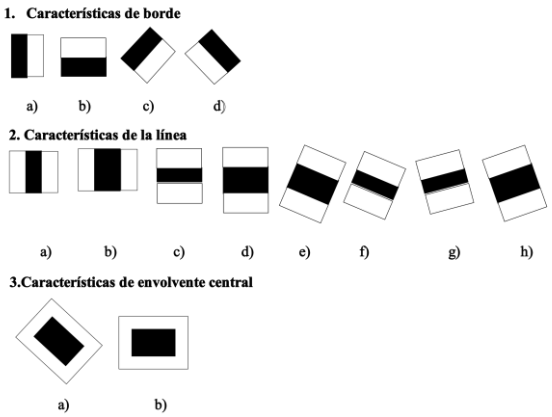


Figura 1: Características en componentes rectangulares CR [11].

Una imagen integral es usada para calcular los Crs donde el punto (x, y) es el resultado de la suma de píxeles superiores y a la izquierda de la posición (x, y). Ver Ec (1).

 ISSN: 2007 8102

$$ii(x,y) = \sum_{x' \le x, y' \le y} i(x', y') \qquad (1)$$

Donde ii(x, y) es la imagen integral e i(x, y) es la imagen original (figura 2) [18]. Las ecuaciones (2) y (3) determinan la programación del método.

$$s(x,y) = s(x,y-1) + i(x,y) \qquad (2)$$

$$ii(x,y) = ii(x-1,y) + s((x,y) \qquad (3)$$

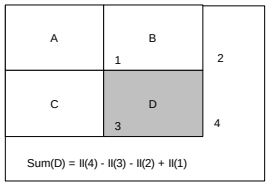


Figura 2. Cálculo de la suma de intensidad de píxeles en una región rectangular.

También se usa el aprendizaje AdaBoost para aumentar el rendimiento de la detección de regiones. Los clasificadores se colocan en cascada lo que mejora el procesamiento.

Músculos faciales

Para seleccionar los puntos relevantes se tomó en cuenta el movimiento de cuatro músculos de la cara: El musculo piramidal o prócer que se sitúa en el envés de la nariz. Inicia del borde inferior del hueso y recorre la piel en la región superciliar. Su función es desplazar la piel frontal hacia abajo especialmente el área de las cejas. El músculo risorio el cual es un músculo incluido dentro de los músculos de los labios y la boca [19]; El músculo depresor ubicado dentro del área de los labios y la boca [20]; este músculo se ubica en la parte oblicua de la mandíbula, de forma ancha y delgada, desplaza hacia abajo las comisuras de los labios, lo cual permite mostrar en el rostro la tristeza; por último, el Músculo occipitofrontal el cual corresponde a los músculos cutáneos del cráneo, tiene una forma cuadrilátera, esto quiere decir que presenta 2 vientres musculares los cuales son el occipital y el frontal; a pesar de estar separados realizan el movimiento de las cejas y los parpados [21].

Recepción de emociones

Se uso el sistema FACS (Facial Action Units System) es cual clasifica los movimientos faciales humanos; subdivide casi todas las expresiones faciales en un conjunto de unidades conocidas como AU (Action Units) [22]. Las AU son acciones fundamentales de los músculos, los cuales tienen diferentes intensidades que se representan con las letras A (Rastro), B (Leve), C (Pronunciado), D (Severo o extremo) y E (máximo).
Los micros expresiones son de vital importancia ya que con ellas una persona deprimida muestra su estado de ánimo con el lenguaje corporal, como son el cambio en los parpados, la boca o los ojos. En el diagrama de la figura 3, se ve como llevar a cabo el reconocimiento de las FACS.

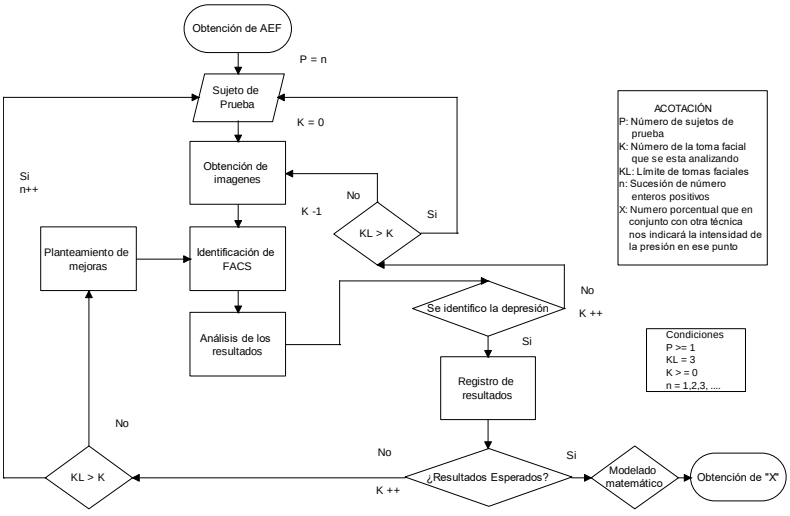


Figura 3. Diagrama de flujo para el reconocimiento de FACS

Las expresiones faciales son el resultado del movimiento de los músculos del rostro. El análisis consiste en identificar la correspondencia de las emociones con las expresiones faciales [23]. Existen las expresiones faciales

involuntarias y las voluntarias, las primeras se controlan desde el tallo cerebral, ya que son emociones inconscientes o espontaneas mientras que las voluntarias son procesadas por la corteza motora por esto mismo es factible reconocer los patrones en micro expresiones cuándo una persona sonríe falsamente [23].

Detector de equinas Brisk (puntos clave escalables invariables robustos binarios)

Se recaban los datos a partir de una serie de imágenes proporcionada por un dispositivo (cámara de alta definición), y se analiza mediante procesamiento digital de imágenes para identificar en el individuo expresiones que nos indiquen si padece de depresión. Mediante una serie de puntos faciales; se comparan sus distancias entre puntos para saber qué músculos se están moviendo. No se toman de los puntos clave las coordenadas debido a que son relativas a factores externos como la distancia del rostro a la cámara o el movimiento constante de la cara; es decir, la distancia entre los puntos no dependen del lugar o posición donde se encuentra la persona dentro de un espacio geográfico, sino más bien esa distancia es la separación entre puntos que finalmente son pixeles característicos de una imagen, entonces al variar esa distancia significa que hubo movimiento ya que la cámara esta fija.
El detector BRISK se usa para localizar los puntos clave. El objetivo es dividir una imagen en regiones locales de interés; lo que reduce la complejidad y se aprovechan las características de apariencia. El detector de puntos clave encuentra zonas en la imagen que se destacan incluso cuando cambia el punto de vista. BRISK tiene tres fases, la detección de características, la composición del descriptor y el empate de los puntos clave [24].
Para evitar los efectos del aliasing se emplea en el muestreo la intensidad de la imagen en el punto pi estándar, un suavizado gaussiano con desviación estándar *σi* acorde a la distancia entre los puntos del círculo respectivo [25]. Se posiciona y escala el patrón de acuerdo con el punto clave k, en uno de los *(N(N-1))/2* pares de puntos muestreados *pi, pj*. Los valores de intensidad suavizados son *I (pi, σi)* e *I (pj, σj)*, y se emplean para estimar el gradiente *g (pi, pj)*. Ver ecuación 4.

$$g(p_i, p_j) = (p_j, p_i)\frac{I(p_i\sigma_i) - I(p_j, \sigma_j)}{\|p_j - p_i\|^2} \qquad (4)$$

Los umbrales de distancia propuestos son *δmax = 9.75t* y *δmin = 13.67t* con una escala t de k. Repitiendo a través de los puntos pares en L, se predice la dirección sobre todos los rasgos del patrón del punto clave k, mediante la ecuación 5.

$$g = \begin{pmatrix} g_x \\ g_y \end{pmatrix} = \frac{1}{L}\sum_{(p_i, p_j)\epsilon\mathcal{L}} g(p_i, p_j) \qquad (5)$$

Una vez obtenido los datos del rostro se obtiene la media, varianza, desviación estándar, valor máximo, y el valor mínimo para el análisis. Considerando condiciones iniciales (cara neutra).

Implementación

Después de la localización del rostro con el método de Viola & Jones y la detección de los puntos clave se reconoce el movimiento de los músculos faciales; se captura la distancia de los puntos clave dentro de la imagen donde se observa el movimiento de los músculos previamente mencionados. Cada fotograma nos da información de estos puntos y posteriormente se almacenan. Se procesan los datos para clasificar las FACS y distinguir la tristeza en una persona; al ser un mapa de puntos la opción para determinar esos patrones es calcular distancia euclidiana mediante (6), para cada sección que se desea analizar [26]. Esto con la finalidad de precisar el movimiento en los ejes (x, y). En el eje “x” basta con obtener la distancia entre los puntos, pero en el eje “y” necesitamos un punto de intersección ya que de otra forma tendríamos que analizar el movimiento en “y” de ambos puntos, por los que se optó por determinar la intersección entre rectas y sacar su distancia de un punto hacia la intersección. Recordemos que los ejes “x”, “y” nos da la posición de un pixel.

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \qquad (6)$$

Como se muestra en la figura 4, se trazaron líneas perpendiculares, una representa el movimiento en “X” y la otra en “Y”; en el caso de la boca, se analizó el cambio que se realiza específicamente en los puntos 49 y 55 ya que el movimiento de estos puntos es producido por el musculo risorio o depresor. Se consideraron los puntos relevantes del movimiento de 4 músculos de la cara siendo estos el depresor de la boca, el risorio, prócer y occipitofrontal. Para el caso de las cejas se tomaron en cuenta 4 puntos el punto 22 y 23 para detectar un

acercamiento entre cejas y los puntos 19 y 26 para observar su elevación. También se tomó en cuenta el parpado caído ya que este es un indicativo de tristeza y la ausencia o escases de puntos en el ojo determina que este se cerró. La fisionomía de cada individuo es exclusiva, por lo que no se pude comparar con otras para reconocer la tristeza; así, se establecen condiciones iniciales con una primera muestra del individuo con el que se va a comparar las subsecuentes, por lo que se pide al usuario que muestre una cara neutral hacia la cámara para la primera toma.

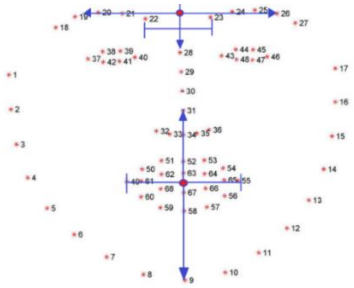


Figura 4. Puntos faciales [27].

MADRS (Montgomery Asberg Depression Rating Scale)

La Montgomery Asberg Depression Rating Scale (MADRS) es una escala hetero aplicada por medio de una entrevista que tiene de 10 puntos que evalúan las señales de depresión. La prueba es aplicada por un experto, aunque existen versiones auto aplicadas [28]. En el presente trabajo el sistema aplica la escala mediante una página web, cuyos resultados posteriormente son evaluados por psicólogos con experiencia en el ramo por más de 10 años, quienes propusieron dicha prueba; aunque existen otras como la PHQ-9. Los puntos para calificar que se toman permiten medir parámetros para la tristeza aparente, tristeza referida, tensión interna, disminución de sueño, disminución de apetito, dificultades de concentración, laxitud, incapacidad para sentir, pensamientos pesimistas y pensamientos suicidas. La evaluación para una persona sin depresión está entre 0 y 6, donde para asignar la calificación, el experto maneja información de fuentes distintas. La puntuación global es la suma de la calificación en cada uno de los puntos, ubicados de 0 a 60. Los puntos recomendados son los de la tabla 1.

Tabla 1. Puntos de corte recomendados y descriptores de la escala.

	Sin depresión	Leve	Moderado	Serio
Puntos de corte recomendados	0-6	7-19	20-24	35-60
Otros puntos de corte en ensayos clínicos	0-12	13-26	27-36	37-60

Aunado al análisis por procesamiento de fotogramas se consideró muestras la prueba de Montgomery-Asberg Depression Rating Scale (MADRS), dicha prueba es evaluado por psicólogos expertos en el área, a los cuales se les proporciono la página web del test. Esta prueba servirá para dar el veredicto de depresión, en vista de que la prueba de AF (análisis de cara por fotogramas) solo detecta tristeza. Con esta prueba se agrega el factor tiempo ya que la tristeza en ciertas ocasiones es pasajera y la depresión es un estado de ánimo a largo plazo.

Resultados y discusión

El programa de análisis facial identifica expresiones de tristeza, alegría, sorpresas y enojo. Nos enfocamos en la depresión reflejada en tristeza en el rostro. Ver figura 5(a).



a) b) c) d)

Figura 5. Expresiones faciales identificadas a) tristeza, b) Felicidad, c) enojo, d) sorpresa e) Mapa de puntos

ISSN: 2007 8102

El AF y MADRS debe ser aplicado por personal calificado y certificado. Así, el análisis de imágenes y el cuestionario MADRS permiten un dictamen más certero. El resultado se verá reflejado en un arreglo de tamaño 5. Donde 1 es positivo para la tristeza, y cero para negativo. Con base a las estadísticas se generan las gráficas para una mayor comprensión de la muestra. Ver tabla 2.

Tabla 2. Distribución del arreglo por sectores

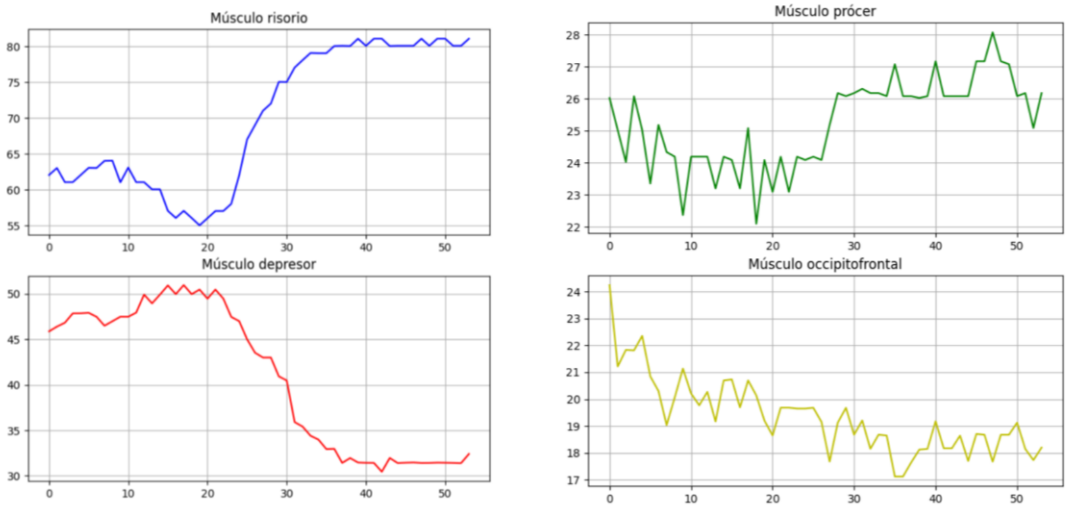
Musculo depresor	Musculo Risorio	Musculo Occipitofrontal	Musculo Prócer	Ptosis palpebral
0	1	2	3	4

Se tomaron muestras de un sujeto con cara neutra, y se continuó con la prueba (segunda muestra) donde comenzó a sonreír:

El resultado fue Boca=01, cejas= 00 Ojos= 01. Es decir, el primer digito es cero ya que está en estado neutro, al comenzar a reír la mayoría de los sectores están 0 a excepción del músculo risorio que se encuentra en el sector 1 afectando boca y ojos.

Boca
En la gráfica de la figura 6(a) se observa el movimiento del músculo risorio. La grafica indica que a mayor distancia se pronuncia más la sonrisa, ya que al tensarse el músculo la distancia entre esos puntos aumenta; lo que provoca un incremento bruco en la distancia; que significa una sonrisa pronunciada. Caso contrario para el músculo depresor donde a mayor distancia el sujeto tendrá una cara seria o triste. Se observa en las gráficas una rotación de π radianes.

Cejas
En el músculo prócer, a menor distancia, las cejas se juntan más y viceversa. En la gráfica de la figura 6(b) hay poco movimiento y por lo tanto no hay cambio significativo. Para el músculo occipitofrontal, a menor distancia, bajan más las cejas y viceversa. Se observa en la gráfica una caída lenta de la señal; tampoco hay un cambio brusco en las cejas, pero existe un descenso.



a) b)

Figura 6. a) Grafica lineal para los músculos risorio y depresor b) Gráfica lineal para los músculos prócer y occipitofrontal.

Dispersión
En la figura 7 se observar la dispersión de los datos con respecto a la media. Se ve cuán explícita fue la expresión, lo que significa que mientras más dispersos de la media estén, el sujeto es más expresivo y mientras más cercanos a la media, el sujeto tiene poco movimiento facial o no tuvo muchas expresiones; una persona que se mantiene todo el tiempo con una cara constante da un indicio de tristeza, desinterés o depresión.

 ISSN: 2007 8102

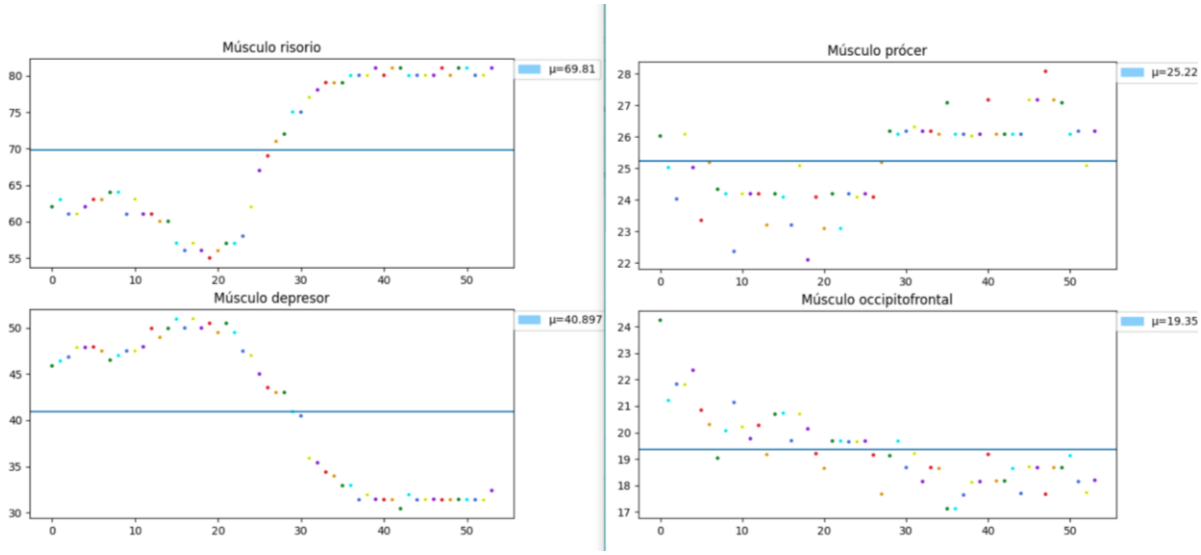


Figura 7. Dispersión de datos con respecto a la media.

En la figura 8 se muestra una gráfica de barras de la varianza. Cuando esta tiende a cero significa que los datos están muy pegados a la media, esto quiere decir que no se obtuvo gran movimiento en ese sector. Se interpreta que no hubo mucho movimiento en la sección de las cejas, pero si en parte de la boca.

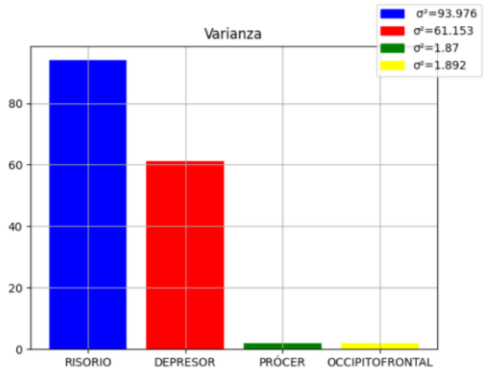


Figura 8. Gráfica de barras de la varianza

Comparamos los datos de la primera muestra con la segunda, para ver con más a detalle en que sectores se tiene un caso positivo o negativo.
Finalmente se consigue una gráfica araña y circular con los resultados obtenidos de la prueba; para el caso de ejemplo, se obtuvo un 80% de resultados negativos por lo que no se detectó tristeza en la prueba. Ver figura 9.

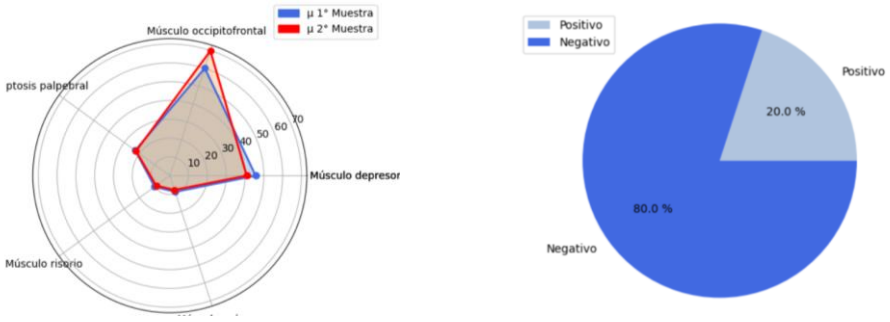


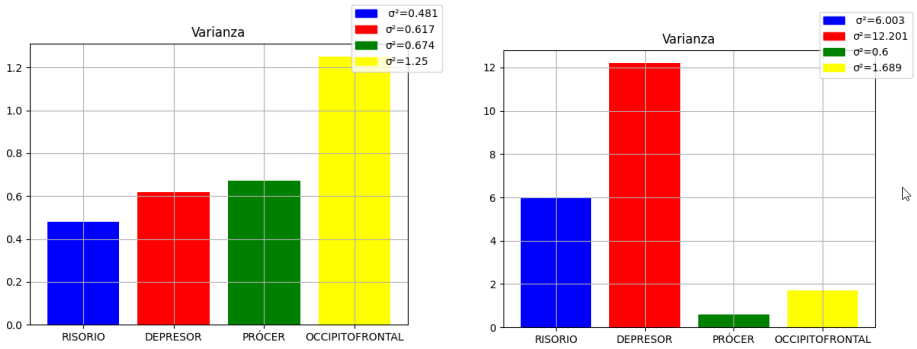
Figura 9. Grafica de araña comparando las medias.

Pruebas en personas con tristeza

Para las pruebas se buscó personas que se encontraban en estado de tristeza. Así que se les realizo una prueba diferente para cada uno. Se presentan algunos ejemplos:

Para la primera prueba se grabó al sujeto y se le cuestiono con respecto a cosas muy triviales por lo que no se esperaba que diera algún indicio de tristeza. Como se observa en la figura 10(a) las varianzas, tienden a cero, lo que refleja poca movilidad de los músculos; es decir que el sujeto se mantuvo serio toda la sesión. No se tuvo muchas expresiones relevantes que pudieran indicar tristeza. Entonces se observa un 80% negativo para tristeza.

Para la segunda prueba, se les cuestionó sobre su vida y cómo se sentía, lo que reflejo la tristeza en su cara, dando así datos más certeros de su estado emocional. Se observa en la figura 10(b) que el sujeto fue más expresivo con la boca que con los otros sectores de la cara, específicamente en el músculo depresor, dando positivo a tristeza.



(a) (b)

Figura 11. Sujeto 1. Gráfica de varianza.

Claramente se pudo detectar la tristeza en la segunda prueba. En este caso para detectar la depresión, la persona tuvo que ser estimulada con algunas preguntas personales. Lo que se corrobora en la figura11 circular.

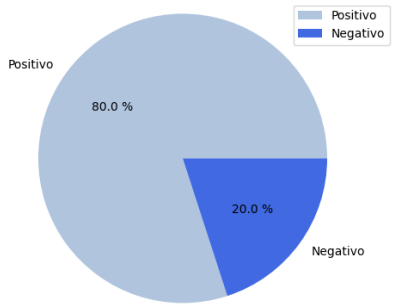


Figura 11. Prueba 2. Gráfica de circular

Por lo que se concluye con estas dos pruebas que no basta con solo observar al individuo, sino que también se tiene que tratar con algunas preguntas para realizar una predicción de la depresión con más certeza. Tal es el caso del proyecto de Jan [5], donde se desarrolló un sistema similar, pero que no cuenta con el apoyo de una prueba psicológica. Aquí se usó Montgomery-Asberg Depression Rating Scale, y el reconocimiento de expresiones faciales en intervalos de tiempo para poder analizar el estado del paciente.

El sistema cuenta con una página web para realizar el formulario de la métrica MADRS.

Se diseñó un estudio de cohortes, observacional, prospectivo y multicéntrico en pacientes clínicamente estables o inestables. Las escalas se administraron en la vista de inclusión en el estudio y en una segunda vista realizada a la semana, en el caso de pacientes estables o dos meses después en pacientes inestables. Se evaluaron la estructura factorial, la validez (convergente y discriminante), la fiabilidad (consistencia interna, estabilidad temporal y entre observadores

Se probó el sistema con 106 pacientes en centros de asistencia psiquiátrica. Se presentó una adecuada:

Validez discriminante (MADRS: Impresión Clínica Global de Gravedad: $p < 0,001$)

Validez convergente (MADRS: $p < 0,05$)
Consistencia interna (α de Cronbach: MADRS = 0,88);
La versión de esta métrica tiene las mejores propiedades psicométricas por lo que es apropiada para nuestro proyecto.
Al igual que en [10] se realizó la localización del stress, pero en el movimiento de los músculos, lo que permite no depender de la distancia a la cámara; y solo se reconoce si existe o no mientras que en [11] se realiza por niveles, lo que evita tener varios umbrales. Tampoco se usa la frecuencia cardiaca lo que permite mayor movilidad evitando stress provocado por el uso de artefactos. Usamos los FACS al igual que los artículos [13] [14] [15] al extraes los patrones musculares, pero nos valemos de puntos de interés que se puede obtener con diferentes técnicas, aquí se usó BRISK. Esto permite realizar un análisis con menor información que si se analiza toda la imagen.
Por último, se debe considerar que en este sistema se tomaron en cuenta movimientos de puntos, por lo que no es necesario una calibración previa de la cámara, además de que el análisis está en función del tiempo, lo que da un mejor diagnóstico.

Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro se usará una diadema para medir ondas cerebrales y realizar la detección de la depresión. También resultaría de interés utilizar medir el stress mediante espectros no visibles como en [16].

Conclusiones

Se considerar a la depresión como un problema psicológico que impide a los individuos mantener una vida sana, así como hacer un uso pleno de las facultades y habilidades personales entre las relaciones sociales. Es relevante señalar que, cualquier persona puede padecerla sin saberlo. Por lo es necesario detectar a tiempo la enfermedad y llevar un seguimiento para mejorar su calidad de vida.
Utilizar esta herramienta (prototipo) para detectar el nivel de depresión permite al personal clínico realizar las pruebas necesarias y suficientes sin ser invasivo, para obtener un diagnóstico rápido y preciso; de manera que, facilite establecer un seguimiento por parte del especialista, incluso si no está presente, pero no debe olvidarse que para complementar la prueba es necesario dar un seguimiento.
Se debe aclarar que la aportación del trabajo es en la detección de la tristeza como factor que influye en la depresión, así como el implementar el fromualrio MADRS en una página web, como herramienta auxiliar, ya que el diagnóstico de la depresión debe dejarse a un psicólogo experto en el tema.
Las gráficas obtenidas permiten una visualización del estado emocional de la tristeza sobre todo en aquellas personas que han sufrido una perdida, ya sea material o sentimental como la muerte. Aquí se debe considerar los tiempos actuales donde ha habido una pandemia.

Agradecimientos

Los autores agradecen y reconocen el apoyo recibido por el IPN (Instituto Politécnico Nacional) para la realización del presente proyecto.

Referencias

[1] Botto, A., Acuña, J. E. C., & Jiménez, J. E. La depresión como un diagnóstico complejo: Implicancias para el desarrollo de recomendaciones clínicas. *Revista Médica De Chile*, *142*(10), 1297-1305, 2014.
[2] Thayer, R. E. The biopsychology of mood and arousal. *Choice Reviews Online*, *28*(03), 28-1830. Velayos, J.L. *Anatomía de la cabeza*. Ed. Médica Panamericana, 2014
[3] Ibor, M. I. L. Ansiedad y depresión, reacciones emocionales frente a la enfermedad. *Anales de medicina interna*, *24*(5), 2007.
[4] Agudelo, D., Buela-Casal, G., & Spielberger, C. D. Ansiedad y depresión: el problema de la diferenciación a través de los síntomas. *Salud Mental*, *30*(2), 33-41, 2007.
[5] Jan, A., Meng, H., Gaus, Y. F. A., Zhang, F., & Turabzadeh, S. *Automatic Depression Scale Prediction using Facial Expression Dynamics and Regression*, 2014.
[6] Nasir, Jati, A., Shivakumar, P. G., Chakravarthula, S. N., & Georgiou, P. G. (2016). *Multimodal and Multiresolution Depression Detection from Speech and Facial Landmark Features, 2016*.

[7] Yin, S., Liang, C., Ding, H., & Wang, S. *A Multi-Modal Hierarchical Recurrent Neural Network for Depression Detection*. 2019.
[8] Scherer, S., Stratou, G., & Morency, L. *Audiovisual behavior descriptors for depression assessment*, 2013
[9] Francese, R., & Attanasio, P. (2021). *Supporting Depression Screening with Multimodal Emotion Detection*, 2021.
[10] B. H. Prasetio, H. Tamura and K. Tanno, "The facial stress recognition based on multi-histogram features and convolutional neural network",*2018 IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC)*, pp. 881-887, 2018.
[11] M. Pediaditis, G. Giannakakis, F. Chiarugi, D. Manousos, A. Pampouch-idou, E. Christinaki, G. Iatraki, E. Kazantzaki, P. G. Simos, K. Marias et al., "Extraction of facial features as indicators of stress and anxiety",*2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pp. 3711-3714, 2015.
[12] G. Giannakakis, M. Pediaditis, D. Manousos, E. Kazantzaki, F. Chiarugi, P. G. Simos, et al., "Stress and anxiety detection using facial cues from videos",*Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 31, pp. 89-101, 2017.
[13] P.A Friesen Ekman and W.V.,*The facial action coding system (book review)*, pp. 251, Jan 1979.
[14] C. Viegas, S.-H. Lau, R. Maxion and A. Hauptmann, "Towards indepen-dent stress detection: A dependent model using facial action units",*2018 International Conference on Content-Based Multimedia Indexing (CBMI)*, pp. 1-6, 2018.
[15] M. Gavrilescu and N. Vizireanu, "Predicting depression anxiety and stress levels from videos using the facial action coding system",*Sensors*, vol. 19, no. 17, pp. 3693, 2019.
[16] P. Yuen, K. Hong, T. Chen, A. Tsitiridis, F. Kam, J. Jackman, D. James, M. Richardson, L. Williams, W. Oxford et al.,*Emotional & physical stress detection and classification using thermal imaging technique*, 2009.
[17] Pons, C., Giandini, R. S., & Pérez, G. T. Desarrollo de software dirigido por modelos. En *Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP) / McGraw-Hill Educación eBooks*, 2010.
[18] Agrawal, S., & Khatri, P. (2015). *Facial Expression Detection Techniques: Based on Viola and Jones Algorithm and Principal Component Analysis*, 2015.
[19] Velayos, J.L. *Anatomía de la cabeza*. Ed. Médica Panamericana, 2014
[20] Jaramillo, Q (2017). Músculos mímicos. *Repositorio Institucional. Universidad Inca Garcilaso de la Vega. http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/1925*
[21] Rodríguez, J. M., & Noda, I. M. Técnica de fijación frontal en cirugía de ptosis palpebral mediante banda de silicona. *Revista Médica Electrónica*, *40*(6), 2140-2155, 2018.
[22] Corneanu, C. A., Madadi, M., & Escalera, S. Deep Structure Inference Network for Facial Action Unit Recognition. En *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 309-324). Springer Science+Business Media, 2018.
[23] Guédat, C., Stergiopulos, O., Kiliaridis, S., & Antonarakis, G. S. (2021). Association of masseter muscles thickness and facial morphology with facial expressions in children. *Clinical and experimental dental research*, 2021.
[24] Leutenegger, S., Chli, M., & Siegwart, R. *BRISK: Binary Robust invariant scalable keypoints*, 2011.
[25] Romero, R; Gallegos, F, Romero, J. Video Analysis with Faces using Harris Detector. Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), Volume 10 Issue 8, 2019
[26] Chen, T. Pythagorean fuzzy linear programming technique for multidimensional analysis of preference using a squared-distance-based approach for multiple criteria decision analysis. *Expert Systems With Applications*, *164*, 2021.
[27] Salem, E. A., Hassaballah, M., Mahmoud, M. M., & Ali, A. E. A. Facial Features Detection: A Comparative Study. En *Advances in intelligent systems and computing* (pp. 402-412). Springer Nature, 2021
[28] Hengartner, M. P., Jakobsen, J. C., Sørensen, A., & Plöderl, M. Efficacy of new-generation antidepressants assessed with the Montgomery-Asberg Depression Rating Scale, the gold standard clinician rating scale: A meta-analysis of randomised placebo-controlled trials. *PLOS ONE*, *15*(2), e0229381, 2020.

ISSN: 2007 8102

Desarrollo de una plataforma para la búsqueda de patrones del movimiento humano a partir de datos crudos recuperados por acelerómetros

Panzi Utrera M.,[1], Venegas García J.A [2], Hernández Acevedo G.[3], López Diaz L.I.[4], Espíritu Castro, A.I.[5]
[1] Tecnológico Nacional de México/Campus Orizaba, manuel.pu@tecnm.orizaba.mx
[2] Tecnológico Nacional de México /Campus Orizaba, jose.vg@orizaba.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México /Campus Orizaba, gustavo.ha@orizaba.tecnm.mx
[4] Tecnológico Nacional de México /Campus Orizaba, laura.ld@orizaba.tecnm.mx
[5] Tecnológico Nacional de México /Campus Orizaba, adolfo.ec@orizaba.tecnm.mx

***Área de participación**: Ingeniería en Sistemas computacionales*

Resumen

En el marco del proyecto financiado por el Tec/NM "Detección automática de caídas utilizando el acelerómetro de un smartphone para personas de la tercera edad", se desarrollaron una serie de aplicaciones previas para determinar la mejor solución en la construcción de la App, que al ejecutarse en un smartphone Android vigilará el comportamiento de las actividades humanas detectando caídas.
El primer recurso que se desarrollo fue una plataforma web que permitirá recuperar, almacenar y analizar los datos crudos generados por un móvil al ser utilizados por una persona en tres actividades: caminar, sentarse y caerse. El análisis de datos en esta plataforma permite responder algunas preguntas como: ¿Cuál es el mejor algoritmo que consuma menos recursos de un móvil? ¿Cuánta información generan estos procesos? ¿Qué versión de Android, marca o modelo de móvil genera el mejor resultado?
Finalmente concluimos porque se seleccionó ese algoritmo y las facilidades que proporciona la plataforma en las decisiones.
El presente artículo presenta las bases teóricas, la construcción y los resultados de esta plataforma.

***Palabras clave**: Caídas, Tercera edad, Acelerómetros, Smartphones Android*

Abstract

Within the framework of the project financed by the Tec/NM "Automatic fall detection using the accelerometer of a smartphone for the elderly", a series of previous applications were developed to determine the best solution in the construction of the App, which running on an Android smartphone will monitor the behavior of human activities by detecting falls. The first resource that was developed was a web platform that will allow the recovery, storage and analysis of the raw data generated by a mobile when used by a person in three activities: walking, sitting and falling. The data analysis on this platform allows us to answer some questions such as: What is the best algorithm that consumes fewer mobile resources? How much information do these processes generate? What version of Android, brand or model of mobile generates the best result?
This article presents the theoretical bases, the construction and the results of this platform.

***Key words**: Falls, Seniors, Accelerometers, Android Smartphones*

Introducción

Las caídas representan un importante riesgo para la salud pública en todo el mundo para las personas mayores. Una caída no asistida a tiempo puede provocar un deterioro funcional en una persona mayor y una disminución significativa de su movilidad, independencia y calidad de vida.[16]
Según la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo Nueva Edición (ENOEN), para el segundo trimestre de 2022 se estimó que en México residían 17 958 707 personas de 60 años y más (adultas mayores). Lo anterior representa 14 % de la población total del país. [8]

Los Adultos Mayores son más propensos a sufrir caídas, siendo las causas más comunes el agotamiento muscular, cambios en su caminar y equilibrio, enfermedades cardiacas (como presión baja y alta), el uso de bastones y andaderas de forma inadecuada; efectos secundarios de medicamentos, entre muchos otros.
La OMS define a la caída como la consecuencia de cualquier acontecimiento que precipite una persona al suelo en contra de su voluntad. Esta definición abarca escenarios clínicos heterogéneos, que van desde una caída accidental mientras se practica un deporte, hasta una causa cardiaca o un evento vascular. Las caídas ocurren a cualquier edad, siendo los niños y los adultos mayores los grupos con más incidencia. [5]
También de acuerdo con la OMS el 40% del total de los adultos mayores sufren de alguna caída, y el 50% de los casos reinciden en una segunda caída dentro de un plazo de 12 meses. [15]
Existen varias propuestas para la disminución de los accidentes fatales que se pueden producir y la atención eficiente de los mismos. En la primera propuesta existen publicaciones como la de Radair Padilla de la Universidad de Oriente de Santiago de Cuba, que proponen juegos para mantener al adulto mayor activo [11], o como influye la autoestima en el adulto mayor en las actividades físico-recreativas [4]. Otros trabajos en la misma línea de la prevención incluyen la utilización de tecnologías tales como los dispositivos Kinect acoplados de alguna manera en el seguimiento de las actividades del adulto mayor como los trabajos realizados por Staranowicz A.,Garrett R. B., Mariottini G., que han realizado investigaciones en: la evaluación de la precisión de un sistema móvil de monitoreo de la marcha basado en Kinect para la predicción de caídas. [13]
Nuestro proyecto está enfocado a la detección de caídas del adulto mayor y su rápida respuesta para una atención rápida a un adulto con problemas. En este campo existen trabajos pioneros como el presentado por Ponce Ortiz K., y Allerick Insorio M., que en la 3ra. Conferencia internacional de Sensores presentada en octubre del 2020, [10].
Algunos trabajos han realizado propuestas realizando una combinación de cámaras con sensores, como proyectos mostrados en los resultados del proyecto: “Pathway of Trends and Technologies in Fall Detection: A Systematic Review” [14], en donde en un trabajo realizado por la Universidad de Ciencias Computacionales de la India realizan un reporte indicando los beneficios de que una cámara con sensores de movimiento son una excelente opción para la vigilancia de los adultos mayores y una respuesta rápida en su atención. El inconveniente de esta solución es el costo y lo restringido que deben estar los adultos mayores para poder ser vigilados dentro de un área específica.
Una propuesta más está en un proyecto presentado por la Universidad de Singapur, en su artículo: “A Comprehensive Survey of Various Approaches on Human Fall Detection for Elderly People”[12], lo oportuno que esta toda la tecnología IoT (Internet de las cosas), para el desarrollo de sensores más pequeños y sensibles que sean colocados en los adultos mayores. Esta es una solución muy apropiada pero algunos sensores propuestos son costosos y/o requieren conexión permanente a Internet inalámbrico.
Otro trabajo más es el sistema IoTE-Fall que emplea un acelerómetro de eje 3D integrado en un de una forma portátil, capaz de capturar en tiempo real los datos de los movimientos de personas mayores. [16], el inconveniente de esta propuesta es la utilización de sensores de alto costo.
El proyecto propuesto propone la construcción de una App colocado en un smartphone de bajas prestaciones que trabajando en un segundo plano vigile el comportamiento de las personas en sus actividades cotidianas. La persona que utilice la aplicación puede usar su móvil en todas sus actividades, cuando se produzca una caída el móvil lanzará SMS hacia una lista de contactos que previamente se han almacenado como cuidadores del comportamiento de los patrones de movilidad de la persona.
Existe una propuesta de un proyecto similar realizada por la universidad Tsinghua de China[3], es similar la propuesta, pero utiliza una versión de Android de china que no permitiría ejecutar la aplicación en equipos latinos.
Una propuesta más es la realizada por Arvind S Kapse, [2] pero en su propuesta se utiliza un software de inteligencia artificial basado en redes neuronales, y por lo tanto disponibles para celulares de alta gama.
Finalmente, la línea de Iphone tiene una App que permite detectar caídas, pero la propuesta de este proyecto está relacionada a una tecnología móvil libre.
El presente artículo presenta la primera fase: la construcción de un repositorio donde se recuperan los datos emitidos por los acelerómetros y se procesan en un repositorio para determinar el mejor algoritmo que tendrá la App final. Consta de las siguientes sesiones “Planteamiento del problema”, donde se definen los antecedentes teóricos para la propuesta de solución de la problemática, “Desarrollo”, en esa sección se describe el proceso utilizado para la construcción de la plataforma que recibe los archivos generados por la App en Android y los dos procesos de análisis que se aplican la información “cruda (no procesada)”, así como las estadísticas que se generan con la información analizada. La siguiente sección del articulo son los “Resultados”, donde se hace referencia a los datos extraídos de la información cuando se han aplicado los algoritmos de análisis a los generados por la App finalmente en la sección “Conclusiones” describimos las decisiones tomadas con el uso de la plataforma y proponemos trabajos futuros en base a la experiencia obtenida.

ISSN: 2007 8102

Metodología

Planteamiento del problema

Los acelerómetros recuperan cientos de registros por segundo llegando a ser miles en fracciones de minutos. Un primer problema que surge es tener una plataforma que nos permita almacenar grandes volúmenes de información de una forma controlada. Esta información es proporcionada por una App cuya única función es la de registrar las variaciones de las aceleraciones de los ejes “x”, “y” y “z”, cuando una persona realiza alguna de las tres actividades básicas, caminar, sentarse o caer. Una propuesta inicial era realizar una conexión hacia el servidor desde la App, consumiendo un servicio web, pero la implementación de esta al ser tan masivas las solicitudes del programa desde el móvil hacia el servidor se provocaba el bloqueo de la recepción del servidor en los primeros cientos de solicitudes.
Por ello se implementó que los datos se guardarán en archivos de texto plano dentro del smartphone y estos se enviarán a la plataforma.

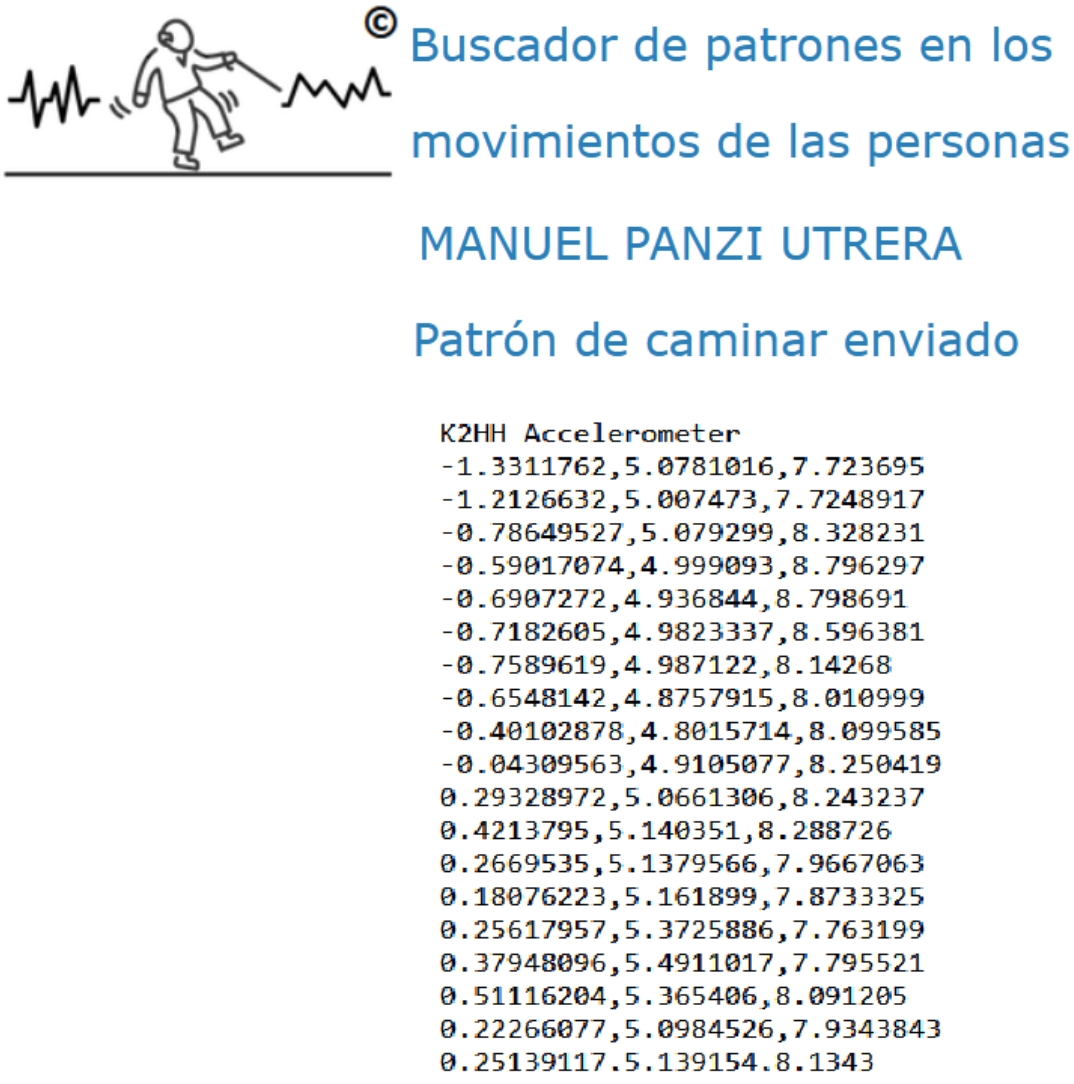


Figura: 1 Consultando un archivo generado por caminar

Como se puede observar en la figura:1, vemos un archivo que hemos llamado: “crudo”, porque solo recupera los datos generados por los acelerómetros en los tres ejes sin ningún proceso previo.
Estos archivos solo capturan los datos que generan los ejes del acelerómetro (por ese motivo lo hemos llamado datos crudos), guardando la dirección de la aceleración en los 3 ejes, cuando se realizan las actividades. En esta

ISSN: 2007 8102

plataforma se da de alta a los participantes y les aparece una pantalla similar a la siguiente cuando ingresan, como se muestra en la figura 2:



Figura: 2 Pantallas de acceso de a la plataforma y las opciones que nos proporciona

En la segunda pantalla el participante puede subir sus archivos de texto plano colocándolos en el lugar que correspondan. Cada archivo de texto plano tiene como primer registro el nombre interno como es conocido por Android el acelerómetro.
Al subir el archivo se solicita información de los datos del participante y el smartphone utilizado, (esto debido a que se les dio la oportunidad a los participantes de utilizar diferentes dispositivos para obtener la mayor cantidad de información posible), como se muestra en la figura 3.



Figura: 3 Solicitud de los datos del celular y la persona que utilizo la aplicación

ISSN: 2007 8102

Esta información nos permite generar estadísticas del comportamiento humano en sus actividades, haciendo comparaciones por la edad, el sexo y tipo de dispositivo
Cuando se ingresa como administrador de la plataforma tenemos un menú de acceso como se muestra en la figura 4:



Figura: 4 Menú de trabajo del administrador principal

Tenemos una opción para agregar la información a la base de datos, Esta información es puesta de una forma que sea fácilmente manejable y procesada, para la aplicación de los algoritmos que buscan patrones de comportamiento.
Una de las opciones importantes de esta plataforma es la visualización de estadísticas básicas, como se muestran en la figura 5. Indicando el número de participantes, el rango de las edades, el sexo, los tipos de dispositivos y sus capacidades, así como el número de archivos enviados y los registros procesados.

ESTADISTICAS		
01	REGISTROS ALMACENADOS	291,338
02	PERSONAS PARTICIPANTES	60
03	MARCAS UTILIZADAS	7
04	MODELOS DIFERENTES UTILIZADOS	42
05	VERSIONES DE ANDROID UTILIZADOS	7
06	ARCHIVOS ENVIADOS	470
07	HOMBRES PARTICIPANTES	39
08	MUJERES PARTICIPANTES	21
09	RANGO DE EDADES	20 - 65

CSVO	MODELO	CANTIDAD
01	HUAWEI	68
02	MOTOROLA	89
03	OPPO	42
04	REALME	3
05	SAMSUNG	167
06	XIAOMI	95
07	ZTE	6

CSVO	ANDROID	CANTIDAD
01	8.0	9
02	8.1	54
03	9.0	76
04	10.0	12
05	11.0	62
06	12.0	158
07	13.0	99

Figura: 5 Estadísticas básicas de la información recuperada

Desarrollo

La metodología de software utilizada en el desarrollo fue uno basado en prototipos, se tomó esta decisión porque nos permite tener App funcionales desde el inicio de desarrollo, además esto permite una mejor comprensión de lo que la plataforma debía hacer al equipo de desarrolladores participantes. Esta metodología de prototipado está relacionada con la mejora continua y el Ciclo de Deming que consiste en aplicar un proceso iterativo enfocado en diseñar, implementar, medir y ajustar un plan.

Nosotros aplicamos 5 etapas en este proceso: definición de requerimientos, definición de herramientas (se seleccionó InVision por la facilidad de manejo), se diseñó el prototipo y finalmente se analizaron los resultados. Para iniciar nuevamente el ciclo de desarrollo.

Cada nuevo ciclo nos daba un prototipo final más cercano a la plataforma que debía ser utilizado por los participantes. Por los límites de los tiempos la plataforma se desarrolló en 3 ciclos, completos.

Participaron varios grupos de alumnos de las carreras de Ingeniería en Sistemas y Computación e Ingeniería en Informática, algunos de los participantes invitaron a sus adultos mayores de sus casas en la realización de la recolección de información.

Los requerimientos que la plataforma necesita fueron los siguientes:

a. Recibir y almacenar en las bases de datos los archivos de texto de los participantes
b. Graficar los datos crudos
c. Realizar procesos aplicando los 2 algoritmos seleccionados para la búsqueda de la mejor opción para el desarrollo de la App
    a. De los dos algoritmos se buscar el que proporcioné más asertividad en las caídas, mejor velocidad de respuesta y bajo consumo de los recursos del dispositivo en su procesamiento.
d. Resultados comparativos entre los algoritmos debido a los grandes volúmenes de información procesados.

Los 2 algoritmos seleccionados son:

$$\|\bar{a}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \|\bar{a}_i\|^2}$$

Ecuación I: Magnitud absoluta

$$Caida = \begin{cases} 1\ Si\ \left|\frac{dA(x)}{dx}\right| \geq 5 \text{ ó } \left|\frac{dA(y)}{dy}\right| \geq 5 \text{ ó } \left|\frac{dA(z)}{dz}\right| \geq 5 \\ 0\ De\ lo\ contrario \end{cases}$$

Ecuación II: Diferenciación

Los autores han propuesto otra serie de algoritmos para el cálculo en los datos recibidos, como por ejemplo “El modelo de las cadenas ocultas de Markov” [5] pero estos bajan mucho el rendimiento de un dispositivo móvil para trabajar en un segundo plano vigilando los patrones de movimiento, otras propuestas son:

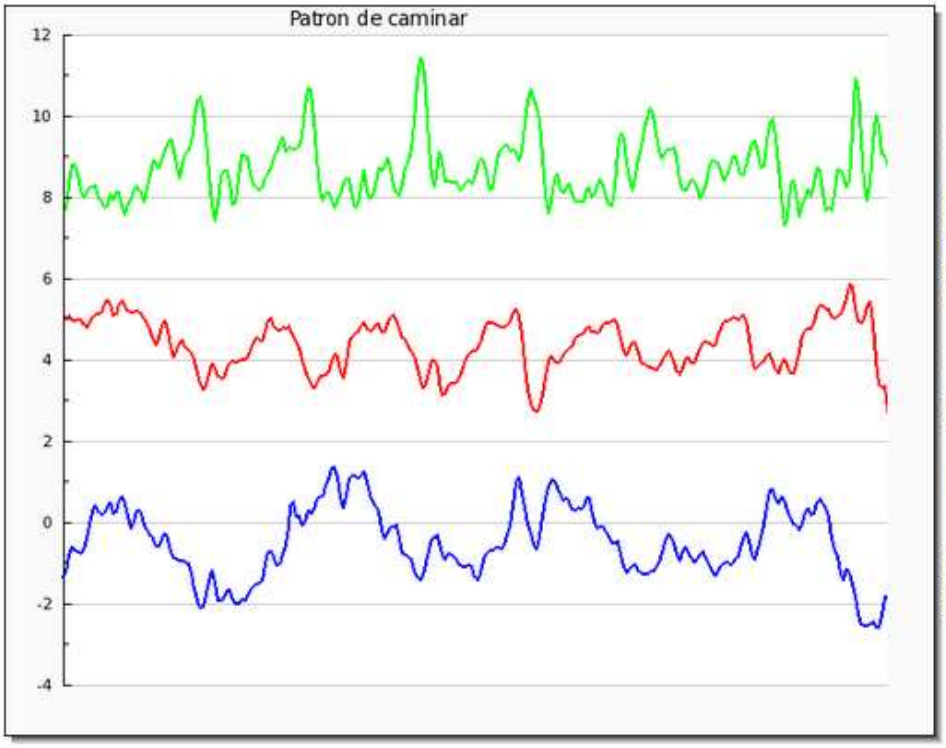
a. Transformadas rápidas de Fourier
b. Algoritmos genéticos

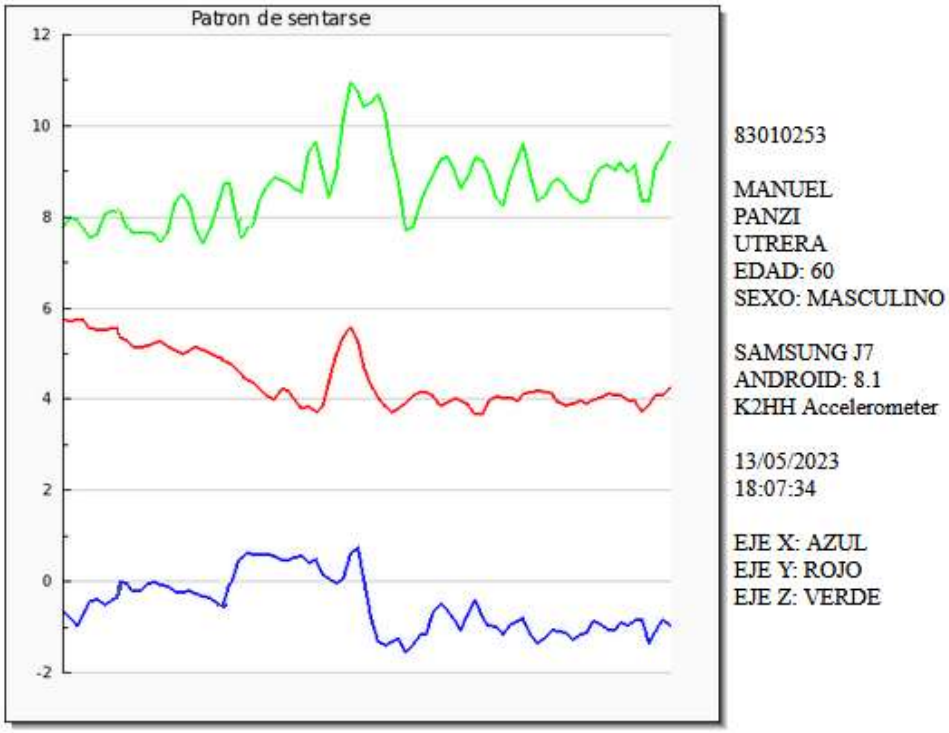
Por ello fueron descartados.

 ISSN: 2007 8102

Resultados

La plataforma nos permite graficar los datos crudos recuperados.





 ISSN: 2007 8102

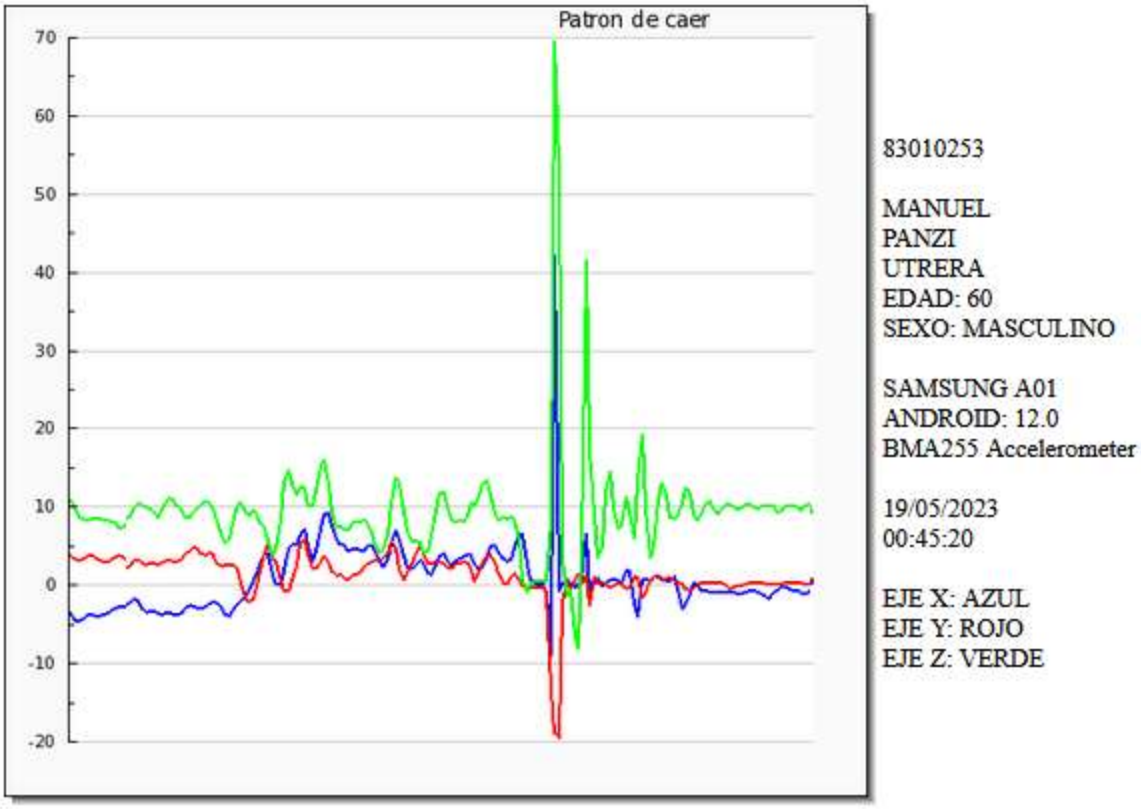


Figura: 6 Lectura del acelerómetro en la actividad de caminar, sentarse y caer

Nos grafica también el paso de estos archivos por los dos algoritmos y sus resultados:

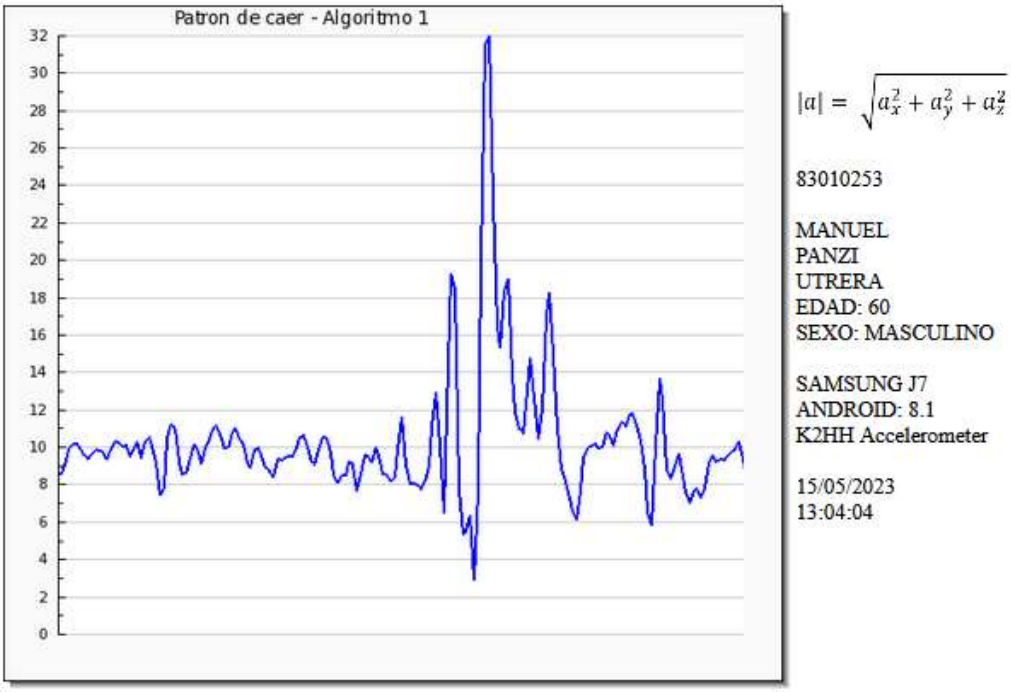


Figura: 7: Gráfica al aplicar el primer algoritmo en la caída de una persona

ISSN: 2007 8102

$$Caida = \begin{cases} 1\ Si\ \left|\frac{dA(x)}{dx}\right| \geq 5\ ó\ \left|\frac{dA(y)}{dy}\right| \geq 5\ ó\ \left|\frac{dA(z)}{dz}\right| \geq 5 \\ 0\ De\ lo\ contrario \end{cases}$$

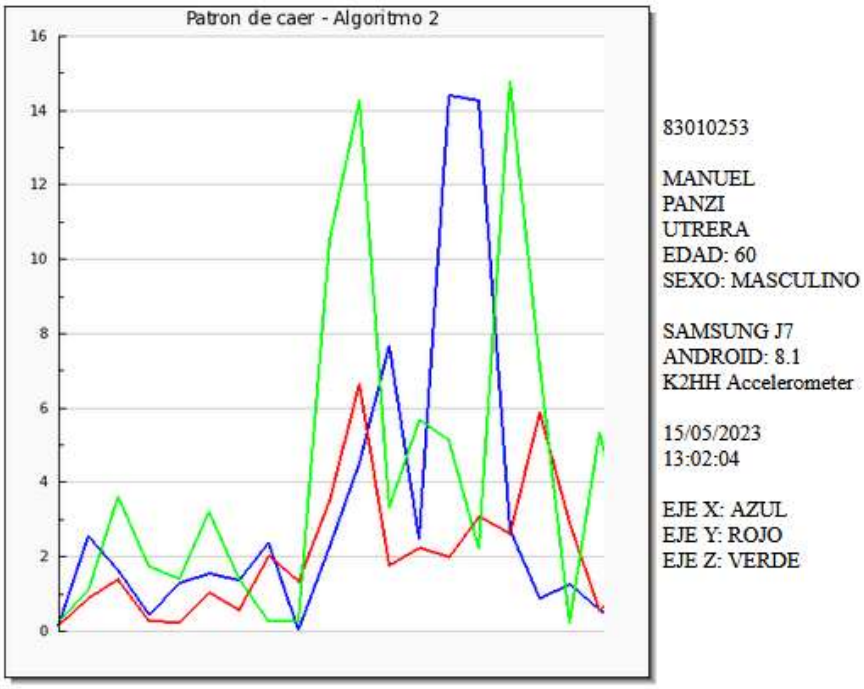


Figura: 8: Gráfica al aplicar el segundo algoritmo en la caída de una persona

Genera una serie de estadísticas con la información procesada:

ALGORITMO 1							
CSVO	EDAD	SEXO	ACCION	MAYOR	MENOR	DIFERENCIA	ACIERTO
001	23	M	CAMINAR	8	4	4	S
002	23	M	CAMINAR	13	7	6	S
003	65	F	CAMINAR	14	6	8	S
004	23	F	CAMINAR	14	8	6	S
005	23	M	CAMINAR	3	3	0	S
006	23	M	CAMINAR	13	7	6	S

ALGORITMO 2							
CSVO	EDAD	SEXO	ACCION	DIF. X	DIF. Y	DIF. Z	ACIERTO
001	23	M	CAMINAR	0	0	4	S
002	23	M	CAMINAR	3	2	1	S
003	65	F	CAMINAR	0	1	1	S
004	23	F	CAMINAR	0	2	1	S
005	23	M	CAMINAR	1	2	3	S
006	23	M	CAMINAR	0	1	1	S

RESULTADOS		
ACTIVIDAD	PARAMETRO PROMEDIO	% DE ACIERTOS
CAMINAR	5.08	96.75
SENTARSE	5.19	94.90
CAER	43.45	98.72

RESULTADOS	
ACTIVIDAD	% DE ACIERTOS
CAMINAR	94.81
SENTARSE	91.72
CAER	90.25

Figura 9: Resultados obtenidos de todos los archivos procesados

La figura 9 nos muestra los resultados finales generados por el análisis de todos los archivos de texto plano recuperados.

Podemos también obtener información por rango de edad, género y/o marca y modelo de dispositivo.

Conclusiones:

Después de revisar los resultados proporcionados por los 2 algoritmos se decidió implementar en la App el algoritmo 1, “Cálculo de la magnitud absoluta”, aunque ambos tienen un consumo de recursos muy similares pero el primero de ellos tiene una asertividad del 98.72 %, contra el 90.25 % del segundo algoritmo. “diferenciación”, es más de un 8 % de acertado.

La plataforma también compara resultados entre los tipos de celular y genero de las personas que participaron en el proyecto. Los resultados son similares, no importa la marca del dispositivo, la versión de Android y el modelo del celular, pero es muy interesante que los patrones de caminar y sentarse (el de caer en todos los casos son caóticos sin importar la persona ni la edad), son ligeramente diferentes si se está dando seguimiento a una persona mayor o a un joven.

Esta decisión se tomo en función de que ambos algoritmos pueden ser ejecutados en celulares de medianas prestaciones sin reducir su desempeño. Pero se seleccionó el segundo porque es mas asertivo.

Se propone también que debido a los volúmenes tan grandes de información generados se recurran almacenamientos en la nube.

Como trabajo propuesto a futuro sería muy conveniente realizar una serie de pruebas con personas mayores contando con el apoyo de personal especializado que apoye en el manejo de esas personas adultas, para reducir los riesgos en la manipulación de este tipo de personas.

Una propuesta futura es también analizar otros factores en las caídas de las personas como la dirección de la misma, la edad de las personas y si tienen enfermedades o defectos en el caminar por lesiones.

Agradecimientos

Queremos agradecer al Tecnológico Nacional México (TecNM), por el soporte económico para el desarrollo de esta investigación, y todas las facilidades proporcionadas por el TecNM/Campus Orizaba / Depto. de Sistemas y Computación en el despliegue del proyecto.

Sobre los autores

Panzi Utrera Manuel, profesor de tiempo completo del TecNM/Campus Orizaba, adscrito al departamento de Sistemas y Computación, Imparte materias en las carreras Sistemas Computacionales e Ingeniería en Informática de desarrollo de aplicaciones móviles y tecnologías web móviles, actualmente se desempeña como jefe de oficina de Investigación de la carrera de Sistemas y Computación.

Venegas García José Alberto profesor de tiempo completo del TecNM/Campus Orizaba, adscrito al departamento de Sistemas y Computación, Imparte materias en las carreras Sistemas Computacionales e Ingeniería en Informática, de instalación segura de servidores y redes de computadoras, actualmente se desempeña como jefe de oficina de Vinculación de la carrera de Sistemas y Computación.

Hernández Acevedo Gustavo profesor de tiempo completo del TecNM/Campus Orizaba, adscrito al departamento de Sistemas y Computación, Imparte materias en las carreras Sistemas Computacionales e Ingeniería en Informática, sobre manejo de bases de datos e interconectividad de redes, actualmente se desempeña como coordinador de tutorías de la carrera de Sistemas y Computación e Ingeniería en Informática.

López Díaz Laura Isela profesor de tiempo completo del TecNM/Campus Orizaba, adscrito al departamento de Sistemas y Computación, Imparte materias en las carreras Sistemas Computacionales e Ingeniería en Informática, sobre metodologías agiles para el desarrollo web, actualmente se desempeña como jefe de oficina de Vinculación de la carrera de Ingeniería en Informática.

Espíritu Castro Adolfo Iván profesor de tiempo completo del TecNM/Campus Orizaba, adscrito al departamento de Ciencias Básicas, Imparte materias en las carreras Sistemas Computacionales e Ingeniería en Informática, series de Fourier y ecuaciones diferenciales, actualmente se desempeña como jefe del departamento de Ciencias Básicas.

Bibliografía

[1] ANUIES. (20 de 06 de 2018). *Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior* . Obtenido de Home: http://www.anuies.mx/

[2] A. S. Kapse, S. Shoba, R. Tamuli, A. Sinha and S. Samantara (22 de 02 de 2022), "Android Based Fall Detection and Tracking App for Aged People," 2022 Second International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS), Coimbatore, India, 2022, pp. 1113-1116, doi: 10.1109/ICAIS53314.2022.9743024.

[3] A. S. Kapse, S. Shoba, R. Tamuli, A. Sinha and S. Samantara (2022), *Android Based Fall Detection and Tracking App for Aged People*, 2022 Second International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS), Coimbatore, India, 2022, pp. 1113-1116, doi: 10.1109/ICAIS53314.2022.9743024.

[4] Calero Morales S., Klever Díaz T., Caiza Cumbajin M. R., Rodríguez Torres Á. F., (2016), Analuiza, E. F. *Influencia de las actividades físico-recreativas en la autoestima del adulto mayor. Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas, 35(4), 366-374*. Recuperado en 13 de julio de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002016000400007&lng=es&tlng=pt.

[5] Cerda D.L:. (01 de 03 de 2014). Manejo del Tastorno de marcha del adulto mayor. *[2, p. 268] D. L. Cerda, "Manejo del trastorno de marcha del adulto mayor", Revista Médica Clínica Las Condes, vol. 16, n.º 2, p. 265–275,* , disponible: https://www.sciencedirect.com/science/articl

[6] Dongha L. (17 de 09 de 2020) *Fall-Detection Algorithm Using 3-Axis Acceleration: Combination with Simple Threshold and Hidden Markov Model,* Journal of Applied Mathematics, Volumen 2020, https://doi.org/10.1155/2014/346030

[7] Daohua P., Hongwei L., (31 de 10 de 2020), *Human Falling Detection Algorithm Based on Multisensor Data Fusion with SVM, Volume 2020 | Article ID 8826088 | https://doi.org/10.1155/2020/8826088*

[8] INEGI. (01 de 01 de 2022). *"Estadísticas a propósito del día internacional de las personas adultas mayores".* Obtenido de INEGI: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2022/EAP_ADULMAY2022.pdf

[9] Kapse, A. S., Shoba, S., Tamuli, R., Sinha, A., & Samantara, S. (2022, February). *Android based fall detection and tracking app for aged people. In 2022 Second International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy* (ICAIS) (pp. 1113-1116). IEEE.

[10] Ortiz, K. J. P., & Martin, A. I. (2020). *Fall detection, location and identification for elderly institution*. https://doi.org/10.1145/3441233.3441245

[11] Padilla R.: (02 de 04-05 de 2022), *Juegos para disminuir las posibilidades de caídas por pérdida de equilibrio en los adultos mayores", vol. 18 n. °2, abril-junio 2022, ISSN: 1817-9088, Disponible: https.//olimpia.udg.co.cu*

[12] Parmar, R., Trapasiya, S. (2022). *A Comprehensive Survey of Various Approaches on Human Fall Detection for Elderly People. Wireless Pers Commun* 126, 1679–1703. https://doi.org/10.1007/s11277-022-09816-6

[13] Staranowicz A., Garrett B. and Mariottini G. (2020) *Evaluating the Accuracy of a Mobile Kinect-Based Gait-Monitoring System for Fall Prediction, pp. 1-4.* Recuperado en 01 de julio de 2023, Association for Computing Machinery. De https://doi.org/10.1145/2504335.2504396

[14] Tanwar R., Nandal N., Zamani M., Manaf A.(2022), *Pathway of Trends and Technologies in Fall Detection: A Systematic Review, Healthcare*, Recuperado en 10 de julio de 2023, https://doi.org/10.3390/healthcare10010172

[15] Visiting Angels Mexico. (30 de 03 de 2021), *El Riesgo de las Caídas en el Adulto Mayor, https://visitingangels.com.mx/el-riesgo-de-las-caidas-en-el-adulto-mayor/, (Recuperado el 25 de junio de 2023).*

ISSN: 2007 8102

[16] Yacchirema, D., de Puga, J.S., Palau, C. (2 de 01 de 2019) *Fall detection system for elderly people using IoT and ensemble machine learning algorithm*. Pers Ubiquit Comput 23, 801–817. https://doi.org/10.1007/s00779-018-01196-8

ISSN: 2007 8102

Evaluación de Algoritmo Bio-inspirado y Evolución Diferencial en Funciones Unimodales y Multimodales

Abel Salas Leal[1*], Hernán Peraza Vázquez[2], *Adrián Fermín Peña Delgado*[3],
[1,2]*Instituto Politécnico Nacional, CICATA Altamira,* [1]*asalasl2100@alumno.ipn.mx y* [2]*hperaza@ipn.mx,*
[3]*Universidad Tecnológica de Altamira y apea@utaltamira.edu.mx*
***Área de participación**: Sistemas Computacionales*

Resumen
Las metaheurísticas ofrecen un enfoque flexible en comparación a los métodos numéricos en la resolución de problemas complejos de diversas áreas, permitiendo encontrar soluciones cercanas al óptimo en situaciones donde los métodos tradicionales resultan ineficaces o inviables. En este trabajo se presenta la adaptación de la metaheurística JSOA de MATLAB a Python, llamada PyJSOA, y se comparó contra seis algoritmos de evolución diferencial. Las cuales se evaluaron contra veinticuatro funciones objetivo de prueba de la literatura, tanto multimodales como unimodales. Y mediante gráficas de convergencia se analizó la capacidad de exploración y explotación de los algoritmos en la búsqueda del valor optimo, adicionalmente se analizó estadísticamente el rendimiento del algoritmo mediante el calculo del error absoluto medio.

***Palabras clave**: Metaheurísticas, Algoritmos Bio-inspirados, Python*

Abstract
The Metaheuristics provide a flexible approach compared to numerical methods in solving complex problems across various domains, enabling the discovery of near-optimal solutions in situations where traditional methods prove ineffective or unfeasible. This research presents the adaptation of the JSOA metaheuristic from MATLAB to Python, called PyJSOA, which was compared against six differential evolution algorithms. Twenty-four bench test functions taken from the literature, multimodal or unimodal, were evaluated. Convergence graphs were used to analyze the exploration and exploitation capabilities of the algorithms in the search for the optimal value, in addition the PyJSOA performance was statistically analyzed by the mean absolute error.

***Key words**: Metaheuristics, Bio-inspired algorithms, Python*

Introducción
Python es un lenguaje de programación ampliamente usado en múltiples sectores tanto industriales como científicos, puesto que es empleado para tareas importantes como el análisis y la minería de datos [1], además es el principal exponente en el desarrollo de modelos de inteligencia artificial [2]. Por otra parte, la incursión de Python en la labor científica ha concebido aplicaciones del lenguaje tales como: simulaciones de estructuras atómicas [3] y moleculares [4], algoritmos para predecir el crecimiento de cultivos [5], así como métodos de solución a problemas de optimización con restricciones [6], entre otras. Particularmente los problemas de optimización son de especial interés dada su trasversalidad que abarca desde diseños de mecanismos [7] hasta optimización de procesos de síntesis [8]. En los problemas de optimización [9] se desea maximizar o minimizar una función dado un conjunto de variables de entrada, matemáticamente este tipo de problemas se describe de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} &\min f(\bar{x}), \bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_D) \in \Re^D \\ &s.t. \quad g_i(\bar{x}) \leq 0, i = 1, \dots, p, \\ &\quad h_j(\bar{x}) = 0, j = 1, \dots, p, \\ &\quad x_k^{(l)} \leq x_k \leq x_k^{(u)} \end{aligned} \tag{1}$$

En donde $f(\bar{x})$ es la función objetivo a minimizar, $\bar{x}$ es el conjunto de valores de entrada el cual es un vector de números reales de D elementos. Mientras que g_i y h_j son restricciones, de desigualdad e igualdad respectivamente, que $\bar{x}$ debe cumplir, por último, cada valor de x_k es acotado por un límite inferior $x_k^{(l)}$ y uno superior $x_k^{(u)}$. Cuando $\bar{x}$ minimiza a $f(\bar{x})$ pero incumple una o varias restricciones se dice que es una solución

ISSN: 2007 8102

inviable. Cabe señalar que una función objetivo puede o no tener restricciones esto dependerá de la naturaleza del problema que se esté abordando, para efecto de este trabajo las funciones objetivo son sin restricciones.

Este tipo de problemas (*ecuación 1*) también son llamados problemas de programación no lineales (NPL) y se caracterizan por tener espacios de búsquedas complejos para métodos exhaustivos y numéricos. Por ello se desarrollaron los métodos de soluciones metaheurísticos, los cuales incorporan procesos estocásticos en la búsqueda del óptimo. El algoritmo de evolución diferencial [10] o DE es una de las metaheurísticas clásicas ampliamente usada para este tipo de problemas y su funcionamiento se basa en la evolución de vectores mediante la cual se recorre el espacio de búsqueda.

Otro enfoque de las metaheurísticas son los algoritmos bio-inspirados [10,11] que basan sus estrategias de búsqueda del óptimo en fenómenos químicos, físicos o biológicos, así como también en comportamientos de especies animales o microorganismos. Por ejemplo, el algoritmo bio-inspirado JSOA [13] por sus siglas en inglés Jumping Spider Optimization Algorithm, desarrollado en MATLAB, toma las estrategias de caza y búsqueda que emplea la araña Arachnida Salticidade y fue empleado en la optimización de seis problemas de ingeniería. Sin embargo, debido a la naturaleza estocástica de las metaheurísticas y a la complejidad de los espacios de búsqueda, no existe una metaheurística capaz de optimizar de forma general cualquier función objetivo. Para determinar, por tanto, su eficiencia, es necesario analizar su capacidad de exploración y explotación, es decir, la capacidad de búsqueda global y local de la solución, respectivamente. Para ello se emplean funciones objetivo multimodales y unimodales. Las funciones multimodales permiten comprobar si el algoritmo es capaz de buscar globalmente, evitando quedar atrapado en mínimos locales. Por otro lado, las funciones unimodales ponen a prueba la habilidad del algoritmo para encontrar mínimos locales de manera efectiva.

Dado el crecimiento exponencial de Python en múltiples áreas tanto industriales como científicas, emerge la imperante necesidad de desarrollar algoritmos para la resolución de problemas de optimización en este lenguaje, por ello este trabajo crea la variante PyJSOA el cual fue ponderaron contra cinco variantes del algoritmo de evolución diferencial (Tabla 1), así como contra veinticuatro funciones objetivos de prueba de las cuales once son unimodales y trece multimodales. La ponderación se realizó mediante el cálculo del Error Absoluto Medio [14] o MAE *(ecuación 11)* por sus siglas en inglés (Mean Absolute Error). Además, se obtuvieron las gráficas de convergencia (figura 5) de cada una de las funciones objetivo, y de esta forma se visualizó cómo evolucionan las soluciones a lo largo de las generaciones, identificando así la rapidez y estabilidad de convergencia de cada algoritmo evaluado. El tamaño de la población empleado es 30 con un número de generaciones de 200, para el cálculo del MAE se realizaron 30 repeticiones.

Metodología

Equipo y software de desarrollo

Los algoritmos fueron desarrollados en Python, particularmente en Jupyter notebooks, y ejecutados con el sistema operativo Linux Mint 21.1 en un equipo con procesador AMD Ryzen 5, 4000 series y 8 Gb de Ram. El código empleado para este trabajo de investigación se encuentra disponible en https://github.com/AbelS4l4S/PyJSOA

Estructura general de una metaheurística

Tanto los algoritmos de evolución diferencial, como el bio-inspirado JSOA son metaheurísticas basadas en la recombinación de poblaciones de vectores $\bar{x}$ a través de un proceso iterativo de generaciones, descrito en la *Figura 1*

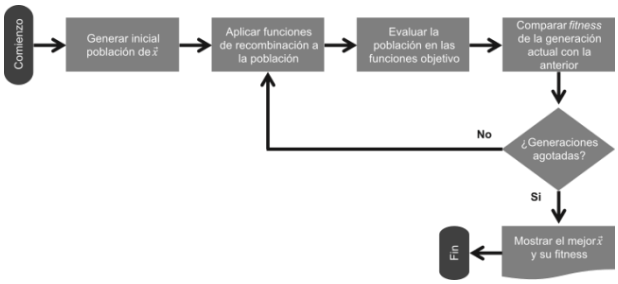


Figura 1 Ejecución de general de un algoritmo metaheurístico.

De forma general, la población de vectores en la generación g se representa como $X^g = \left(\bar{x}_1^g, \dots, \bar{x}_k^g, \dots, \bar{x}_{N_p}^g\right)$ en donde $g = 1, \dots, G_{max}$ siendo G_{max} la cantidad máxima de generaciones definida por el usuario. Mientras que N_p es el tamaño de la población, también definida por el usuario. Cada vector $\bar{x}_k^g$ representa una posible solución al problema de optimización planteado por *ecuación 1,* de forma general todos los vectores se expresan como:

$$\bar{x}_i^g = \left(x_{i,1}^g, \dots, x_{i,D}^g\right), i = 1, \dots, N_p \qquad (2)$$

En la primera fase del proceso, cuando X^1, se genera una población de soluciones candidatas al problema, también llamada población de prueba U, en donde cada elemento de $\bar{x}_i^1$ es generado aleatoriamente dentro de una distribución uniforme: $x_{i,j}^1 \backsim U\left[x_j^{(l)}, x_j^{(u)}\right]$.

Posteriormente U es evaluada en la función objetivo y se conforma una nueva población X para la siguiente generación $(g+1)$:

$$\bar{x}_i^{g+1} = \begin{cases} \bar{u}_i^{g+1}, & \text{si } f\left(\bar{u}_i^{g+1}\right) \le f\left(\bar{x}_i^g\right) \\ \bar{x}_i^g, & \text{de otra forma} \end{cases} \qquad (3)$$

Al evaluar $f\left(\bar{u}_i^{g+1}\right)$ se dice que se calcula el *fitness* del vector de prueba, si este fitness es menor o igual al de su predecesor $\bar{x}_i^g$ el vector $\bar{u}_i^{g+1}$ tomará su lugar en la siguiente generación y una vez conformada X^{g+1} las metaheurísticas emplean sus métodos de recombinación en ella, concibiendo así una nueva U. La cual será evaluada nuevamente y el proceso se repetirá hasta que $g = G_{max}$.

Métodos de recombinación: Evolución diferencial (DE)

La evolución diferencial se basa en la mutación y cruzamiento de los vectores de X^g con el propósito de generar nuevos vectores que recorran el espacio búsqueda con el objeto encontrar una mejor solución que minimice a f. El proceso de mutación para todo $\bar{x}_i^g, i = 1, \dots, N_p$ es dado por:

$$\bar{v}_i^{g+1} = \bar{x}_{r1}^g + F\left(\bar{x}_{r2}^g - \bar{x}_{r3}^g\right) \qquad (4)$$

En donde $\bar{v}_i^{g+1}$ es el vector mutado y $r_1, r_2, r_3 \in \{1, 2, \dots, N_P\}$ son índices aleatorios enteros mutuamente diferentes, y no iguales a i. Los cuales representan a tres vectores aleatorios de N_P, esto sugiere que N_P al menos debe ser cuatro. Por otro lado, F es un factor aleatorio $\in [0,2]$ que regula la amplificación de la operación vectorial. Para generar los vectores $\bar{u}_i^{g+1}$ de prueba que serán evaluados en f se realiza un cruzamiento entre x_i^g y $\bar{v}_i^{g+1}$ dado por:

$$u_{j,i}^{g+1} = \begin{cases} v_{j,i}^{g+1}, & \text{si } randb(j) \le CR \text{ ó } j = rnbr(i) \\ x_{j,i}^g, & \text{si } randb(j) \le CR \text{ y } j \ne rnbr(i) \end{cases} \qquad (5)$$

En la *ecuación 5* $j = D$ y $randb(j)$ es la j-esíma evaluación de un número generado aleatoriamente uniformemente distribuido dentro del intervalo cerrado $[0,1]$. Por su parte CR es la constante de cruzamiento que cuyo valor $\in [0,1]$ determinada por el usuario, este parámetro incide en que tan frecuentemente se realiza el cruzamiento de un vector. En cuanto $rnbr(i) \in 1,2, \dots, D$ es un índice generado aleatoriamente.

Para este trabajo se tomaron cinco variantes del DE las cuales operan de la misma forma que el algoritmo de DE descrito anteriormente, la diferencia reside en el proceso de mutación que se describen en la Tabla 1. En estas variantes participa en el proceso de mutación $\bar{x}_{best}^g$ el cuál es el vector de la generación que mejor fitness obtuvo.

Tabla 1 Descripción de las variantes de DE empleadas, DE/rand/1/bin es la variante original propuesta por [15]

Variante DE	Mutación
DE/best/1/bin	$\bar{v}_i^{g+1} = \bar{x}_{best}^g + F\left(\bar{x}_{r1}^g - \bar{x}_{r2}^g\right)$
*DE/rand/1/bin	$\bar{v}_i^{g+1} = \bar{x}_{r1}^g + F\left(\bar{x}_{r2}^g - \bar{x}_{r3}^g\right)$
DE/best/2/bin	$\bar{v}_i^{g+1} = \bar{x}_{best}^g + F\left(\bar{x}_{r1}^g + \bar{x}_{r2}^g - \bar{x}_{r3}^g - \bar{x}_{r4}^g\right)$
DE/rand/2/bin	$\bar{v}_i^{g+1} = \bar{x}_{r5}^g + F\left(\bar{x}_{r1}^g + \bar{x}_{r2}^g - \bar{x}_{r3}^g - \bar{x}_{r4}^g\right)$

DE/rand-to-best/1/bin	$\bar{v}_i^{g+1} = \bar{x}_i^g + F(\bar{x}_{best}^g - \bar{x}_i^g) + F(\bar{x}_{r1}^g - \bar{x}_{r2}^g)$
DE/rand-to-best/2/bin	$\bar{v}_i^{g+1} = \bar{x}_i^g + F(\bar{x}_{best}^g - \bar{x}_i^g) + F(\bar{x}_{r1}^g - \bar{x}_{r2}^g) + F(\bar{x}_{r3}^g - \bar{x}_{r4}^g)$

Métodos de recombinación: JSOA

Estos surgen del análisis matemático de los siguientes comportamientos de la araña Arachnida Salticidade (Figura 2): su salto sobre la presa (Figura 3), la persecución sobre su presa, así como la búsqueda de sus presas, además del cómputo de las feromonas de la araña.



Figura 2 Araña Arachnida Salticidade



Figura 3 A la Arachnida Salticidade se le conoce así debido a su característico salto parabólico por el cual se desplaza y caza insectos.

La estrategia de persecución es análoga al desplazamiento de los vectores de DE, en esta estrategia se calcula la posición de una presa denotada por $\bar{v}_i^{g+1}$ la *ecuación 5*.

$$\bar{v}_i^{g+1} = \frac{1}{2}(\bar{x}_i^g - \bar{x}_r^g) \qquad (5)$$

En la ecuación superior $\bar{x}_i^g$ es la posición actual del agente de búsqueda mientras que $r \in 1, \dots, N_p \neq i$ es un índice entero tomado aleatoriamente. La caza por salto de la araña se define como:

$$\bar{v}_i^{g+1} = \bar{x}_i^g \tan(\alpha) - \frac{G(\bar{x}_i^g)^2}{2(V_0)^2 \cos^2(\alpha)} \qquad (6)$$

La ecuación 6 es una representación del tiro parabólico que realiza el agente de búsqueda al saltar, por ello se contempla la fuerza de gravedad en la fórmula $G = 9.80665\ m/s^2$ así como la velocidad inicial que imprime la araña en su salto $V_0 = 100\ mm/s$. Derivado a que la araña realiza sus saltos en función de la posición de la presa su ángulo de salto no suele ser el mismo por ello los agentes de búsqueda realizaran saltos con un ángulo α cuyo valor esta dado por $\alpha = \frac{\phi\pi}{180}$ en donde ϕ es un valor generado aleatoriamente $\in (0,1)$. Con ello se replica los saltos que una Arachnida Salticidade realiza según su circunstancia.

JSOA mimetiza la búsqueda de la presa que emprende una araña saltona de forma local y de forma global, las cuales se describen en la siguiente Figura 4.

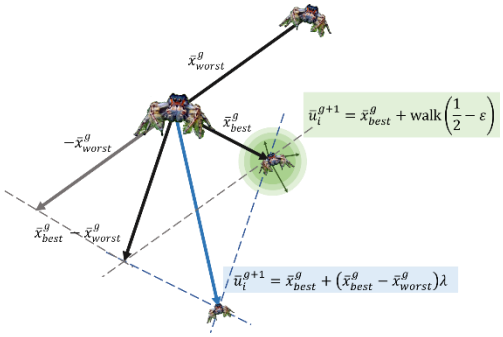


Figura 4 Representación vectorial de la búsqueda local y global de una presa.

ISSN: 2007 8102

La búsqueda local es dada por:

$$\bar{v}_i^{g+1} = \bar{x}_{best}^{g} + \text{walk}\left(\frac{1}{2} - \varepsilon\right) \quad (7)$$

En donde $\text{walk}\left(\frac{1}{2} - \varepsilon\right)$ es un pseudo número aleatorio con una distribución uniforme en $(-2,2)$ mientras que $\varepsilon \in (0,1)$ es también un pseudo número aleatorio con una distribución normal. Gracias a ello el radio de búsqueda local nunca es el mismo permitiendo al algoritmo realizar en ocasiones búsquedas locales exhaustivas y en otras ocasiones búsquedas locales acotadas. En otro tenor la busque global está dada por:

$$\bar{v}_i^{g+1} = \bar{x}_{best}^{g} + \left(\bar{x}_{best}^{g} - \bar{x}_{worst}^{g}\right)\lambda \quad (8)$$

En donde $\bar{x}_{worst}^{g}$ es el pero vector de X^g y λ es un número aleatorio de cauchy con μ puesto a 0 y θ en 1. Al final de cada generación se realiza el computo de las feromonas (*ecuación 9)* de cada agente de búsqueda, para ello es necesario haber calculado previamente los *fitness* de la generación y con ello determinar a $Fitness_{max}$ y al $Fitness_{min}$ de la generación.

$$\text{Phrms}(i) = \frac{Fitness_{max} - f(\bar{x}_i^{g})}{Fitness_{max} - Fitness_{min}} \quad (9)$$

Posteriormente se computa la *ecuación 9*:

$$\bar{u}_i^{g+1} = \begin{cases} \bar{x}_{best}^{g} + \frac{1}{2}\left[\bar{x}_{r_1}^{g} - (-1)^{\sigma}\left(\bar{x}_{r_2}^{g}\right)\right], \text{ si } Phrms(i) \leq 0.3 \\ \bar{v}_i^{g+1} \qquad \text{de otra forma} \end{cases} \quad (10)$$

En la ecuación superior $r_1, r_2 \in 1, \ldots, N_p$ son números enteros aleatorios no iguales entre sí, mientras que $\sigma \in \{0,1\}$ es un número binario aleatorio.

Descripción de funciones objetivo de prueba

Las funciones objetivo contra las que se probaron los algoritmos se describen en la tabla 2 y tabla 3. Siendo un total de veinticuatro funciones las cuales son: Ackley, Brown, Exponential, Griewank, HappyCat, Michalewicz, Periodic, Powell, Quartic, Rastrigin, Rosenbrock, RotatedHyperEllipsoid, Salomon, Schwefel 2.20, Schwefel 2.21, Schwefel 2.22, Schwefel 2.23, Sphere, SumSquares, Thevenot, XinSheYang, XinSheYangN2, XinSheYangN3, XinSheYangN4 y Zakharov. Todas ellas de n-esíma dimensión e identificadas por F01 hasta F24 en el orden de mención. Para esta investigación la dimensión fue fijada en 30.

Tabla 2 Clasificación de las funciones objetivo de prueba

ID	Unimodal		Multimodal		Separable		Convexa		Diferenciable		Continua		Aleatoria	
					Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
F01			x		x			x	x		x			x
F02	x					x	x		x		x			x
F03	x				x		x		x		x			x
F04			x		x			x	x		x			x
F05			x			x		x	x		x			x
F06			x		x			x	x		x			x
F07			x			x		x	x		x			x
F08	x				x		x			x	x			x
F09			x		x			x	x		x		x	
F10			x		x			x	x		x			x
F11			x			x		x	x		x			x
F12	x					x	x		x		x			x
F13			x			x		x	x		X			x
F14	x				x		x			x	x			x
F15	x				x		x			x	x			x
F16	x				x		x			x	x			x
F17	x				x		x			x	x			x
F18	x				x		x			x	x			x
F19	x				x		x		x			x		x
F20			x		x			x	x		x			x
F21			x		x			x		x		x	x	
F22			x			x	x			x		x		x
F23	x					x	x		x		x			x
F24			x			x		x		x		x		x

 ISSN: 2007 8102

Tabla 3 Descripción matemática de las funciones objetivo de prueba

ID	Nombre	Función	Intervalo	$f(min)$
F01	Ackley	$-a\cdot\exp\left(-b\sqrt{\frac{1}{d}\sum_{i=1}^{d}x_i^2}\right)-\exp\left[\frac{1}{d}\sum_{i=1}^{d}\cos(c\cdot x_i)\right]+a+\exp(1)$	$[-32,32]$ $a=20,b=0.2,c=2$	0
F02	Brown	$\sum_{i=1}^{d-1}\left(x_i^2\right)^{\left(x_{i+1}^2+1\right)}+\left(x_{i+1}^2\right)^{\left(x_i^2+1\right)}$	$[-1,4]$	0
F03	Exponential	$-\exp\left(-0.5\sum_{i=1}^{d}x_i^2\right)$	$[-1,1]$	-1
F04	Griewank	$1+\sum_{i=1}^{d}\frac{x_i^2}{4000}-\prod_{i=1}^{d}\cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right)$	$[-600,600]$	0
F05	HappyCat	$[(\|x\|^2-d)^2]^{\alpha}+\frac{1}{d}\left(\frac{1}{2}\|x\|^2+\sum_{i=1}^{d}x_i\right)+\frac{1}{2}$	$[-2,2]$ $\alpha=0.5$	0
F06	Michalewicz	$-\sum_{i=1}^{d}\sin(x_i)\sin\left(\frac{ix_i^2}{\pi}\right)^{2m}$	$[0,\pi]$	≈ -1.8013
F07	Periodic	$1+\sum_{i=1}^{d}\sin(x_i)-0.1\exp\left(-\sum_{i=1}^{d}x_i^2\right)$	$[-10,10]$	0.9
F08	Powell	$\sum_{i=1}^{d}\|x_i\|^{i+1}$	$[-1,1]$	0
F09	Quartic	$\sum_{i=1}^{d}ix_i^4+\text{random}[0,1)$	$[-1.28,1.28]$	$0+\text{ruido}$
F10	Rastrigin	$\sum_{i=1}^{d}[x_i^2-10\cos(2\pi x_i)]$	$[-5.12,5.12]$	0
F11	Rosenbrock	$\sum_{i=1}^{d-1}\left[b\left(x_{i+1}-x_i^2\right)^2+(a-x_i)^2\right]$	$[-5,10]$	0
F12	RotatedHyperEllipsoid	$\sum_{i=1}^{d}\sum_{j=1}^{i}x_j^2$	$[-65.536,65.536]$	0
F13	Salomon	$1-\cos\left(2\pi\sqrt{\sum_{i=1}^{d}x_i^2}\right)+0.1\sqrt{\sum_{i=1}^{d}x_i^2}$	$[-100,100]$	0
F14	Schwefel 2.20	$\sum_{i=1}^{d}\sum_{j=1}^{i}x_j^2$	$[-100,100]$	0
F15	Schwefel 2.21	$\max_{i\in[\![1,d]\!]}\|x_i\|$	$[-100,100]$	0
F16	Schwefel 2.22	$\sum_{i=1}^{d}\|x_i\|+\prod_{i=1}^{d}\|x_i\|$	$[-100,100]$	0
F17	Schwefel 2.23	$\sum_{i=1}^{d}x_i^{10}$	$[-10,10]$	0
F18	Sphere	$\sum_{i=1}^{d}x_i^2$	$[-5.12,5.12]$	0
F19	SumSquares	$\sum_{i=1}^{d}ix_i^2$	$[-10,10]$	0
F20	Thevenot	$\exp\left[-\sum_{i=1}^{d}\left(\frac{x_i}{\beta}\right)^{2m}\right]-2\exp\left(-\prod_{i=1}^{d}x_i^2\right)\prod_{i=1}^{d}\cos^2(x_i)$	$[-2\pi,2\pi]$ $m=5,\beta=15$	-1
F21	XinSheYang	$\sum_{i=1}^{d}\text{random}_i\ [0,1)\ \|x_i\|^i$	$[-5,5]$	0
F22	XinSheYangN2	$\left(\sum_{i=1}^{d}\|x_i\|\right)\exp\left[-\sum_{i=1}^{d}\sin\left(x_i^2\right)\right]$	$[-2\pi,2\pi]$	0
F23	XinSheYangN3	$\exp\left[-\sum_{i=1}^{d}\left(\frac{x_i}{\beta}\right)^{2m}\right]-2\exp\left(-\sum_{i=1}^{d}x_i^2\right)\prod_{i=1}^{d}\cos^2(x_i)$	$[-2\pi,2\pi]$ $m=5,\beta=15$	-1
F24	XinSheYangN4	$\left[\sum_{i=1}^{d}\sin^2(x_i)-\exp\left(-\sum_{i=1}^{d}x_i^2\right)\right]\exp\left(-\sum_{i=1}^{d}\sin^2\sqrt{\|x_i\|}\right)$	$[-10,10]$	-2

Parámetros de los algoritmos

Para esta investigación $N_p = 30$, con 200 generaciones para todos los algoritmos, con un factor de cruzamiento de $CR = 0.3$ en el caso de los algoritmos de evolución diferencial.

Cálculo del Error medio absoluto (MAE)

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|m_i - p_i\right|}{n} \qquad (11)$$

La métrica del error medio absoluto [16] permitió evaluar la calidad del desempeño de cada uno de los algoritmos analizados, n es la cantidad de veces que se itero cada función objetivo, mientras que m_i es el promedio de los valores óptimos encontrados en cada iteración y p_i es el mejor de todos ellos.

Resultados y discusión

Ponderación MAE

En la siguiente tabla se observa los resultados del cómputo del error absoluto medio, la cual denota el promedio de las distancias de los valores óptimos respecto a la mejor solución obtenida en cada una de las funciones objetivos de prueba. Entre menor sea el resultado menor será la variación de los valores óptimos calculados.

Tabla 4 Metaheurísticas clasificadas del menor al mayor valor obtenido por MAE

Algoritmo	MAE	Ranking
PyJSOA	9.117×10^{-2}	1
DE/best/2/bin	1.765×10^{2}	2
DE/best/1/bin	1.046×10^{3}	3
*DE/rand/1/bin	4.513×10^{8}	4

ISSN: 2007 8102

DE/rand/2/bin	3.015×10^{17}	*5*
DE/rand-to-best/1/bin	6.296×10^{22}	*6*
DE/rand-to-best/2/bin	6.997×10^{27}	7

Desempeño algoritmos

Por otra parte, la tabla 5 muestra de forma detallada el desempeño de cada algoritmo en cada función objetivo de prueba, en esta tabla se muestra el mejor valor (M) obtenido por el algoritmo en la F-esíma función de prueba, así como el promedio (P) de todos los valores óptimos calculados por el algoritmo. Además de la desviación estándar de estos valores (Std). Se espera de un buen algoritmo que P sea lo más cercano a $\boldsymbol{f(min)}$**,** pero también que Std de los valores óptimos sea la menor posible. Por último, la figura 5 muestra como los valores óptimos de los algoritmos fueron evolucionando a través de las generaciones. Si el algoritmo no converge hasta el óptimo es un indicio que explotación (Si F es unimodal) o explotación (Si F es multimodal) son limitadas.

Tabla 5 Resultados obtenidos de las metaheurísticas evaluadas.

ID	$f(min)$	JSOA			DE/best/1/bin			DE/rand/1/bin			DE/best/2/bin		
		M	P	Std	M	P	Std	M	P	Std	M	P	Std
F01	0	4.44×10^{-16}	4.44×10^{-16}	0.0	3.9266	16.0620	5.8696	19.6055	19.8837	0.0567	19.8752	19.9109	0.0147
F02	0	0.0	0.0	0.0	8.28×10^{-4}	4.09×10^{-3}	4.44×10^{-16}	0.2182	0.4607	0.1954	2.21×10^{-2}	8.23×10^{-2}	1.78×10^{-1}
F03	−1	−1.0	−1.0	0.0	-9.99×10^{-1}	-9.99×10^{-1}	1.57×10^{-4}	−0.9751	−0.9483	0.0113	−0.9977	−0.9951	1.91×10^{-3}
F04	0	0.0	0.0	0.0	1.0084	1.0617	3.33×10^{-2}	5.8318	10.0980	2.1907	1.1983	2.0521	0.48005
F05	0	1.77×10^{-2}	4.22×10^{-2}	2.34×10^{-1}	1.9×10^{-1}	3.73×10^{-1}	8.39×10^{-2}	0.4130	0.5435	0.0882	0.3029	0.4306	7.88×10^{-2}
F06	≈ −1.8013	−11.7687	−10.1357	0.7199	−19.8550	−18.4292	0.9396	−17.0647	−14.6938	0.9269	−17.3223	−14.4382	1.3416
F07	0.9	0.9	0.8999	2.22×10^{-16}	1.6112	2.2046	0.3642	3.1677	4.0968	0.3206	3.5068	4.0104	0.3874
F08	0	0.0	0.0	0.0	1.79×10^{-13}	2.18×10^{-10}	4.35×10^{-10}	2.18×10^{-6}	2.62×10^{-5}	2.87×10^{-05}	3.09×10^{-10}	4.96×10^{-08}	8.40×10^{-08}
F09	0 + ruido	4.93×10^{-5}	4.06×10^{-4}	3.68×10^{-4}	9.00×10^{-2}	0.1449	4.01×10^{-2}	0.1349	0.6025	0.1936	0.1047	0.2624	7.94×10^{-2}
F10	0	0.0	0.0	0.0	40.7569	58.8717	11.8934	124.9824	164.9174	12.5047	101.3592	131.2261	17.9411
F11	0	9.73×10^{-10}	0.1459	0.6775	92.7733	303.7902	463.0996	1856.8301	3935.86	1179.7789	241.4534	579.8136	331.1025
F12	0	0.0	0.0	0.0	4.8357	40.5608	24.1613	3329.7518	5903.0361	1259.7305	256.5747	865.0062	1499.0096
F13	0	0.0	0.0	0.0	1.6107	2.4002	0.4165	4.8334	6.1926	0.6184	2.4998	3.6269	0.4746
F14	0	0.0	0.0	0.0	2.7617	4.5380	1.1786	68.1629	92.3439	12.8260	14.6754	25.3439	5.7294
F15	0	0.0	0.0	0.0	24.5713	44.8171	9.0289	61.7415	72.5266	6.0540	47.3342	61.8700	6.9172
F16	0	0.0	0.0	0.0	3.6930	16.8406	24.5504	127.0172	1.08×10^{10}	5.25×10^{10}	55.5600	1241.0831	5804.1104
F17	0	0.0	0.0	0.0	1.59×10^{-2}	7.9276	18.1870	1423.7552	87119.7242	77577.3902	2.1149	696.7864	1489.9969
F18	0	0.0	0.0	0.0	7.01×10^{-2}	2.02×10^{2}	9.03×10^{-3}	1.6514	2.8049	0.6391	0.1006	0.2381	9.23×10^{-2}
F19	0	0.0	0.0	0.0	0.3123	0.8102	0.4408	91.8299	135.0012	29.3075	7.3493	14.4582	7.6336
F20	−1	−1.0048	−1.0008	1.79×10^{-3}	0.9950	0.9950	2.22×10^{-16}	0.9950	0.9950	2.2204	0.9950	0.9950	2.22×10^{-16}
F21	0	0.0	0.0	0.0	0.3569	24791.7342	118912.9718	1608.7928	193648.10	353955.84	6.9259	1343.3372	2209.7929
F22	0	0.0	0.0	0.0	1.31×10^{-11}	1.52×10^{-11}	1.32×10^{-12}	1.84×10^{-11}	2.09×10^{-11}	1.04×10^{-12}	1.93×10^{-11}	2.14×10^{-11}	1.06×10^{-12}
F23	−1	−1.0	−1.0	0.0	0.9950	0.9950	2.22×10^{-16}	0.9950	0.9950	2.22×10^{-16}	0.9950	0.9950	2.22×10^{-16}
F24	−2	−30.0	−30.0	0.0	−6.9710	−0.9908	1.4623	−0.4665	−0.1261	0.1263	−6.2936	−1.6246	1.5374

ID	$f(min)$	DE/rand/2/bin			DE/rand-to-best/1/bin			DE/rand-to-best/2/bin		
		M	P	Std	M	P	Std	M	P	Std
F01	0	19.8892	19.9201	1.44×10^{-2}	17.8465	19.4552	0.5377	18.5134	19.7435	0.3825
F02	0	0.7268	1.3369	0.3193	0.9031	1.3390	0.3393	2.5980	4.1438	0.6979
F03	−1	−0.9034	−0.8408	2.93×10^{-2}	−0.9195	−0.8674	3.08×10^{-2}	−0.7076	−0.6067	5.22×10^{-2}
F04	0	21.8418	32.4773	6.5537	15.3602	25.8606	6.0064	50.4165	95.2801	20.7678
F05	0	0.4270	0.5866	7.04×10^{-2}	0.4061	0.5776	8.05×10^{-2}	0.4136	0.6097	9.35×10^{-2}
F06	≈ −1.8013	−14.4616	−12.6670	0.6013	−13.3882	−12.1440	0.6453	−13.1514	−11.524	0.6942
F07	0.9	4.2958	4.7684	0.2960	4.0357	4.7335	0.3138	4.0708	5.1863	0.3407
F08	0	2.01×10^{-5}	9.54×10^{-4}	8.22×10^{-4}	2.98×10^{-6}	8.74×10^{-5}	8.37×10^{-5}	3.68×10^{-4}	3.93×10^{-3}	4.17×10^{-3}
F09	0 + ruido	0.5836	1.8737	0.8068	0.4433	0.8886	0.2742	1.5597	5.1219	1.9534
F10	0	172.7419	202.0890	17.3737	176.3230	215.2656	16.4721	217.4137	261.2387	17.9549
F11	0	8787.7407	16292.0323	5419.4142	3192.3696	6643.8253	2478.6132	22808.82	37547.23	10513.23
F12	0	13829.0107	20324.0707	3509.8615	9047.9334	16179.2822	3853.9281	37277.97	54193.14	9115.44
F13	0	6.1026	8.7238	0.8989	6.7165	8.3522	0.8216	10.3682	12.9520	1.2670
F14	0	147.8981	204.6772	26.0346	164.6029	212.9839	27.8045	361.1458	423.7778	40.0939
F15	0	68.7357	82.1669	5.6422	55.1327	64.8362	5.6850	62.6193	73.3771	4.0294
F16	0	4.61×10^{-11}	723×10^{-18}	3.65×10^{-19}	3.56×10^{18}	1.51×10^{24}	4.79×10^{24}	2.58×10^{24}	1.67×10^{-29}	3.65×10^{29}
F17	0	339858.2590	3619918.86	3214007.60	9364.6575	122632.9129	110265.2071	2918526.05	15021229.82	8827021.82
F18	0	5.2603	9.1109	2.0013	4.4022	7.0341	1.4287	14.8226	26.2263	4.9432
F19	0	285.0863	486.8113	135.5313	237.5122	352.0043	79.6374	853.1524	1276.9666	252.1543
F20	−1	−1.0035	0.8624	0.4959	0.9950	0.9950	2.22×10^{-16}	0.9950	0.9950	2.22×10^{-16}
F21	0	415764.46	11129328.60	15933725.67	1584.2709	2836621.42	5530510.71	6164374.43	453893344	680701364
F22	0	1.96×10^{-11}	2.28×10^{-11}	1.09×10^{-12}	$2.0.1 \times 10^{-11}$	2.32×10^{-11}	1.25×10^{-12}	2.18×10^{-11}	2.46×10^{-11}	1.20×10^{-12}

ISSN: 2007 8102

F23	−1	0.9950	0.9950	2.22×10^{-16}	0.9950	0.9950	2.22×10^{-16}	0.9950	0.9950	2.22×10^{-16}
F24	−2	−2.3409	−0.5215	0.5048	−13.6380	−3.1612	2.9793	−10.4674	−2.7658	1.9810

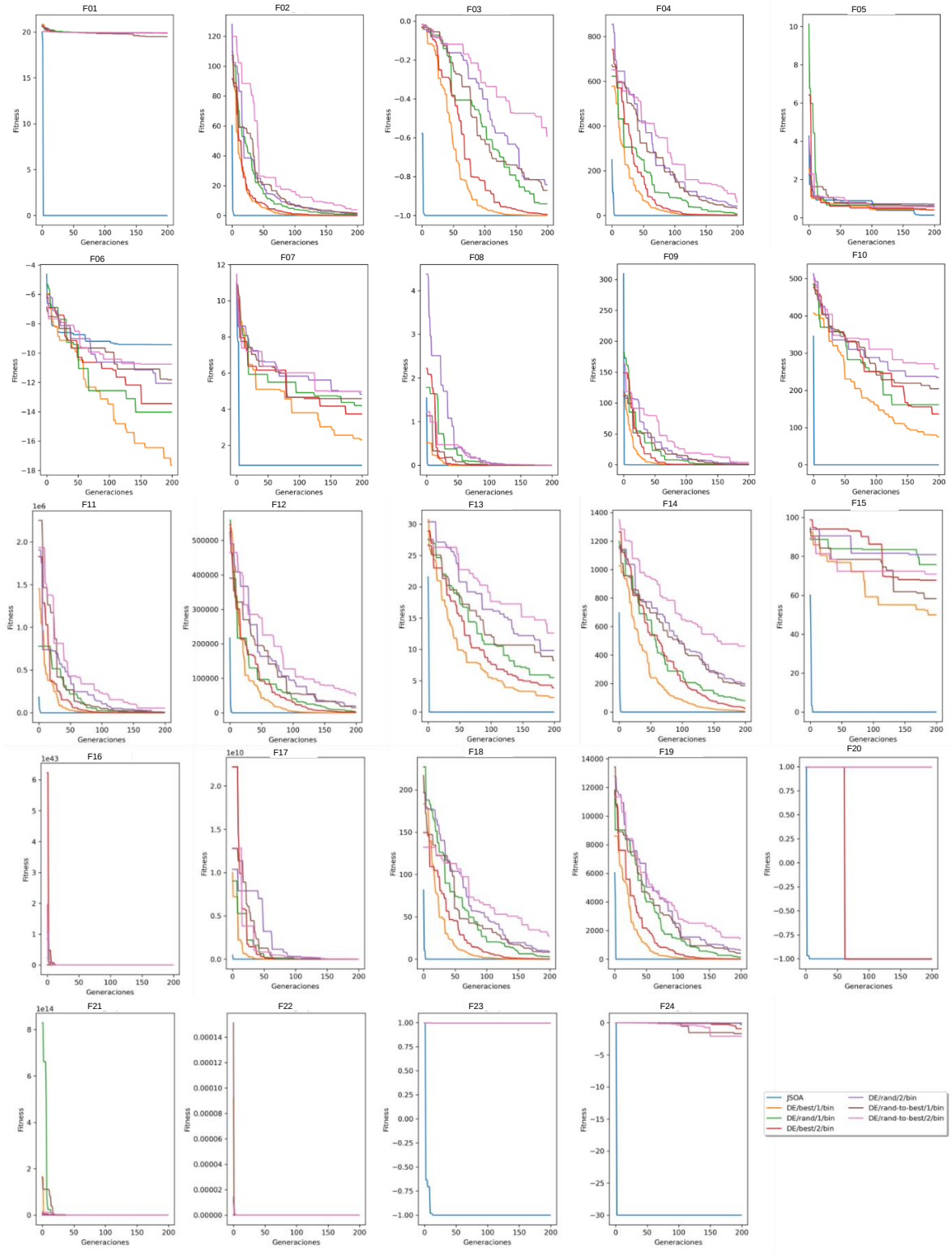


Figura 5 Graficas de convergencia de los algoritmos probados respecto a las funciones matemáticas de prueba.

Trabajo futuro

Gracias a la buena capacidad de convergencia de PyJSOA, demostrada en este trabajo, se plantea usarse en el proceso de optimización de hiperparámetros de redes neuronales artificiales, para la sintonización de tasas de aprendizaje, elección épocas de entramiento, tamaño de kernels, entre otros. Además, se realizará una adaptación al algoritmo propuesto para problemas optimización *multi* y *many* funciones objetivo.

Conclusiones

El error medio absoluto muestra que no existe gran variación en la distancia de los valores óptimos conocidos respecto a los mejores resultados obtenido por PyJSOA en las funciones de prueba. Por otro lado, las gráficas de convergencia muestran que en la mayoría de las funciones objetivo evaluadas con PyJSOA converge hacia el valor optimo en generaciones tempranas respecto a los algoritmos de evolución diferencial, tanto en las funciones multimodales como en las unimodales mostrándose así una buena capacidad de exploración y explotación de PyJSOA. El hecho que la convergencia del optimo se realice en generaciones tempranas permite la reducción de tiempo de computo en la evaluación de funciones objetivo.

Referencias

[1] I. Stancin y A. Jovic, «An overview and comparison of free Python libraries for data mining and big data analysis», en *2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, Opatija, Croatia: IEEE, may 2019, pp. 977-982. doi: 10.23919/MIPRO.2019.8757088.

[2] B. Pang, E. Nijkamp, y Y. N. Wu, «Deep Learning With TensorFlow: A Review», *J. Educ. Behav. Stat.*, vol. 45, n.º 2, pp. 227-248, abr. 2020, doi: 10.3102/1076998619872761.

[3] A. Hjorth Larsen *et al.*, «The atomic simulation environment—a Python library for working with atoms», *J. Phys. Condens. Matter*, vol. 29, n.º 27, p. 273002, jul. 2017, doi: 10.1088/1361-648X/aa680e.

[4] J. M. H. Olsen *et al.*, «Dalton Project: A Python platform for molecular- and electronic-structure simulations of complex systems», *J. Chem. Phys.*, vol. 152, n.º 21, p. 214115, jun. 2020, doi: 10.1063/1.5144298.

[5] L. S. Cedric *et al.*, «Crops yield prediction based on machine learning models: Case of West African countries», *Smart Agric. Technol.*, vol. 2, p. 100049, dic. 2022, doi: 10.1016/j.atech.2022.100049.

[6] K. H. B. Leung, N. Yousefi, T. C. Y. Chan, y A. M. Bayoumi, «Constrained Optimization for Decision Making in Health Care Using Python: A Tutorial», *Med. Decis. Making*, p. 0272989X231188027, jul. 2023, doi: 10.1177/0272989X231188027.

[7] L. Abualigah *et al.*, «Meta-heuristic optimization algorithms for solving real-world mechanical engineering design problems: a comprehensive survey, applications, comparative analysis, and results», *Neural Comput. Appl.*, vol. 34, n.º 6, pp. 4081-4110, mar. 2022, doi: 10.1007/s00521-021-06747-4.

[8] R. Angira y B. V. Babu, «Optimization of process synthesis and design problems: A modified differential evolution approach», *Chem. Eng. Sci.*, vol. 61, n.º 14, pp. 4707-4721, jul. 2006, doi: 10.1016/j.ces.2006.03.004.

[9] K. Sallam, S. Elsayed, R. Sarker, y D. Essam, «Landscape-Based Differential Evolution for Constrained Optimization Problems», en *2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, Rio de Janeiro: IEEE, jul. 2018, pp. 1-8. doi: 10.1109/CEC.2018.8477900.

[10] S. Gao, K. Wang, S. Tao, T. Jin, H. Dai, y J. Cheng, «A state-of-the-art differential evolution algorithm for parameter estimation of solar photovoltaic models», *Energy Convers. Manag.*, vol. 230, p. 113784, feb. 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113784.

[11] X. Fan, W. Sayers, S. Zhang, Z. Han, L. Ren, y H. Chizari, «Review and Classification of Bio-inspired Algorithms and Their Applications», *J. Bionic Eng.*, vol. 17, n.º 3, pp. 611-631, may 2020, doi: 10.1007/s42235-020-0049-9.

[12] F. Valdez, O. Castillo, y P. Melin, «An Exhaustive Review of Bio-Inspired Algorithms and its Applications for Optimization in Fuzzy Clustering», mar. 2021, doi: 10.20944/preprints202103.0282.v1.

[13] H. Peraza-Vázquez, A. Peña-Delgado, P. Ranjan, C. Barde, A. Choubey, y A. B. Morales-Cepeda, «A Bio-Inspired Method for Mathematical Optimization Inspired by Arachnida Salticidade», *Mathematics*, vol. 10, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2022, doi: 10.3390/math10010102.

[14] W. Wang y Y. Lu, «Analysis of the Mean Absolute Error (MAE) and the Root Mean Square Error (RMSE) in Assessing Rounding Model», *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 324, p. 012049, mar. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/324/1/012049.

[15] R. Storn y K. Price, «Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces», *J. Glob. Optim.*, vol. 11, n.º 4, pp. 341-359, 1997, doi: 10.1023/A:1008202821328.

ISSN: 2007 8102

[16] Information Technology, Dr.Mahalingam College of Engineering and Technology, Pollachi, y A. G. P. Varshini, «Predictive analytics approaches for software effort estimation: A review», *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 13, n.º 21, pp. 2094-2103, jun. 2020, doi: 10.17485/IJST/v13i21.573.

ISSN: 2007 8102

La influencia de las prácticas de gestión del cambio ágil en equipos deingeniería de software

Roberto Limón Ulloa[1], Richard de Jesús Gil Herrera[2], Edith Patricia Borboa Álvarez[3]
[1]Universidad Americana de Europa / Instituto Tecnológico de Sonora. México. robert.sys@gmail.com, [2]Universidad Internacional de La Rioja. Logroño, España. richard.dejesus@unir.net, [3]Instituto Tecnológico de Sonora. México. epborboa@itson.edu.mx

***Área de participación**: Ingeniería en Software*

Resumen. Para llevar a cabo una implementación de industria inteligente o 4.0, se requiere apoyo para el talento humano con el fin de orientarlos en los objetivos y los procesos. El desafío de alinear habilidades se complementa por la modernización de sus prácticas y herramientas. Todos los negocios están cambiando y las técnicas de gestión del cambio se convirtió en práctica estándar en la mayoría de las organizaciones. Particularmente, el cambio es inevitable en los proyectos de software y los ingenieros de software se esfuerzan por encontrar formas de gestionar los cambios. Una tarea completa podría estar fácilmente en la agenda de un equipo en algún momento posterior debido a las demandas de cambio. La presente investigación explora la influencia de las prácticas ágiles para reducir los obstáculos al cambio inyectando un poco más de agilidad en su forma de hacer las cosas. Por lo anterior, se propone la concepción de una metodología sistémica que permita, a través de su aplicación, alcanzar los resultados deseados de manera confiable. La evaluación del método mediante un estudio de caso sobre una empresa desarrolladora de software determinó que el método deberá permitir una mejor adopción del cambio por parte de los colaboradores impactados. Se concluyó que una gestión ágil del cambio debería ayudar a la adopción del cambio en el proceso de un proyecto de cambio.

Palabras claves: *agilidad, cambio, proyecto.*

Introducción

En la actualidad, la gestión de proyectos tiene como objetivo entregar proyectos a tiempo, con el alcance y calidad acordados en base con los requisitos especificados y dentro del presupuesto planificado. El logro de la gestión del proyecto se percibe como planificar el proyecto con precisión al principio y luego ejecutarlo conforme a este plan [1].

Sin embargo, el cambio es inevitable en los proyectos de software y los involucrados en el proceso de desarrollo de software se esfuerzan por encontrar formas de gestionar dinámicamente tales cambios. De acuerdo con [2] una tarea completa podría estar fácilmente en la agenda de un equipo, en algún momento posterior debido a las demandas de cambio. Así que, las demandas de cambio son causadas por fallas y/o mejoras y requieren un esfuerzo adicional que, en la mayoría de los casos no se planteó por adelantado y afectan el progreso del proyecto de manera significativa.

Actualmente, con la presencia de la industria 4.0 también llamada industria inteligente, se presentan temores entre los empleados hacia los robots y algoritmos que se implementan, incluso recientemente, prácticas de implementación de máquinas dedicadas a suplantar a los humanos genera un mayor temor en el recurso humano por su posible sustitución [3]. Sin embargo, es preciso señalar que esta percepción también evolucionó, a medida que los individuos ven el beneficio de la tecnología digital en términos de bienestar en el lugar de trabajo para estar, por ejemplo, con asistencia robótica para manipular objetos pesados para cargas, o con realidad aumentada para operaciones de mantenimiento [4].

Según [5], la agilidad organizacional es la capacidad de la empresa para adaptarse de forma continua en respuesta a un entorno caracterizado por complejidad, turbulencia e incertidumbre. Eso genera eco en los métodos ágiles, desarrollados durante varios años en el campo de computación y que se origina en el Manifiesto Ágil, escrito en 2001 [6]. Es necesario ver más métodos ágiles como paradigma, estado de ánimo, filosofía que como simple métodos para aplicar. Según el manifiesto ágil, se debe dar prioridad a los profesionales y la colaboración sobre las herramientas y procesos de desarrollo, el software con documentación compleja, la colaboración con el cliente que se ocupa de la cooperación por contrato y la respuesta a ciertos cambios cuando se sigue un plan.

Es importante señalar que los métodos Change [7] y ágiles son una pareja comúnmente inseparable. De hecho, el cambio ágil intenta ser un respuesta operativa y concreta a todos los nuevos problemas relacionados con el cambio (más capacidad de respuesta, más flexibilidad para la organización). Un método ágil de gestión del cambio ya se definió [8] y ante ello, se proponen preguntas de investigación que se quiere dar respuesta en este trabajo, las cuales son las siguientes:

- *PI 1: ¿Tiene la agilidad (método Scrum) una gestión del cambio que induce una mejor adopción del mismo?* y
- *PI 2: ¿Cómo la organización puede realizar una actividad empresarial eficaz de cambio continuamente?*

Una vez que se plantearon las interrogantes como factor guía determinante del estudio, se identificaron los siguientes objetivos específicos:

a) Revisar literatura existente y su importancia en la gestión del cambio para lograr la agilidad organizacional.
b) Explorar la influencia de las prácticas ágiles para reducir los obstáculos de resistencia al cambio en las operaciones realizadas por la organización.
c) Proponer una metodología sistémica que permita, a través de su aplicación y procedimiento, alcanzar los resultados deseados de manera confiable.

Este trabajo representa una perspectiva futura de investigación que se centra en la implementación de un modelo ágil con la intención de adoptar el enfoque del cambio como parte del proceso de desarrollo de software. El objetivo principal es asegurar que las opiniones expresadas por los expertos se traduzcan en el impacto deseado por los clientes a través de esta misma metodología.

Cabe señalar, que el presente artículo está estructurado bajo apartados de introducción, marco teórico, metodología, resultados y conclusiones, los cuales, se van desarrollando uno a uno para lograr una mejor comprensión de la investigación realizada.

Marco teórico

Cambio, agilidad y gestión ágil del cambio

En los mensajes emitidos por parte de los líderes empresariales, la palabra *Cambio* se convirtió en una frase permanente. Los ejecutivos no dudan en presentarlo como una solución virtualmente automática a los cambios de mercados, tecnología, leyes o como la dinámica necesaria para cualquier negocio. A menudo, los gerentes comerciales dirán estas palabras "cambiar o desaparecer". Sin embargo, ¿qué es un cambio? Para que haya un cambio, se tiene que hacer una ruptura significativa en los modos de funcionamiento. Esta ruptura obligará a las personas a intentar adaptarse. La transición del presente al futuro no es una micro adaptación que pueda ser considerado como una evolución menor, pero un verdadero salto que hará obsoleta algunas o incluso todas nuestras formas de funcionamiento existentes en favor de una nueva forma de hacer las cosas, de hacerlo mejor que antes [9].

De acuerdo con [8] el cambio se considerará como tal si los diversos elementos sufren una transformación, como prácticas, condiciones de trabajo, herramientas, gestión, negocios, estrategias, etc.

Frente a la necesidad de adaptabilidad, cambio continuo y capacidad de respuesta impuesta por un mercado tecnológico cada vez más competitivo, los métodos bastante "convencionales" se pusieron en tela de juicio porla aparición de nuevos métodos denominados "ágiles". Estos son generalmente descritos como iterativo, incremental, auto organizado y más adaptable al cambio. La agilidad se puede definir como respuesta a la ampliación y endurecimiento de la competencia en entornos que permiten inculcar en la organización, capacidad de respuesta y rendimiento [10].

Existen diferentes modelos para describir los cambios [11]. La resistencia al cambio se define como cualquier comportamiento o actitud que indica una negativa a apoyar o hacer un cambio a un proyecto [12]. Es necesario apoyar a los usuarios en un proyecto de cambio para reducir las posibilidades de resistencia, y así implementar un enfoque de gestión del cambio. Hay varios modelos de gestión del cambio denominados "instrumentales" [13]. Estos modelos tienen varias limitaciones, de ahí la necesidad de determinar un comportamiento de cambiomás ágil. De acuerdo con [14] explica estas limitaciones: (a) la estructura lineal que crea un efecto de túnel entrela participación de los beneficiarios y cuando el cambio será real para ellos, (b) “la dictadura del PowerPoint” ya que

ISSN: 2007 8102

muchas producciones describen lo existente de forma analítica sin dar siempre puntos claves de acción que pondrán al beneficiario en una dinámica de transformación, (c) la baja participación de los beneficiarios.

Una particularidad de los métodos ágiles que caracterizan marcos de trabajo de ágiles y métodos de gestión del cambio es poner en el centro, el cambio. El concepto de cambio centrado en las personas, utilizando un diseño centrado en el usuario, crea una verdad fundamental: asegurar el éxito al comenzar con el usuario, encontrar una necesidad real del usuario y luego construir una buena solución [15]. Siguiendo esta filosofía, la gestión ágil del cambio, los marcos de trabajo y métodos comenzaron a aparecer en la última década.

Por ejemplo, la metodología de aceleración de la implementación (AIM) es un marco de gestión de cambios flexible para gestionar los cambios organizativos, diseñados para poder manejar el cambio a medida que continúa evolucionando [16]. Uno de sus principales ventajas es que se centra en el lado humano del cambio, al igual que todos los métodos ágiles. Altamente escalable, este marco puede ser considerado bastante complejo y, a veces, difícil de encargarse de su gestión. [17] propuso un enfoque ágil de gestión del cambio que es menos complejo y más fácil de usar.

El papel mediador de la agilidad organizacional

Si bien la flexibilidad organizacional se estudió durante las últimas décadas y se realizaron muchos intentos para definir la agilidad en las organizaciones empresariales. Sin embargo, la mayoría de las definicionesse centraron en áreas funcionales separadas de los negocios. Para [17], solo recientemente, la agilidad organizacional se ha determinado como un fenómeno empresarial completo, mismo que ha ganado más interés por parte de los investigadores.

De acuerdo con [18] la agilidad organizacional es un tema multidimensional y complejo y es abordado por muchos investigadores desde diferentes perspectivas. Un primer grupo de los investigadores estudian la agilidad desde la perspectiva de habilidades y capacidades que ayudan a las organizaciones a lograr la agilidad. Un segundo grupo de investigadores identifican principales prácticas que utilizan las organizaciones ágiles en sus operaciones diarias. Mientras que el tercer grupo de investigadores estudian la agilidad desde la perspectiva de cómo las organizaciones interactúan con el entorno cambiante a través de dimensión de respuesta sensorial.

Recientemente, las investigaciones se centraron cada vez más en el nivel de uso y desempeño de las tecnologías de información, el aprendizaje y el efecto de las innovaciones en la agilidad de una organización [19].

De acuerdo con [7], pocos investigadores analizan cómo influye la agilidad organizacional como ventaja competitiva. Cabe señalar, que según [20] indica que otros análisis se centran en factores individuales y su influencia en la agilidad organizacional. Por ejemplo, [21] estudian cómo las capacidades de las tecnologías de la información afectan el nivel de agilidad en la organización. Su investigación empírica muestra la correlación positiva entre las capacidades de tecnología de información y el nivel de agilidad en la organización, es decir, las mejores capacidades en tecnologías de información que tiene la organización, contribuyen para ser más ágil.

Cabe mencionar que [22], argumenta que el nivel de agilidad organizacional está influenciado por la alineación de "bases competitivas" (velocidad, flexibilidad, proactividad innovadora, calidad y rentabilidad), recursos y conocimientos reconfigurables. Para mejorar el nivel de agilidad organizacional, las empresas deben combinar estos habilitadores y adaptarse a las necesidades de los consumidores y al mercado cambiante.

La agilidad organizacional es la capacidad de hacer frente a cambios rápidos, implacables e inciertos y de prosperar en un entorno competitivo lleno de oportunidades impredecible [19]. La literatura reconoce dos tipos de agilidad organizacional: agilidad de capitalización de mercado y agilidad de ajuste operativo [23]. Una fuerte agilidad de capitalización de mercado puede ayudar a las empresas a explotar la información y el conocimiento existentes para posicionarlas mejor para detectar oportunidades en los mercados objetivo y ser conscientes del cambio en los mercados internacionales [24].

ISSN: 2007 8102

El modelo ágil de gestión del cambio

En el modelo de gestión de cambios ágil de acuerdo con [17] el enlace entre la línea de negocio y el cambio es fundamental, no solo es necesario "cambiar por cambiar" porque el cambio aporta siempre un valor añadido al negocio. Las personas a cargo de la gestión del cambio tendrán que proponer medios para talleres de diagnóstico, dirección y cambio para las personas que están en los puestos y a través de los cuales se realiza elcambio.

El modelo consta de tres fases: Definir, Experimentar y Anclar. Las dos primeras fases ("Definir" y "Experimentar") se refieren a un proyecto o grupos de proyectos incluidos en un programa mientras que la fase "Anclar" está en el nivel de la organización como un todo. En esta última fase, se analiza los diferentes planes para que el cambio encaje en una dinámica de transformación colectiva, tanto a nivel del proyecto global de la empresa como de la capacidad de cambiar a las personas y la empresa. La fase "Definir" se lleva a cabo antes del proyecto, antes de su lanzamiento o al inicio del proyecto. Durante esta fase, se busca establecer una hoja de ruta que se seguirá a lo largo del proyecto de cambio. La última fase es extremadamente importante para el buen funcionamiento del proyecto. Es una fase en la que se tiene que hacer preguntas, el derecho de preguntas a responder para definir los cambios, el contexto y los actores involucrados. Esta fase del cambio ágil no difiere mucho de la clásica conducta de cambio. La fase "Experimentar" está en el corazón del modelo del cambio ágil. Consta de dos ciclos que se combinan y complementan unos a otros: una serie de talleres (talleres participativos y ciclos participativos) y un ciclo de control. El ciclo de los talleres permite que las partes interesadas tomen conciencia de la necesidad para el cambio, para involucrar a las partes interesadas en el diseño del cambio, involucrar a todas las partes interesadas (stakeholders) y traer cambios a los actores en lugar de hacerlos pasar. El ciclo de control consiste en llevar a cabo, a diferentes intervalos, medidas de cambio en el progreso, y los medios para encuestar a las personas que son beneficiarios del cambio. Estas encuestas se pueden realizar a través de discusiones en la red social de una empresa o a través de entrevistas a través de cuestionarios. A través del pilotaje, la información está disponible sobre el progreso y la adopción del cambio, y este permitirá evaluar y medir la contribución de las acciones para apoyar el cambio.

La fase de anclaje es esencial para que el cambio sea sostenible en la compañía [25]. Dos productos proceden de la fase ancla: una visión global, a cinco años, de los proyectos realizados, en curso y por venir, así como un análisis de la capacidad de cambiar de la empresa. Una representación gráfica del modelo se ilustra en la figura 1.

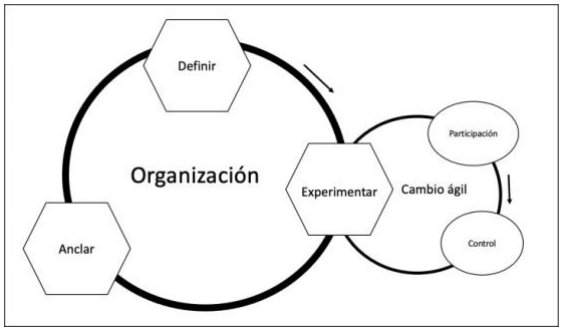


Figura 1. El modelo ágil de gestión del cambio
Nota. El modelo ágil de gestión del cambio consta de fases y ciclos.

Metodología

Método

Se realizó un análisis descriptivo que incluye la evaluación psicométrica de la validez del contenido mediante la opinión de expertos, además de medir la confiabilidad utilizando un enfoque basado en la coherencia interna del modelo.

ISSN: 2007 8102

Participantes

La población de estudio consistió en individuos que poseían un historial de al menos 2 años de experiencia en el campo de la industria del software, así como experiencia en la enseñanza e investigación en el ámbito de la ingeniería de software. Todos los participantes tenían una formación académica que incluía tanto estudios de pregrado como de posgrado, ya sea una maestría o un doctorado. La muestra se seleccionó de manera intencional, eligiendo cuidadosamente a los participantes, incluyó 5 expertos de diferentes Facultades de Ingeniería en software pertenecientes a Universidades públicas de México y Argentina, que aceptaron voluntariamente participar para contribuir con la validación de contenido a través de juicios de expertos.Para determinar quiénes serían excluidos de la investigación, se aplicaron dos criterios: retirada del consentimiento y falta de entrega de material en plazo.

Instrumentos

Una gestión ágil del cambio requiere una mayor implicación de personas involucradas. Para saber si un mayor alcance de interesados en un cambio ayudará a manejar el proyecto de cambio, se difundió un cuestionario compuesto por tres secciones (cartografía del cambio, liderazgo en la gestión de cambios ágiles y evaluación de cambios empresariales) sobre el cual, ha sido respondido por 110 personas.

La evaluación de los tests, divididos en tres partes o dimensiones, se llevó a cabo mediante la valoración individual de cada ítem. Esta valoración se realizó utilizando la plantilla de Juicio de Expertos, propuesta por [26], que emplea una escala de cuatro niveles: "no cumple con el criterio", "Bajo nivel", "Moderado" y "Alto nivel". Esta evaluación se basó en la definición de indicadores relacionados con las características que se deseaban evaluar, como la suficiencia, claridad, coherencia, relevancia y pertinencia de cada ítem. Además, se tuvieron en cuenta las observaciones cualitativas proporcionadas por los expertos para cada uno de los 51 ítems que conformaban el instrumento original. En última instancia, cada especialista concluyó el proceso al diligenciar y firmar una declaración de validación en la que realizaron una evaluación global de elementos tales como la coherencia de los ítems, la cobertura temática, la formulación, la claridad y la relevancia del instrumento original.

Procedimiento

La data que se ha obtenido ha sido almacenada en el software Microsoft Excel versión 16.45 y su procesamiento estadístico en el software SPSS versión 25.0 [25]. De manera continua, se evaluó el nivel de acuerdo entre los expertos utilizando el coeficiente Kappa de Fleiss como una herramienta estadística de análisis. Este coeficiente se utiliza para medir la concordancia entre tres o más evaluadores expertos que realizan juicios independientes sobre criterios de medición a través de un instrumento que implica la clasificación en categorías ordinales. En este estudio, se aplicó a la evaluación interjudicial, donde los expertos asignaron rangos a los ítems en función de datos ordinales y la variabilidad en las sumas de los rangos del 1 al 4, proporcionados por los diferentes expertos. El coeficiente Kappa de Fleiss tiene un valor mínimo de 0 y un valor máximo de 1. Para interpretar este coeficiente, se empleó la escala establecida por [27], que cualitativamente describe la fuerza de concordancia entre los evaluadores, tal como se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Valoración del coeficiente kappa [27]. Fuente: Landis y Koch.

Coeficiente kappa de Fleiss. Fuerza de concordancia	Coeficiente kappa de Fleiss. Fuerza de concordancia
0,00	Pobre (Poor)
0,1-0,20	Leve (Slight)
0,21-0,40	Aceptable (Fair)
0,41-0,60	Moderada (Moderate)
0,61-0,80	Considerable (Substantial)
0,81-1,0	Casi perfecta (Almost perfect)

Para el análisis de las apreciaciones cualitativas en relación a la cartografía del cambio se utilizó el barómetro ICAP, el cual mediante sus referencias en base a tasas de información, comprensión, adopción y participación deseada logra ubicar a la organización en un punto de acuerdo a su escala. Lo cual se puede observar en la tabla 2 y tabla 3.

Tabla 2. Tasa de información deseada.

Tasa de información deseada

Escala	Significación	Fase	Velocidad
0-25%	Sin información	Annoncement	0.25
25-50%	Información parcial	Exploración	0.5
50-75%	Experimentación de información	Irregular	0.75
75-100%	Información completa	Despliegue	*0.8*

Tabla 3. Tasa de comprensión deseada.

Tasa de comprensión deseada

Escala	Significación	Fase	Velocidad
0-25%	Sin entendimiento	Annoncement	25%
25-50%	Comprensión deseada	Exploración	50%
50-75%	Comprensión parcial	Experimentación	60%
75-100%	Comprensión completa	Despliegue	80%

Tabla 4. Tasa de adopción deseada.

Tasa de adopción deseada

Escala	Significación	Fase	Velocidad
0-25%	Rechazo	Annoncement	45%
25-50%	Adopción Baja	Exploración	20%
50-75%	Adopción parcial	Experimentación	60%
75-100%	Adopción alta	Despliegue	80%

Tabla 5. Tasa de participación deseada.

Tasa de participación deseada

Escala	Significación	Fase	Velocidad
0-25%	Sin participación	Annoncement	20 – 40%
25-50%	Baja participación	Exploración	40 – 60%
50-75%	Participación parcial	Experimentación	60 – 80%
75-100%	Alta participación	Despliegue	80 – 100%

Resultados

Instrumento de aplicación

La agilidad se apoya fuertemente en los métodos ágiles, ampliamente utilizados en el mundo del desarrollo informático. Se realizó un cuestionario para evaluar el impacto de la implicación de las personas en un proyecto de cambio y resaltar su importancia. Ante ello, se obtiene que una gestión ágil del cambio debería ayudar a la adopción del cambio en el proceso de un proyecto de cambio (PI 1).

Se ha evaluado el método mediante un estudio de caso sobre una empresa desarrolladora de software y cinco entrevistas a expertos. Estas herramientas de evaluación determinaron que el método deberá permitir una mejor adopción del cambio por parte de los colaboradores impactados (PI 2).

La tasa de adopción del cambio y la tasa de participación antes y después de la implementación del método incrementó en una significación de baja a una adopción y participación parcial, quedando en una escala del 50 – 75%, ver tabla 4 y tabla 5.

Como se puede ver en la Figura 1, el procedimiento aplicado para determinar la influencia de las prácticas de gestión del cambio ágil en equipos de ingeniería de software ha generado el siguiente resultado.

 ISSN: 2007 8102

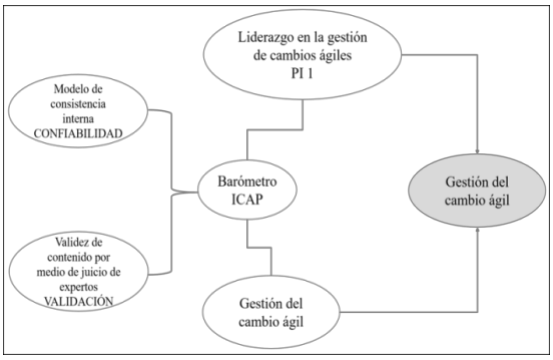


Figura 2. Procedimiento aplicado para determinar la influencia de las prácticas de gestión del cambio ágil en equipos de ingeniería de software.

Nota. El proceso se fundamentó en la evaluación psicométrica de la validez del contenido mediante el juicio de expertos y en la medición de la confiabilidad a través de un modelo de consistencia interna, junto con el uso del barómetro ICAP.

Frecuencias

A continuación de muestran los resultados a través de tablas de frecuencias, entendiendo que una frecuencia es el número de veces que ocurre un valor de datos, mismas, que se lograron obtener y procesar estadísticamente.

Tabla 6. Escolaridad.

Escolaridad

	Frecuencia	%	% válido	% acumulado
Preparatoria Completa	1	.9	.9	.9
Licenciatura Incompleta	7	6.4	6.4	7.3
Licenciatura Completa	79	71.8	71.8	79.1
Posgrado Incompleto	7	6.4	6.4	85.5
Posgrado Completo	16	14.5	14.5	100.0
Total	*110*	*100.0*	*100.0*	

Tabla 7. Grupo Socio – Profesional.

Grupo Socio - Profesional

	Frecuencia	%	% válido	% acumulado
Ingeniería en Software	72	65.5	65.5	65.5
Ingeniería en Sistemas	14	12.7	12.7	78.2
Informática	5	4.5	4.5	82.7
Sistemas de Información	9	8.2	8.2	90.9
Admón. De Proyectos	2	1.8	1.8	92.7
Arquitectura de Sistemas	5	4.5	4.5	97.3
Otros	3	2.7	2.7	100.0
Total	*110*	*100.0*	*100.0*	

Tabla

¿Ha participado alguna vez en actividades de proyectos de software desarrollados bajo enfoque de agilidad en la administración de proyectos?

	Frecuencia	%	% válido	% acumulado
Si	99	90.0	90.0	90.0
No	11	10.0	10.0	100.0
Total	*110*	*100.0*	*100.0*	

Tabla 9.

¿Experimentó alguna vez una situación de cambio en su vida laboral?(transferencia, fusión, adopción de nuevos métodos de trabajo, movilidad)?

	Frecuencia	%	% válido	% acumulado
Si	100	90.9	90.9	90.9
No	9	8.2	8.2	99.1
Tal vez	1	.9	.9	100.0
Total	*110*	*100.0*	*100.0*	

Tabla 10.

¿Tuviste la oportunidad de dar tu opinión, de ser consultado durante este período de cambio?

	Frecuencia	%	% válido	% acumulado
Si	70	63.6	63.6	63.6
No	28	25.5	25.5	89.1
Tal vez	12	10.9	10.9	100.0
Total	*110*	*100.0*	*100.0*	

Confiabilidad

De acuerdo con el estudio y su aplicación, se implementa un coeficiente de confiabilidad, el cual es una medida de qué tan bien una prueba mide el logro. Es la proporción de la varianza en las puntuaciones observadas (es decir, las puntuaciones en la prueba) atribuible a las puntuaciones verdaderas (la puntuación teórica "real" que obtendría una persona si existiera una prueba perfecta). Implementando Alfa de Cronbach como el coeficiente de consistencia interna más utilizado dado que mide la confiabilidad interna para pruebas con múltiples respuestas posibles.

Tabla 11. Resumen del procesamiento de casos.

Resumen de procesamiento de casos

		N	%
Casos	Válido	110	100.0
	Excluido	0	.0
	Total	110	100.0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Tabla 12. Estadísticas de fiabilidad.

Estadísticas de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
.856	*24*

Tabla 13. Estadísticas de escala.

Estadísticas de escala

Media	Varianza	Desv. Desviación	N de elementos
75.17	*102.841*	*10.141*	*24*

Validez de contenido

A través de la aplicación de validez de contenido la cual se refiere a qué tan bien una encuesta o prueba mide el constructo que se propone medir, en el estudio se logró obtener mediante el Kappa de Fleiss el cual es una extensión del Kappa de Cohen para tres evaluadores o más, en el presente estudio fueron 5. Además, la

suposición con Kappa de Cohen es que sus evaluadores se eligen y fijan deliberadamente. Con Kappa de Fleiss, la suposición fue que sus evaluadores fueron elegidos al azar de una población más grande.

Tabla 14. Overall Kappa Claridad.

Overall Kappa Claridad						
	Kappa	Asymptotic Standard Error	Z	P Value	Lower 95% Asymptotic CI Bound	Upper 95% Asymptotic CI Bound
Overall	*.446*	*.057*	*7.849*	*.000*	*.335*	*.557*

Tabla 15. Overall Kappa Coherencia

Overall Kappa Coherencia						
	Kappa	Asymptotic Standard Error	Z	P Value	Lower 95% Asymptotic CI Bound	Upper 95% Asymptotic CI Bound
Overall	*.557*	*.057*	*9.811*	*.000*	*.446*	*.669*

Tabla 16. Overall Kappa Relevancia.

Overall Kappa Relevancia						
	Kappa	Asymptotic Standard Error	Z	P Value	Lower 95% Asymptotic CI Bound	Upper 95% Asymptotic CI Bound
Overall	*.438*	*.057*	*7.719*	*.000*	*.327*	*.550*

Conclusiones y trabajo a futuro

En la globalización se lleva a las empresas a adaptarse a los nuevos requerimientos de sus clientes para no perder presencia de mercado, o bien, declinar y desaparecer. Por tanto, las empresas se ven obligadas a cambiar cada vez con mayor frecuencia y rapidez. En el contexto de la industria inteligente, las empresas anuncian cambios profundos que tendrán muchas implicaciones en sus empleados.

La literatura consultada sobre la importancia en la gestión del cambio para lograr la agilidad organizacional es amplia, actualizada y con solidez en sus argumentos dado que a través de diversos estudios y casos que se aplicó en organizaciones, les ha permitido establecer la relación entre la gestión del cambio y la agilidad organizacional como dos factores clave para lograr la transformación empresarial.

Se puede concluir que la influencia de las prácticas ágiles reduce los obstáculos de resistencia al cambio, tales como la información incompleta, comprensión parcializada, baja adopción o rechazo y baja participación en las operaciones realizadas por la organización permitiendo con ello el logro de objetivos con mayor alcance.
La aplicación del procedimiento para determinar la influencia de las prácticas de gestión del cambio ágil en equipos de ingeniería de software es un mecanismo claro y soportado por técnicas estadísticas de validación y confiabilidad de los datos que permiten lograr una gestión del cambio ágil dentro de una organización.

Referencias

[1] Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide), sixth ed., Project Management Institute, Newtown Square, PA, USA, 2017.
[2] Efe, P., & Demirors, O. (2019). *A change management model and its application in software development projects*. https://doi.org/10.1016/j.csi.2019.04.012
[3] Weiss, A. Huber, J. Minichberger, M. Ikeda (2016). "Primera aplicación de La enseñanza de robots en un entorno de industria 4.0 existente: ¿lo hace? ¿Realmente funciona?", Sociedades 6 (20).
[4] M. Trojani, «Industrie 4.0: mettre l'humain au coeur de la transformació», blog SAP, https://news.sap.com/france/2017/12/ industrie-4-0-mettre-lhumain-au-coeur-de-la-transform /, 2017.
[5] F. Becker, "Agilidad organizacional e infraestructura del conocimiento", Journal of Corporate Real Estate,vol. 3 Edición: 1, págs. 28-37, 2001.
[6] The Agile Alliance, "The Agile Manifesto", 2001.
[7] Raza, S., & Waheed, U. (2018, December 28). Managing Change in Agile Software Development: A Comparative Study. *Proceedings of the 21st International Multi Topic Conference, INMIC 2018*. https://doi.org/10.1109/INMIC.2018.8595457
[8] D. Autissier y JM. Moutot, «Méthodes de conduite du cambio», 2ème édition:« Diagnóstico - Acompañamiento - Pilotaje », Dunod, 2010.
[9] Brosseau, D., Ebrahim, S., Handscomb, C., & Thaker, S. (2019). *The journey to an agile organization*.
[10] JP. Vickoff, «Méthode Agile, Les meilleures pratiques, Compréhension et mise en œuvre », QI, 2009.
[11] Rossi, B. (2018). Scaling agile in large organizations: Practices, challenges, and success factors. *Article in Journal of Software: Evolution and Process*. https://doi.org/10.1002/smr.1954
[12] Brosseau, D., Ebrahim, S., Handscomb, C., & Thaker, S. (2019). *The journey to an agile organization*.
[13] Fuchs, C. (2019). *Adapting (to) Agile Methods: Exploring the Interplay of Agile Methods and Organizational Features*. https://hdl.handle.net/10125/60139
[14] D. Autissier, K. Johnson y JM. Moutot, «De la conduite du changement instrumentalisée au changement ágil», Pregunta (s) de gestión 2015/2 (n ° 10), pp 37-44, 2015.
[15] Denning, S. (2018). The emergence of agile people management. *Strategy and Leadership*, *46*(4), 3–10. https://doi.org/10.1108/SL-04-2018-0042
[16] Ebert, C., & Paasivaara, M. (2019). *Scaling Agile A Look at Some Frameworks*.
[17] D. Autissier, JM. Moutot, «Le changement ágil, Se transformador rapidement et de manière durable», Dunod, 2015.
[18] De Borba, J. C. R., Trabasso, L. G., & Pessôa, M. V. P. (2019). Agile Management in Product Development. In *Research Technology Management* (Vol. 62, Issue 5, pp. 63–67). Taylor and Francis Inc. https://doi.org/10.1080/08956308.2019.1638488
[19] Tripp, J.F., Riemenschneider, C., and Thatcher, J.B., "Job Satisfaction in Agile Development Teams: Agile Development as Work Redesign", Journal of the Association for Information Systems, 17(4), 2016, pp. 267-307.
[20] Przybilla, L., Wiesche, M., & Krcmar, H. (2018). *The Influence of Agile Practices on Performance in Software Engineering Teams: A Subgroup Perspective Teaching ERP Systems View project Electronic Government View project*. https://doi.org/10.1145/3209626.3209703
[21] Shastri, Y., Hoda, R., & Amor, R. (2017). Understanding the roles of the manager in agile project management. *ACM International Conference Proceeding Series*, 45–55. https://doi.org/10.1145/3021460.3021465
[22] Viltard, L. (2019). Agilidad: el próximo salto cuántico en el gerenciamiento. *Palermo Business Review*, *0328–5715*,79108. https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/9279/1/agilidad-proximo-salto-gerenciamiento.pdf
[23] Pflügler, C., Wiesche, M. and Krcmar, H. 2018. Subgroups in Agile and Traditional IT Project Teams. Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences (2018).
[24] Lassak, S., Przybilla, L., Wiesche, M. and Krcmar, H. 2017. Explaining How Agile Software Development Practices Moderate the Negative Effects of Faultlines in Teams. ACIS 2017 - Australasian Conference on Information Systems (Hobart, Australia, 2017).
[25] Mishra Alok, Garbajosa Juan, Wang Xiaofeng, Bosch Jan, Abra- hamsson Pekka (2017). Future Directions in Agile Research: Alignments and Divergence between Research and Practice Journal of Soft- ware: Evolution and Process. 2017;29.
[26] Escobar-Pérez J, Cuervo-Martínez Á. Validez de contenido y juicio de expertos: Una aproximación a su utilización. Av En Medición. 2008;6:27-36.
[27] Landis J, Koch G. The measurement of observer agreement forcategorical data. Biometrics. 1977;33:159.

ISSN: 2007 8102

Plataforma Web basada en PLN y Web Semántica para impulsar la preservación de medicina tradicional

María del Pilar Salas-Zárate[*], *Mario Andrés Paredes-Valverde, Luis Omar Colombo-Mendoza, Paola Gómez-García*
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán
maría.sz@teziutlan.tecnm.mx, mario.pv@teziutlan.tecnm.mx, luis.cm@teziutlan.tecnm.mx, m22te0013@teziutlan.tecnm.mx

***Área de participación**: Sistemas Computacionales*

Resumen

En México, la medicina tradicional indígena engloba diversos sistemas de atención arraigados en profundos conocimientos sobre salud y enfermedad, acumulados a lo largo de la historia por los pueblos indígenas y rurales. Esta forma de medicina se considera un tesoro cultural en estas comunidades, ya que no solo trata diversas enfermedades y padecimientos, sino que también forma parte de su cosmovisión y herencia ancestral. A pesar de su riqueza de conocimientos, la medicina tradicional en México enfrenta desafíos en cuanto a reconocimiento e integración. Para abordar esta problemática, es relevante desarrollar soluciones tecnológicas que preserven la medicina tradicional en el país, particularmente en el estado de Puebla. En este contexto, el presente trabajo se enfoca en contribuir al reconocimiento y promoción de los saberes milenarios relacionados con la medicina tradicional en la Sierra Nororiental de Puebla. Para lograrlo, se propone el desarrollo de una plataforma web que utilice técnicas de Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) y Web Semántica. Esta plataforma Web busca ser un medio que valore y difunda los conocimientos ancestrales sobre medicina tradicional en la región mencionada.
***Palabras clave**: Web Semántica, PLN, medicina tradicional.*

Abstract

In Mexico, traditional indigenous medicine encompasses diverse systems of care rooted in profound knowledge about health and disease, accumulated throughout history by indigenous and rural peoples. This form of medicine is considered a cultural treasure in these communities, as it not only treats various diseases and ailments, but also forms part of their cosmovision and ancestral heritage. Despite its wealth of knowledge, traditional medicine in Mexico faces challenges in terms of recognition and integration. To address this problem, it is relevant to develop technological solutions that preserve traditional medicine in the country, particularly in the state of Puebla. In this context, the present work focuses on contributing to the recognition and promotion of the millenary knowledge related to traditional medicine in the Northeastern Sierra of Puebla. To achieve this, we propose the development of a web platform that uses Natural Language Processing (NLP) and Semantic Web techniques. This web platform seeks to be a means to value and disseminate ancestral knowledge about traditional medicine in the region.
***Key words**: Semantic Web, NLP, traditional medicine.*

Introducción

La medicina tradicional en México se fundamenta en una rica tradición herbolaria, cuyo conocimiento ha sido transmitido por los pueblos originarios a lo largo de generaciones, aprovechando las propiedades medicinales de las plantas para mejorar la salud y combatir enfermedades. Dado que algunos sectores de la población no pueden acceder a la medicina privada debido a sus costos elevados, la medicina herbolaria ha sido una alternativa valiosa para muchas personas. De acuerdo con la Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible (Somas), se estima que cerca de 30 mil especies de plantas existen en México, de las cuales aproximadamente cuatro mil se utilizan con fines medicinales. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), en México cerca del 80% de la población utiliza la medicina herbolaria [1]. A pesar de esta riqueza de conocimientos y su arraigo en la cosmovisión de los pueblos indígenas, la medicina tradicional en México ha enfrentado retos en términos de reconocimiento e integración. Sin embargo, en el estado de Puebla se implementó en el año 2001 el Programa Estatal de Medicina Tradicional e Interculturalidad en Salud [2], cuyo objetivo es atender a la población, especialmente a la indígena, bajo la perspectiva y prácticas de la medicina tradicional. A través de 15 módulos,

los especialistas han brindado atención a la población étnica de la región nororiental, donde aún prevalecen usos y costumbres relacionados con la medicina tradicional. No obstante, una investigación realizada en 2022 por la periodista Aranzazú Ayala Martínez ha señalado que el programa parece haber sido abandonado, con terapeutas que apenas perciben ingresos por sus consultas y una escasez de recursos e insumos para el desarrollo del programa [3]. A pesar de los desafíos, los municipios en la sierra nororiental de Puebla, que poseen este conocimiento milenario, perseveran en mantener viva esta tradición.

En este contexto, el presente proyecto tiene como objetivo principal incidir en el reconocimiento y promoción de los saberes ancestrales relacionados con la medicina tradicional en la Sierra Nororiental de Puebla. Se propone desarrollar una plataforma Web basada en técnicas de Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) y Web Semántica para organizar y difundir la información de manera eficiente.

El artículo se estructura en diferentes secciones, que incluyen el estado del arte, la arquitectura propuesta, la ontología del dominio, extracción de información de redes sociales, las discusiones sobre el trabajo futuro y, finalmente, las conclusiones. Con esta iniciativa, se busca contribuir en salvaguardar un patrimonio cultural invaluable y fomentar la integración de la medicina tradicional en el contexto actual de la salud en México.

Estado del arte

Medicina tradicional

En la literatura se pueden encontrar trabajos de investigación que resaltan la importancia de la medicina tradicional mexicana, estos trabajos se enfocan principalmente en realizar una revisión de plantas medicinales para el tratamiento de diversas enfermedades. Por ejemplo, en [4] identifican las plantas medicinales más comúnmente utilizadas por mujeres para tratamiento de problemas de fertilidad, menstruación, embarazo y menopausia y evalúan los datos clínicos que apoyan su uso. El análisis de los datos mostró que 185 especies de plantas fueron utilizadas para una amplia gama de problemas de salud reproductiva. Por otro lado, en [5] evalúan los avances actuales de la investigación en etnofarmacología y fitoquímica de plantas medicinales mexicanas que exhiben actividad antiprotozoaria, utilizadas para tratar la diarrea. Los resultados muestran que un total de 80 especies utilizadas en la medicina tradicional mexicana para el tratamiento de la diarrea han sido evaluadas como fuentes potenciales de agentes antiprotozoarios contra E. histolytica o G. lamblia.

Web semántica en el dominio de la salud

Aunque pareciera que la Web Semántica también conocida como Web 3.0, no tiene nada que ver con el dominio de la salud, la realidad indica lo contrario, ya que un principio básico de la informática médica es que, si las computadoras han de ayudarnos en el proceso del cuidado de la salud, deben ser capaces de manipular información de forma simbólica y no sólo de almacenarla y desplegarla en pantalla. Tomando como base esta realidad, en el dominio de la salud se han hecho esfuerzos por formalizar el conocimiento de los expertos mediante ontologías que puedan ser explotadas por los sistemas y personas dedicadas al cuidado de la salud. Por ejemplo, [6] desarrollan un modelo basado en ontologías para pacientes diabéticos con el fin de ayudar a los médicos a tomar una decisión diagnóstica eficaz sobre el estado de la diabetes mediante la aplicación del lenguaje de reglas de la web semántica. En [7] se examina a la web semántica de la mano con la ontología, para el tratamiento de asma, a su vez que se describe la aplicación de estas tecnologías dentro de una aplicación móvil que actúa como un sistema de recomendaciones para la autogestión de la salud. Por otro lado, [8] desarrollan una ontología de dominio, para representar conocimiento sobre salud y seguridad y mejorar la toma de decisiones en este ámbito.

Minería de opiniones y PLN en el dominio de la salud

Con respecto a la minería de opiniones también conocida como análisis de sentimientos, existen diversos trabajos en la literatura enfocados en analizar opiniones sobre enfermedades principalmente en dos niveles: 1) nivel comentario y 2) nivel aspecto. En el primer nivel se obtiene la polaridad (positiva o negativa) total de la opinión, mientras que en el segundo nivel se obtiene la polaridad por cada aspecto identificado en la opinión. Por ejemplo, en una opinión de diabetes donde el paciente expresa una opinión relacionada a su enfermedad, medicamentos y alimentación, se está mencionando diferentes aspectos a la vez, y cada uno puede tener una polaridad positiva o negativa.
Por ejemplo, en el trabajo propuesto en [9] desarrollan un módulo basado en minería de opiniones para obtener sentimientos y emociones a nivel de comentario y entidad a partir de textos relacionados con el ámbito sanitario. En [10] proponen un método para detectar la reacción emocional de los pacientes sobre conceptos del dominio del asma como actividades físicas, medicamentos, entre otros. Mientras tanto en [11] proponen un enfoque híbrido que utiliza la semántica y el aprendizaje automático para un sistema de minería de opiniones mediante la

ISSN: 2007 8102

aplicación de técnicas de procesamiento de lenguaje natural para la detección de la polaridad de medicamentos para enfermedades crónico-degenerativas, disponibles en blogs y páginas web especializadas en lenguaje español. Finalmente, en [12] proponen una ontología para modelar el dominio de las enfermedades infecciosas con conceptos como riesgos, síntomas, métodos de transmisión o medicamentos y desarrollan un modelo de análisis de sentimientos basado en aspectos a partir de características estadísticas y lingüísticas.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, se puede observar que, si bien existen diversos trabajos que aplican técnicas de PLN, minería de opiniones y web semántica en el ámbito de la salud, no se reportan trabajos que apliquen dichas técnicas en el contexto de medicina tradicional. Aunado a esto, existe una carencia de trabajos que integren tecnologías innovadoras para la preservación y promoción de medicina tradicional.
Las herramientas mencionadas en este apartado se consideran apropiadas para el desarrollo del proyecto dados los beneficios que ofrecen respecto al manejo de la información. En el caso de PLN, puede utilizarse en circunstancias que se necesite recuperar textos, manuscritos y/o documentos relacionados con la medicina tradicional que podrían estar en peligro de deterioro físico [13], esto asegura la disponibilidad del conocimiento en formato digital para futuras generaciones; también ayuda a identificar información relevante en textos largos y de diferentes idiomas, lo que es útil para recopilar datos específicos sobre hierbas y tratamientos. Respecto a la Web semántica, es útil para crear ontologías y bases de datos que almacenen información sobre diferentes prácticas medicinales y sus efectos en la salud de manera estructurada, lo que facilita su búsqueda y recuperación [14]. Con la minería de opiniones se conoce qué tan confiable son ciertas alternativas curativas considerando las experiencias de personas que las hayan utilizado.

Arquitectura

La Figura 1 presenta la arquitectura general de la plataforma Web de medicina tradicional. La arquitectura se compone de cuatro capas principales, Presentación, API de servicios Web (interfaz de programación de aplicaciones), Negocio y Acceso a datos; cada una con diferentes módulos que ejecutan sus tareas de forma independiente para permitir la escalabilidad de la plataforma.

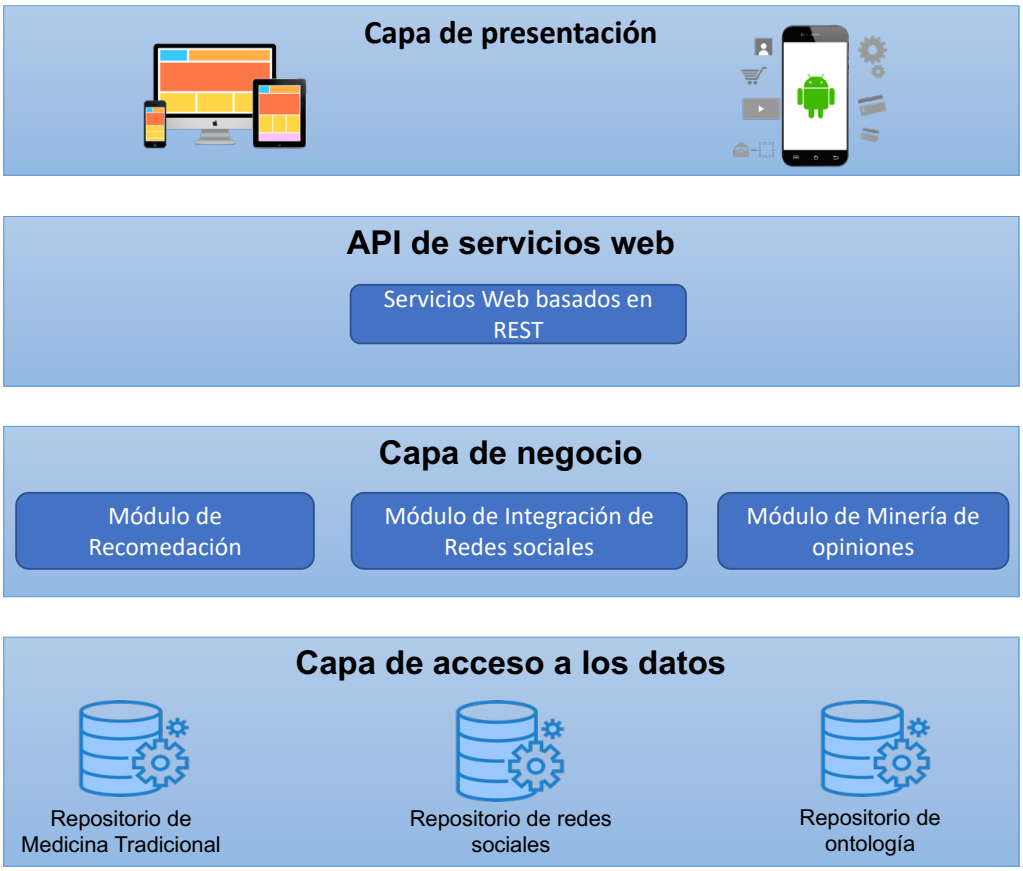


Figura 1. Arquitectura de la plataforma.

Capa de presentación. La capa de presentación permite la interacción entre los usuarios y la plataforma web, también conocida como interfaz gráfica de usuario. La plataforma debe ser fácil de usar, comprensible y amigable para el usuario. Esta capa se comunica con la plataforma a través de una API de servicios web basada en REST. En concreto, esta capa cubre las siguientes aplicaciones:
─ Aplicación Web. Esta aplicación permite al usuario acceder a la plataforma desde cualquier navegador Web (Edge, Chrome, Mozilla Firefox, Safari, entre otros) permitiendo así el acceso desde diferentes sistemas operativos como Windows, Mac OS y Linux, así como iOS, y Android. Además, se utiliza un enfoque de Interfaz de Usuario responsivo que permite que la plataforma responda a diferentes navegadores y dispositivos.
─ Aplicación móvil. Consiste en una aplicación móvil para dispositivos basados en Android, siendo la versión más utilizada en el mercado de smartphones y tablets.
API de servicios web. La API de servicios web proporciona un conjunto de servicios web basados en REST agrupados por función que permitirán el intercambio de datos entre aplicaciones, en este caso, entre la capa de presentación (Web e interfaz móvil) y la capa de negocio explicada a continuación.

Capa de negocio. La capa de negocio contiene la lógica principal de procesamiento de datos dentro de la aplicación Web. Se comunica con la capa de presentación para obtener las entradas del usuario y presentar la información resultante, así como con la capa de acceso a datos para llevar a cabo sus operaciones. Las principales características u opciones que tiene el usuario en su interacción con el sistema son:
─ Módulo de recomendaciones. Las recomendaciones generadas por este módulo se basan en el conocimiento que se tienen sobre los ítems (especialistas de medicina tradicional) que el usuario ha valorado (implícita o explícitamente) y sobre medicina tradicional.
─ Módulo integración de redes sociales. Este módulo permite recoger opiniones relacionadas con plantas medicinales de redes sociales como Facebook y X.
─ Módulo minería de opiniones. Permite el análisis de opiniones de usuarios sobre especialistas de medicina tradicional y plantas medicinales tanto de la plataforma web como de las redes sociales antes mencionadas. Este análisis permite generar recomendaciones basadas en las opiniones de los usuarios.

Capa de acceso a los datos. Permite simplificar el acceso a los datos almacenados fundados en esta capa, que se compone de la lógica principal de acceso y persistencia de datos dentro de la aplicación Web. Esta capa deberá soportar el almacenamiento de datos, la recuperación de información, y la concurrencia de múltiples usuarios accediendo a la información.
La información almacenada en esta capa es:
─ Repositorio de Medicina Tradicional. Este repositorio contiene información relacionada con recomendaciones, y especialistas de medicina tradicional registrados en la plataforma.
─ Repositorio de redes sociales. Contiene opiniones de plantas medicinales registrados en la plataforma procedentes de redes sociales como Facebook y Twitter.
─ Repositorio de ontología. Se utiliza para almacenar y gestionar el acceso a la información y conocimientos basados en un formato OWL (Web Ontology Language).

Ontología medicina tradicional

Con el propósito de identificar elementos relacionados con la medicina tradicional, como nombres de plantas medicinales, enfermedades y síntomas, se desarrolló una ontología específica para este dominio. Esta ontología ha sido construida utilizando información proveniente de diversas fuentes, como la biblioteca digital de la medicina tradicional mexicana[15] y datos proporcionados por expertos de la ciudad de Cuetzalan, Puebla. De esta manera, se corrobora que los datos obtenidos de medios virtuales se asemejen a lo recabado en las entrevistas efectuadas, o en su caso, se realice la actualización pertinente de los registros. El papel de los expertos es importante ya que además brindan apoyo en la comunicación con los hablantes de náhuatl de su comunidad.

El objetivo principal de esta ontología es proporcionar un conjunto de términos controlados que permitan describir de manera semántica las relaciones entre los conceptos en el campo de la medicina tradicional. Para ello, se empleó el lenguaje de ontologías Web Ontology Language (OWL) 2.
A continuación, presentamos un extracto de la ontología desarrollada, representado en la Figura 2. Esta ontología abarca diversos conceptos relacionados con la medicina tradicional mexicana. A continuación, resumimos los cuatro conceptos más destacados que forman parte de esta propuesta ontológica:

 ISSN: 2007 8102

- Planta medicinal: Representa a aquellas plantas que son utilizadas con fines terapéuticos y medicinales en la medicina tradicional mexicana. Estas plantas contienen compuestos químicos naturales que pueden tener propiedades curativas o aliviar síntomas de diversas enfermedades.
- Enfermedad: En el contexto de la medicina tradicional mexicana, representa la alteración o desequilibrio del estado de salud de una persona. La concepción de la enfermedad en esta tradición puede estar relacionada con factores físicos, emocionales, mentales o espirituales. Se cree que las enfermedades pueden ser causadas por diversos elementos, como malos hábitos alimenticios, mal aire, sustos, energías negativas o fuerzas sobrenaturales.
- Síntoma: Representa los síntomas que son manifestaciones o signos que experimenta una persona cuando está enferma. Estos síntomas pueden ser físicos, como dolor, fiebre, tos, o también pueden incluir aspectos emocionales o mentales, como tristeza, ansiedad o fatiga. En la medicina tradicional mexicana, los síntomas son considerados como pistas importantes para identificar la raíz del problema y determinar el tratamiento adecuado.
- Efectos secundarios: Los efectos secundarios se refieren a las reacciones no deseadas o adversas que pueden surgir como resultado del uso de una planta medicinal o cualquier otra forma de tratamiento. En la medicina tradicional mexicana, algunas plantas medicinales pueden tener dichos efectos.

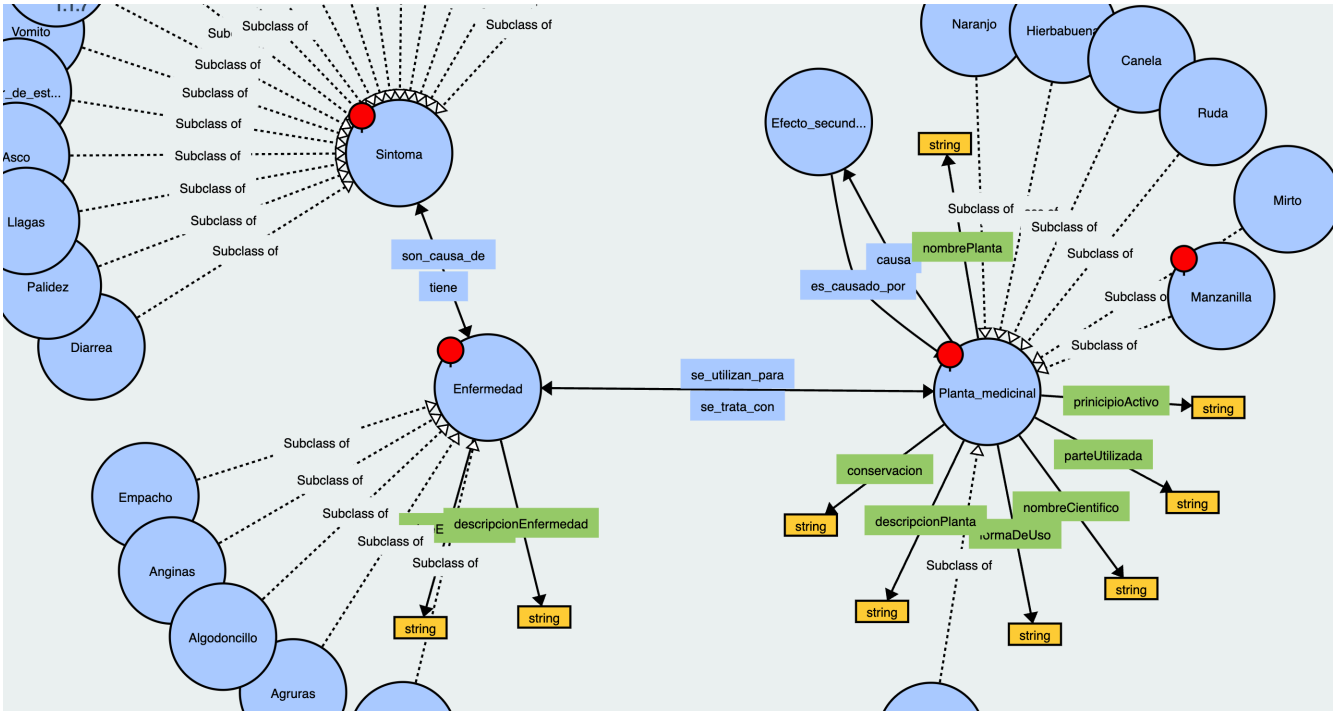


Figura 2. Ontología del dominio.

Extracción de información de redes sociales

En el proceso de extracción de información relacionada con la medicina tradicional, se adoptó un enfoque innovador que aprovecha la inmensa cantidad de datos disponibles en las redes sociales. En particular, se enfocó en dos redes sociales prominentes: X y Facebook. Para la recopilación de datos en X, se empleó la interfaz de programación de aplicaciones (API) de X, una herramienta que permite acceder y extraer contenido de esta plataforma de manera estructurada y automatizada. Por otro lado, para obtener los comentarios y contenido relacionado con la medicina tradicional en Facebook, se creó un "scrapper" utilizando el lenguaje de programación Python.

El objetivo central de este enfoque es obtener una amplia variedad de comentarios y discusiones sobre plantas medicinales en ambas redes sociales. Reconociendo la importancia de maximizar la cantidad de información relevante, se tomó como punto de partida la ontología previamente definida en el dominio de la medicina tradicional. Esta ontología sirvió como guía para determinar las palabras clave y conceptos fundamentales que

 ISSN: 2007 8102

serían utilizados en las búsquedas y recopilación de datos. Este enfoque aseguró que las búsquedas estuvieran enfocadas y alineadas con los aspectos más relevantes del dominio, evitando la dispersión y redundancia en los datos recopilados.

En conjunto, esta estrategia de extracción de información permitió obtener un corpus diverso y enriquecedor de comentarios y discusiones relacionadas con la medicina tradicional y plantas medicinales. Al utilizar la ontología del dominio como guía para definir las palabras clave, se aseguró que los datos recopilados fueran relevantes y coherentes con los objetivos de la investigación. Este enfoque no solo demuestra la capacidad de la tecnología para apoyar la investigación en campos específicos, sino que también resalta la importancia de la intersección entre la tecnología y el conocimiento tradicional en la búsqueda de soluciones innovadoras y holísticas.
A continuación (ver Figura 3 y Figura 4), se presentan dos ejemplos de comentarios extraídos de las redes sociales antes mencionadas.

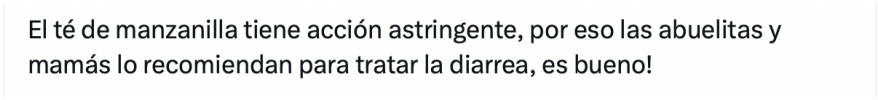


Figura 3. Comentario extraído de X.

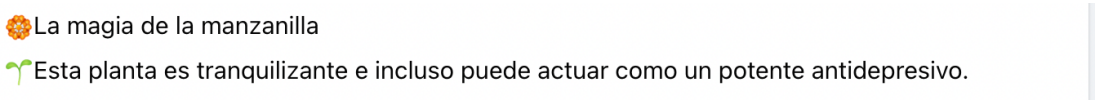


Figura 4. Comentario extraído de Facebook.

Trabajo a futuro

En futuras investigaciones, se busca expandir la comprensión de la percepción de la medicina tradicional mediante la incorporación de opiniones y perspectivas provenientes de medios sociales adicionales, complementando así los datos recopilados de plataformas como X y Facebook. Esta ampliación en la recopilación de datos permitirá obtener una visión más completa y representativa de las actitudes y creencias en torno a la medicina tradicional. Además, se tiene previsto realizar una implementación exhaustiva y una validación rigurosa de la aplicación web y móvil desarrollada en este estudio. La validación estará orientada a evaluar la usabilidad y eficacia de la plataforma, asegurando que cumpla con los criterios de accesibilidad, funcionalidad y experiencia del usuario. A través de estas futuras etapas de investigación y refinamiento, se pretende fortalecer la robustez y aplicabilidad de la plataforma en el contexto de la medicina tradicional y su promoción en la era digital.

La plataforma Web basada en técnicas de PLN y Web Semántica para impulsar la preservación de medicina tradicional de la Sierra Nororiental del Estado de Puebla se pretende que impacte de manera directa a las comunidades indígenas a través del reconocimiento y promoción de los saberes que se han desarrollado durante épocas milenarias, con un planteamiento inicial en el idioma español y posterior adaptación al náhuatl para mayor difusión entre los grupos nativos. Además, se busca generar un impacto en el Turismo de salud, específicamente en el contexto de medicina tradicional, atrayendo a visitantes de otros estados e incluso de otros países generando desarrollo comunitario y a su vez, coadyuvar al rescate de tradiciones.

Conclusiones

La presente propuesta tiene como objetivo abordar las problemáticas identificadas en los PRONACES (Programas Nacionales Estratégicos) establecidos por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), en particular en el ámbito de la salud, la medicina tradicional y la herbolaria. Su

ISSN: 2007 8102

principal beneficio radica en promover la recuperación, el reconocimiento y la promoción de los conocimientos, agentes y recursos que se han desarrollado a lo largo de milenios.

A pesar de los obstáculos que enfrentan estos expertos en medicina ancestral, su dedicación y perseverancia continúan en la lucha por preservar y difundir sus valiosos conocimientos con los recursos limitados a su disposición. Además de ser representantes de su cultura, su labor también constituye una fuente fundamental de ingresos para muchos de ellos, lo que les permite sobrellevar su día a día. La implementación de la plataforma propuesta se erige como una herramienta clave para dar a conocer a la población el esfuerzo constante que estos expertos realizan.

Al acceder a la plataforma, los usuarios se beneficiarán de varias maneras. Tendrán la capacidad de consultar información detallada sobre diversas plantas utilizadas en la medicina alternativa, incluyendo sus características y recomendaciones para distintos padecimientos. Además, podrán comparar y evaluar la aplicabilidad de cada planta en diferentes situaciones, presentada de manera gráfica para brindar confianza en el uso de remedios naturales. Asimismo, la plataforma permitirá conocer a fondo el perfil y detalles adicionales de los especialistas en medicina ancestral, facilitando su ubicación para consultas específicas.

En un contexto donde la preservación de la medicina tradicional es esencial, esta propuesta se convierte en una herramienta poderosa para garantizar el acceso a opciones de tratamiento culturalmente pertinentes. Al mostrar respeto hacia la diversidad de prácticas terapéuticas, esta plataforma no solo contribuye a la conservación de saberes milenarios, sino que también abre puertas hacia un mayor entendimiento y colaboración entre la medicina tradicional y las prácticas médicas contemporáneas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al TecNM/ITS Teziutlán por el apoyo otorgado para la realización de este proyecto, así como al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el apoyo otorgado a través de la Convocatoria 2023: Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación. Finalmente, los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca de maestría otorgada al autor Paola Gómez-García a través de la convocatoria “Becas nacionales para estudios de posgrado 2022”.

Referencias

[1] G. de México, “Día Internacional de la Medicina Natural,” 2021.
[2] G. de P. Secretaría de Salud, “Día mundial de la medicina tradicional.”
[3] A. M. Aranzazú, “La resistencia de la medicina tradicional en Puebla,” 2022.
[4] P. Cabada-Aguirre, A. M. López López, K. C. O. Mendoza, K. D. Garay Buenrostro, D. A. Luna-Vital, and G. B. Mahady, “Mexican traditional medicines for women’s reproductive health,” *Scientific Reports 2023 13:1*, vol. 13, no. 1, pp. 1–13, Feb. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-29921-1.
[5] F. Calzada and E. Bautista, “Plants used for the treatment of diarrhoea from Mexican flora with amoebicidal and giadicidal activity, and their phytochemical constituents,” *J Ethnopharmacol*, vol. 253, May 2020, doi: 10.1016/J.JEP.2020.112676.
[6] L. Chen *et al.*, “OMDP: An ontology-based model for diagnosis and treatment of diabetes patients in remote healthcare systems,” *Int J Distrib Sens Netw*, vol. 15, no. 5, May 2019, doi: 10.1177/1550147719847112/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_1550147719847112-FIG12.JPEG.
[7] A. Y. Icaza Junco and R. K. Chong Chila, “Investigación y análisis de web semántica, ontologías para el uso de la salud en el tratamiento del asma y una visión panorámica del sistema de recomendaciones health monitor UG,” Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería En Networking y Telecomunicaciones, 2019.
[8] H. Luna-Aveiga *et al.*, “Sentiment polarity detection in social networks: An approach for asthma disease management,” *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 629, pp. 141–152, 2018, doi: 10.1007/978-3-319-61911-8_13/COVER.
[9] S. Gao, G. Ren, and H. Li, “Knowledge Management in Construction Health and Safety Based on Ontology Modeling,” *Applied Sciences 2022, Vol. 12, Page 8574*, vol. 12, no. 17, p. 8574, Aug. 2022, doi: 10.3390/APP12178574.

ISSN: 2007 8102

[10] F. J. Ramírez-Tinoco, G. Alor-Hernández, J. L. Sánchez-Cervantes, M. del P. Salas-Zárate, and R. Valencia-García, “Use of sentiment analysis techniques in healthcare domain,” *Studies in Computational Intelligence*, vol. 815, pp. 189–212, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-06149-4_8/COVER.
[11] K. Castro-Pérez, J. L. Sánchez-Cervantes, M. del Pilar Salas-Zárate, M. Bustos-López, and L. Rodríguez-Mazahua, “An Opinion Mining Approach for Drug Reviews in Spanish,” *https://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/978-1-7998-4730-4.ch021*, pp. 445–480, Jan. 1AD, doi: 10.4018/978-1-7998-4730-4.CH021.
[12] J. A. García-Díaz, M. Cánovas-García, and R. Valencia-García, “Ontology-driven aspect-based sentiment analysis classification: An infodemiological case study regarding infectious diseases in Latin America,” *Future Gener Comput Syst*, vol. 112, pp. 641–657, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.FUTURE.2020.06.019.
[13] D. Moreira *et al.*, “Análisis del estado actual de procesamiento de lenguaje natural,” *RISTI - Rev. Ibér. Sist. Tecnol. Inf.*, no. 42, pp. 126–136, 2021.
[14] A. Lozano Tello, “Ontologías en la Web semántica,” 2020.
[15] UNAM, “Biblioteca digital de la medicina tradicional mexicana,” 2009. http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/

ISSN: 2007 8102

Sistema de control de acceso a instituciones educativas a través de técnicas de reconocimiento facial

A.A. Orea Vite[1], M.A. Aguilar Cortés[2], J. Robles Calderón[3], G. Robles Calderón[4]*
[1]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla, México, m21te0008@teziutlan.tecnm.mx
[2]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla, México, marco.ac@teziutlan.tecnm.mx
[3]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla, México, jacobo.rc@teziutlan.tecnm.mx
[4]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla, México, guadalupe.rc@teziutlan.tecnm.mx

***Área de participación**: Sistemas Computacionales*

Resumen

La presente investigación muestra una exitosa implementación de un sistema de control de asistencia avanzado basado en tecnologías de reconocimiento facial, así como en algoritmos y dispositivos de la marca Hikvision. Este sistema está diseñado para instituciones de educación superior y media superior. Para lograrlo, se solicitó acceso al API de la cámara y se desarrolló un eficiente sincronizador que almacena los datos obtenidos en una base de datos MySQL. Además, se diseñó un notificador, que junto con el API gratuito de Telegram, permite informar de manera instantánea a los responsables de los alumnos sobre su asistencia. Como valor añadido, se creó una aplicación web que facilita la administración de la información y proporciona reportes detallados de asistencia. Gracias a esta solución integral, se optimiza significativamente los tiempos de verificación del alumnado, brindando una gestión más eficiente y efectiva para el seguimiento y control dentro de la institución educativa.

***Palabras clave**: Reconocimiento Facial, Asistencia, Telegram.*

Abstract

This research shows a successful implementation of an advanced attendance control system based on facial recognition technologies, as well as Hikvision brand algorithms and devices. This system is designed for higher and secondary education institutions. To achieve this, access to the camera's API was requested and an efficient synchronizer was developed that stores the data obtained in a MySQL database. In addition, a notifier was designed, which together with Telegram's free API, allows to instantly inform those responsible for the students about their attendance. As an added value, a web application was created that facilitates information management and provides detailed attendance reports. Thanks to this comprehensive solution, student verification times are significantly optimized, providing a more efficient and effective management for monitoring and control within the educational institution.

***Key words**: Facial Recognition, Assistance, Telegram.*

Introducción

La educación es un valor fundamental para aquellos que persiguen un constante crecimiento [1]. No obstante, este proceso no puede llevarse a cabo con plenitud si carece de un acompañamiento cercano por parte de tutores que supervisen el rendimiento académico. En las primeras etapas de formación, esta supervisión tiende a ser fluida, ya que los tutores se encargan de acompañar a los estudiantes al plantel. Sin embargo, a medida que los alumnos evolucionan, brota un anhelo de independencia y autonomía que puede desencadenar conductas problemáticas, llevando a algunos a ausentarse de la institución y, por ende, afectando su futuro desempeño educativo y profesional [2].

En el contexto de la asistencia, se emplean diversos dispositivos para llevar el control del tiempo de las personas y hacer seguimiento de su presencia o ausencia [3]. Los sistemas de control de acceso cuentan con mecanismos de seguridad que permiten a las personas verificar si tienen el permiso adecuado para ingresar a una zona específica [4]. Estos mecanismos se utilizan en múltiples sectores para monitorear y garantizar la identidad de las personas.

Con el fin de abordar de manera efectiva esta problemática, se propone la implementación de un sistema integral basado en una avanzada tecnología de reconocimiento facial y un software especializado en la generación de asistencias bajo un tipo de investigación cuantitativa y utilizando la observación como un instrumento de recolección de datos. El sistema está conformado por una cámara de alta precisión de la marca Hikvision que servirá para registrar la asistencia de los alumnos, notificando de inmediato al tutor correspondiente el ingreso al plantel educativo. También se registra la hora de salida, ofreciendo detalles precisos sobre el momento en que el alumno abandona las instalaciones educativas. Es importante mencionar que el proyecto está diseñado para instituciones educativas de nivel medio superior como superior, tanto en el ámbito público como privado, con el objetivo de optimizar los procesos de control de asistencia y mejorar la gestión educativa en general. El proyecto propuesto captura los metadatos (identificador, fecha y hora de reconocimiento facial) de la cámara para almacenarlos en la base de datos y calcular la asistencia y el tiempo de permanencia de cada alumno en la escuela. Además, busca aumentar la seguridad en la comunidad estudiantil, reduciendo hasta cierto punto, la probabilidad de suplantación de identidad [5].

Metodología

Instrumento de recolección de datos

La información fue adquirida a través de un proceso de observación, ya que resulta esencial analizar el procedimiento de ingreso en las instituciones. Este análisis abarcó tres momentos distintos: la primera en la que no se llevaba un registro de asistencia, la segunda en la que se utilizaban tarjetas de identificación (credenciales), y la tercera en la que se implementaba un sistema de control biométrico. Respecto al primero, se identificaron problemáticas como inasistencias no registradas, falta de información a los tutores que acuden a la institución y carencia de seguimiento académico. En lo que refiere al proceso con tarjetas, se encontraron vulnerabilidades en términos de seguridad, ya que los estudiantes podrían utilizar las credenciales de otros compañeros.

El objetivo principal se enfoca en validar los intervalos de registro en el sistema biométrico y comparar la gestión de la asistencia en la institución cuando no se realiza un registro en la entrada. El análisis de la asistencia a través del sistema biométrico reveló notables variaciones en los tiempos, debido a que las huellas dactilares de los alumnos pueden presentar defectos o heridas que dificultan un registro preciso. Además, los sistemas biométricos no realizan la sincronización de datos en tiempo real; en su lugar, estos datos se almacenan y se ingresan manualmente en la base de datos al día siguiente a través de un software específico. Esta falta de sincronización y automatización podría impactar negativamente en la eficiencia y precisión del control de asistencia en la institución educativa. Estos registros se analizaron para establecer una comparativa basada en los tiempos de registro de los alumnos.

Herramientas de hardware y software

El logro de los objetivos planteados en este proyecto se apoya en una serie de herramientas que juegan un papel crucial en la implementación de la arquitectura. Estas herramientas son:

Tabla 1. Características de hardware y software.

Hardware	Software
Equipo de cómputo (Core i5, 512 GB SSD, 12 GB RAM)	Sistema Operativo Windows 10
Router Engenius 10/100 Mbit/s	Visual Studio Community 2022
Switch Poe Activo 10/100 Mbit/s	MySQL 8.0
Cámara Hikvision DeepinView Modelo IDS-2CD7146G0-IZS (reconocimiento facial propietario)	Framework Bulma
	API Hikvision
	API Telegram
	Python 3.11.4

ISSN: 2007 8102

Arquitectura

La arquitectura del proyecto inicia desde un punto central, donde se encuentra ubicada una avanzada cámara de videovigilancia equipada con algoritmos de reconocimiento facial propietarios de Hikvision. Este innovador sistema realiza internamente la comparación de rostros y almacena la información de las personas reconocidas de manera satisfactoria en una memoria microSD, como se muestra en la figura 1. Para lograr una sincronización efectiva de los datos, se ha implementado un sistema que establece una comunicación directa con la cámara mediante el API de Hikvision. De esta manera, se lee la información en un formato semiestructurado y se almacena de manera eficiente en una base de datos de MySQL. Simultáneamente, un servicio de notificación se encarga de verificar los nuevos registros detectados por la cámara y, utilizando el API de Telegram, envía mensajes de texto a los padres de familia o tutores de los alumnos reconocidos, notificándoles en tiempo real sobre el ingreso de sus hijos al instituto. Para una gestión aún más efectiva, se ha desarrollado una aplicación web que presenta una interfaz gráfica amigable para el usuario administrador. Esta herramienta permite controlar los parámetros esenciales para obtener y administrar de manera precisa y oportuna las asistencias de los alumnos del centro escolar. Con esta solución tecnológica integral, se optimiza el proceso de control de asistencia, brindando una valiosa herramienta para la gestión académica y la seguridad dentro de la institución educativa.

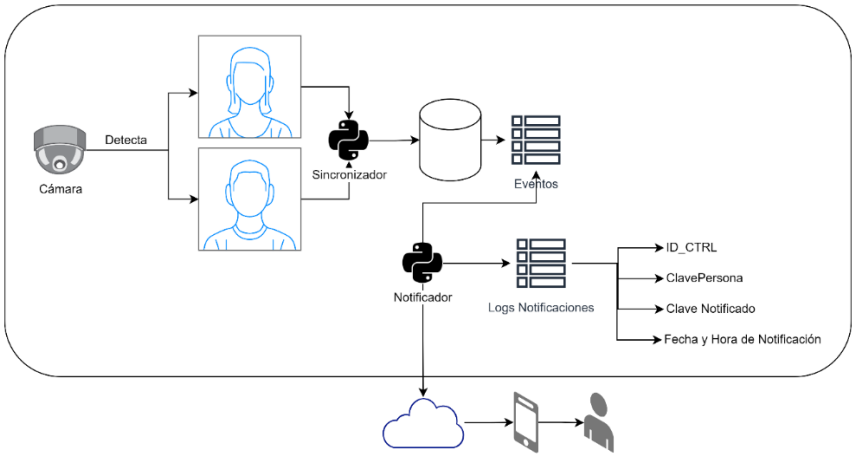


Figura 1. Arquitectura del proyecto.

Metodología de desarrollo

El desarrollo del presente proyecto se basa en una metodología que consta de seis pasos los cuales se describen a continuación:

- Investigación de antecedentes
- Objetivos
- Integración de aplicaciones externas
- Desarrollo de aplicación y servicios
- Análisis y recolección de datos
- Pruebas funcionales

Investigación de antecedentes

Después de analizar diferentes trabajos relacionados al reconocimiento facial, se han encontrado proyectos similares aplicados a la educación y seguridad. Por ejemplo, se utilizó reconocimiento facial para la identificación de los estudiantes en periodo de exámenes finales de manera presencial, sus resultados evitan la suplantación de identidad [6]. Existe otro trabajo que se aplicó reconocimiento facial en los colegios de educación básica para buscar la confiabilidad y seguridad, con el fin de saber en la entrada quien es el tutor del alumno y entregarlo a la persona adecuada [7]. Mientras que el proyecto de un sistema de reconocimiento facial rápido para escuelas, desarrollado mediante características vectoriales faciales alcanzan a poder comparar los semblantes conseguidos de una cámara web obteniendo buenos resultados al tener mejor respuesta a la sensibilidad de la luz para asegurar la identidad del alumno[8]. Además de presentarse un artículo de un proyecto estudiantil por medio de reconocimiento facial en Guadalajara para una prepa, esto para permitir o denegar su acceso al plantel de acuerdo con su base de datos autorizada de alumnos[9].

Con respecto a la seguridad, se utiliza el proceso de reconocimiento facial en colegios de New York para evitar temas de violencia o delincuentes, así como cualquier persona que tenga prohíbo ingresar al instituto o bien estudiantes que hayan sido suspendidos [10].

Objetivos

Desarrollar e implementar una solución tecnológica de reconocimiento facial con base en algoritmos de Hikvision con el fin de agilizar el proceso de ingreso a instituciones de nivel medio superior y superior notificando en tiempo real la asistencia del alumno al tutor.

Integración de aplicaciones externas

Para obtener los metadatos de las personas que serán comparadas, es necesario agregar sus perfiles a la biblioteca del dispositivo, lo que implica capturar información como el nombre, género, fecha de nacimiento, tipo de documento de identidad (tarjeta), y número de identificación (número de control). Se realizan las primeras pruebas con el programa postman para validar la comunicación entre el software y hardware sea satisfactoria de acuerdo con el esquema mostrado en la figura 2.

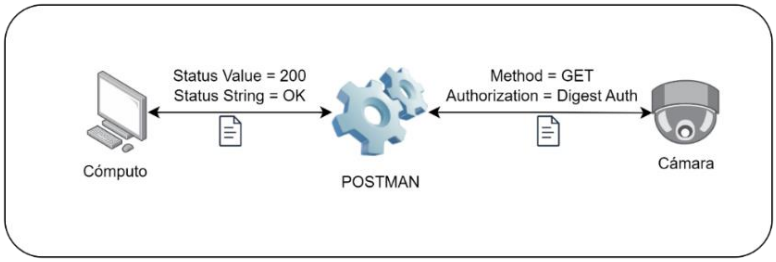


Figura 2. Comunicación con la cámara Hikvision.

En lo que refiere a las notificaciones, se debe contar un número telefónico celular que esté activo el cual tendrá la función como el origen de los mensajes en el Telegram principal. Para conectar la aplicación de Telegram al desarrollo del proyecto, se tiene que hacer un registro en: https://my.telegram.org/apps con el número a utilizar para que el API nos devuelva el api_id y el api_hash, esto para que en el proyecto se ejecute como se muestra en la figura 3.

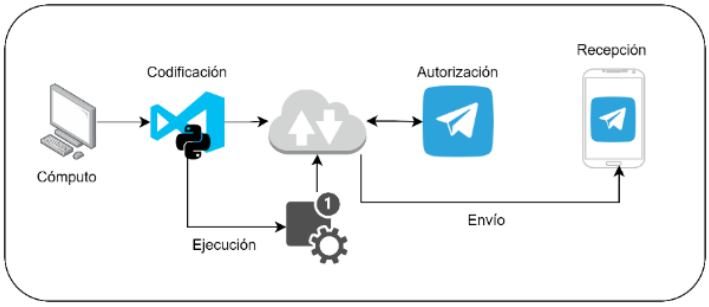


Figura 3. Notificador.

Desarrollo de aplicación y servicios

Para implementar el servicio de sincronización de datos entre la aplicación y el dispositivo, se utilizó el lenguaje Python en el editor de código Visual Studio Code. Esta aplicación extrae los datos a través de una Interfaz de Comunicación Programada (API). Es crucial asegurar que la cámara cuente con una dirección IP fija, ya que, en un entorno productivo, una IP dinámica podría afectar el funcionamiento del sistema.

Además, la función de notificación de eventos detectados alertará a la persona que está siendo evaluada mediante reconocimiento facial para su control de acceso en el instituto.

ISSN: 2007 8102

Mientras que para el usuario administrativo que va a gestionar toda la información, se desarrolla una aplicación en la cual realiza las altas, bajas o actualizaciones correspondientes de cada una de las operaciones.

Análisis y recolección de datos

Los intervalos entre la detección de rostros y su almacenamiento en la base de datos se reflejan en una tabla que muestra los segundos y minutos de los eventos de detección en relación con la fecha y hora de sincronización para el almacenamiento en la base de datos. El proceso de sincronización de datos de la cámara se presenta en la figura 4, mientras que los intervalos en los que se notificó a las partes interesadas se ilustran en la figura 5. Sin embargo, para garantizar que los datos se estén guardando de manera correcta, el sincronizador válida que haya comunicación con la base de datos, sino lo hay, notificará cada 5 minutos al administrador mediante Telegram.

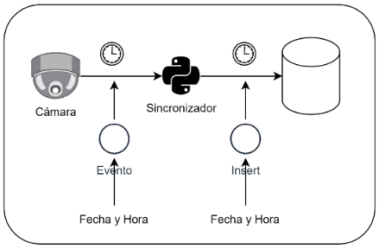


Figura 4. Tiempos en almacenarse en BD.

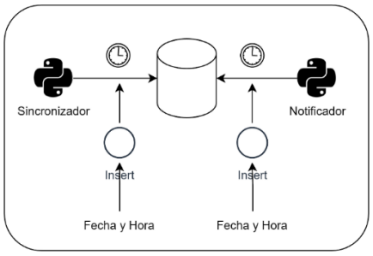


Figura 5. Registro de notificaciones.

Pruebas funcionales

En la figura 6 se observa la implementación del reporte de asistencia semanal, donde se podrá consultar el día que se requiera y mostrará en una tabla la semana a la que pertenece para tener una mayor visibilidad de la asistencia de los alumnos. También se podrá monitorear los registros de cada una de las notificaciones autorizadas por medio de Telegram, el cual guardará en base de datos cada uno de estos logs por temas de respaldo y además de permitir al administrador ver un reporte correspondiente. En caso de requerir alguna aclaración para conocer el día y la hora de entrada y salida a detalle, se cuenta con un reporte de asistencia (horas de estancia escolar), el cual mostrará más a detalle los eventos de los alumnos.

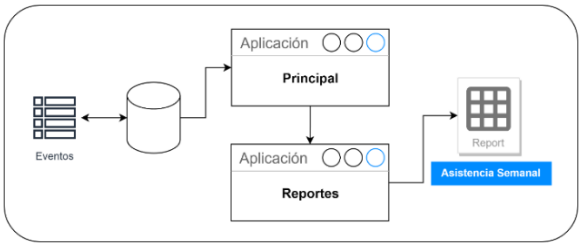


Figura 6. Reporte de asistencia semanal.

Resultados y discusión

Instalación de hardware (cámara)

La cámara es alimentada por tecnología Power Over Ethernet (POE) sobre la LAN esto para evitar usar tomar corriente y se garantiza un funcionamiento las 24 horas del día, los 7 días a la semana. En la figura 7 se observa el dispositivo instalado.

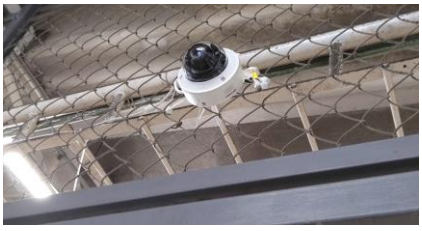


Figura 7. Cámara instalada.

 ISSN: 2007 8102

En la figura 8 y 9 muestra un solo pasillo controlado para los alumnos y puedan mostrar su rostro en la cámara para su detección.

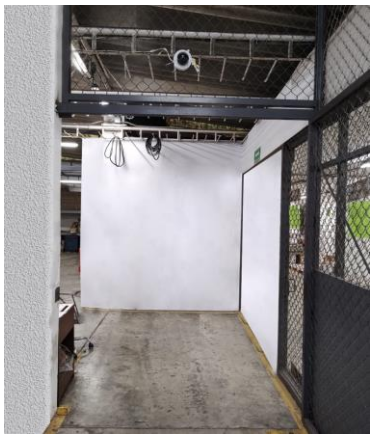


Figura 8. Pasillo controlado.

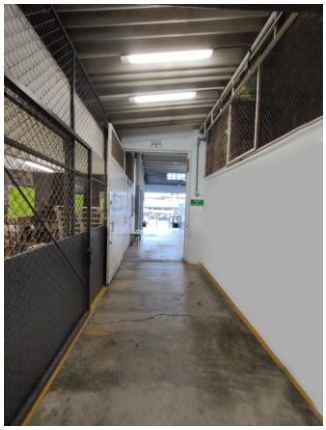


Figura 9. Entrada.

Captura de rostros

En la figura 10 y 11 muestran como la cámara recolecta y compara los rostros que se le presenten, además de almacenarlas en su memoria interna para su recolección.

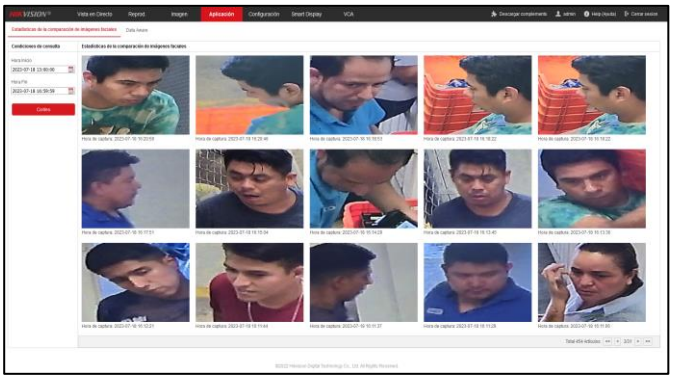


Figura 10. Recolección de rostros.

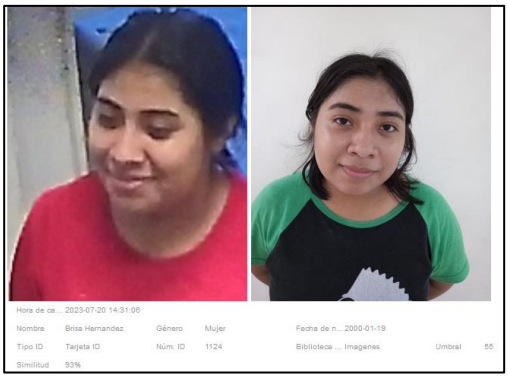


Figura 11. Comparación de rostro.

Aplicación de control de acceso

En la figura 12 se muestra la pantalla principal de la aplicación para el usuario administrativo, donde podrá alimentar a la solución con la información requerida. Mientras que en la figura 13 podrá gestionar la información.



Figura 12. Pantalla de Inicio.

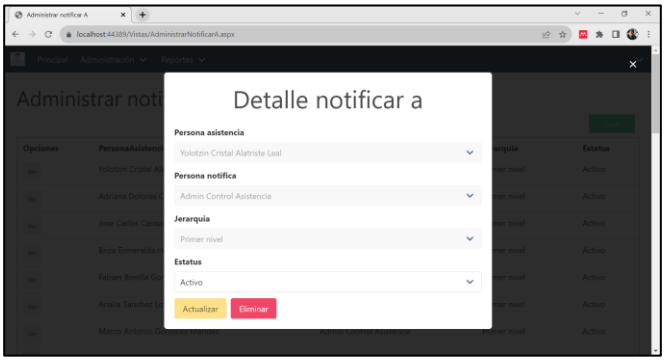


Figura 13. Gestión de datos.

 ISSN: 2007 8102

Notificación de eventos en Telegram

una vez que la información es procesada por el sincronizador y transferida a la base de datos, se notifica a las partes interesadas a través de la plataforma Telegram, como se ilustra en las figuras 14 y 15.

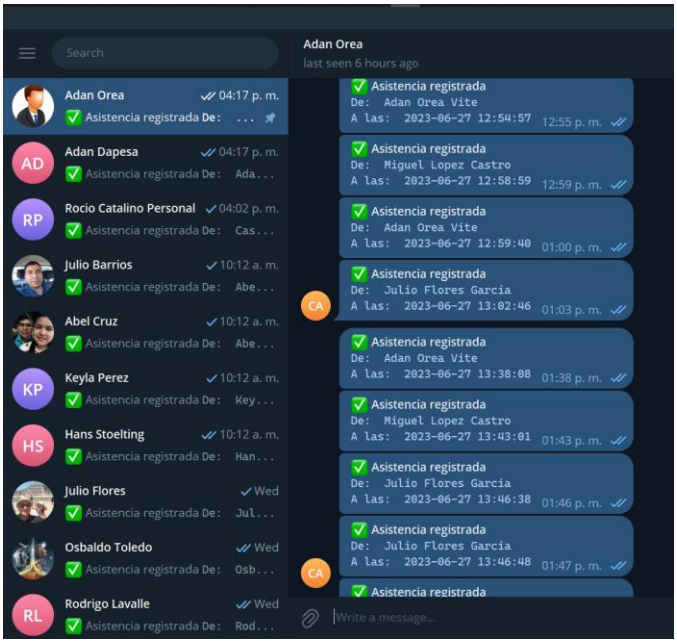


Figura 14. Numero principal-notificador.

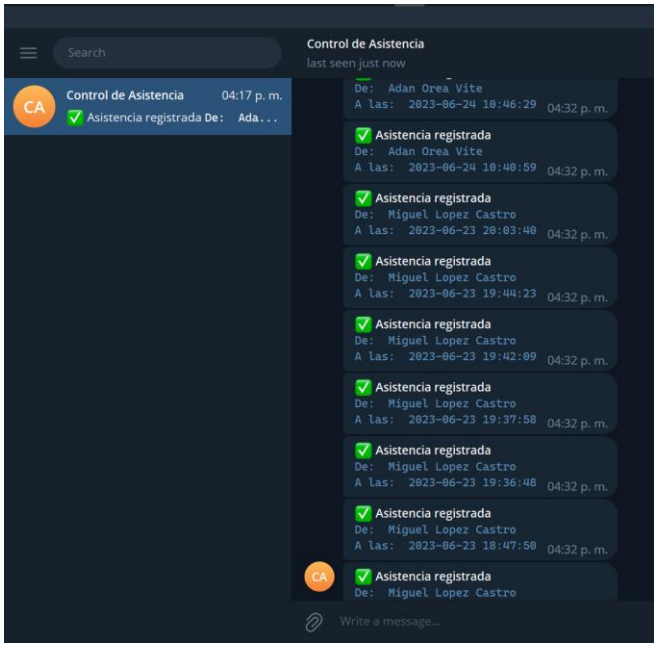


Figura 15. Numero destino notificado.

Beneficios para la institución educativa

Por otra parte, el instituto podrá consultar el reporte de asistencia semanal desglosado por los días de la semana de consulta, que muestra las horas totales por día de estancia en el instituto educativo mediante la aplicación desarrollada como se muestra en la siguiente figura 16.

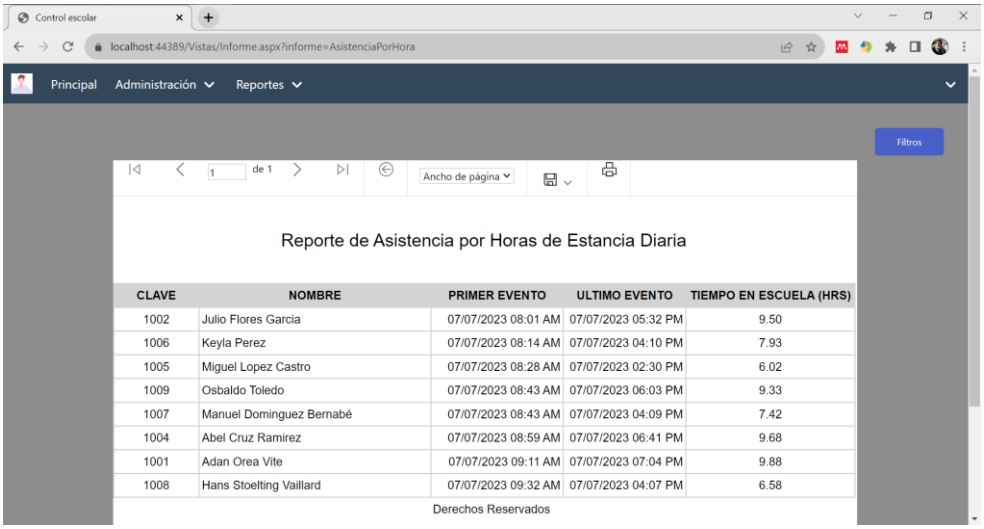


Figura 16. Reporte de asistencia semanal.

Beneficios para los tutores o padres de familia

Un punto importante del proyecto es mantener informados a los padres de familia y tutores de la entrada y salida de sus hijos, esto debido a los problemas de seguridad social que hoy en día se viven. Poder contar con la certeza de que el alumno ingresó o salió de las instalaciones educativas permite a los interesados poner aún más atención en sus hijos. Al momento que los alumnos tienen conocimiento que el instituto notifica a sus padres o tutores,

ISSN: 2007 8102

permitirá de alguna forma reducir el índice de inasistencias escolares y así mismo poder preparar aún mejor a sus hijos de manera académica.

Comprobación de la hipótesis

Como se mencionó previamente, el objetivo principal de este proyecto es analizar y verificar cómo el reconocimiento facial puede contribuir a la reducción del tiempo de acceso a las instituciones, así como al registro de asistencia. Para llevar a cabo esta evaluación, se emplea la prueba T de dos muestras, la cual permite determinar si las medias de dos grupos diferentes son estadísticamente iguales o diferentes. A partir de este análisis, se formula la siguiente hipótesis: "La implementación de un sistema de control de acceso basado en el reconocimiento facial mediante algoritmos de Hikvision mejorará significativamente el proceso de entrada y salida en una institución educativa, reduciendo los tiempos en un 80% y notificando de manera oportuna a los tutores mediante notificaciones en tiempo real sobre la asistencia".

Para validar esta hipótesis, se llevó a cabo una comparación entre los tiempos registrados por un grupo de 37 alumnos utilizando un dispositivo biométrico tradicional y los tiempos registrados mediante el sistema de reconocimiento facial, como se muestra en la figura 17. Los resultados revelaron un notable rendimiento en la generación en tiempo real de la asistencia de los alumnos en el instituto a través del registro facial.

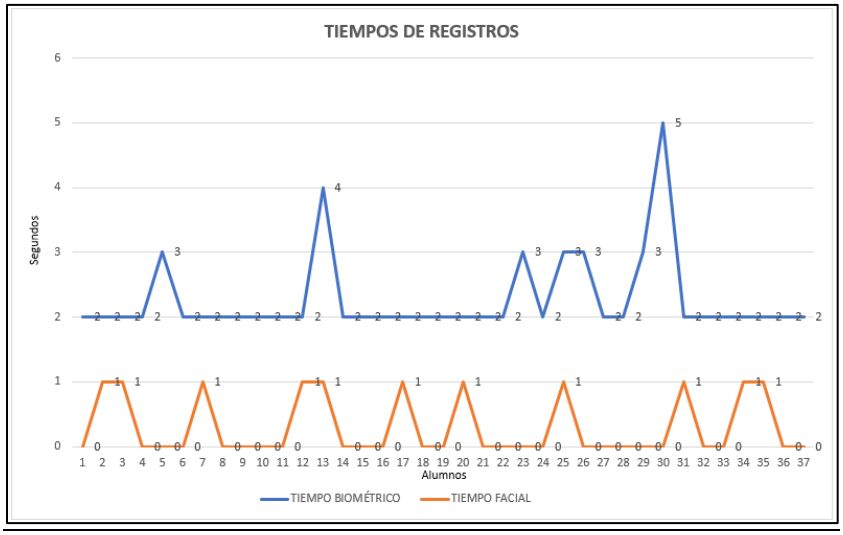


Figura 17. Tiempos biométricos vs faciales.

En la figura 18 se visualizan con las estadísticas del muestreo en el mismo escenario de 37 alumnos mediante el antes (biométrico-VAR00001) y el después (facial-VAR00002) obteniendo una diferencia de media óptima, procesadas por medio del software IBM SPSS Statistics, donde al existir una diferencia significativa permite obtener buenos resultados.

Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desv. estándar	Media de error estándar
Par 1	Biometrico	2.27	37	.652	.107
	Facial	.30	37	.463	.076

Figura 18. Segundos promedio de registro facial.

Los resultados de la prueba (p) muestran un valor menor a 0.5 en el nivel de significancia, lo que demuestra el rechazo de la hipótesis nula. En su lugar, se acepta la hipótesis alternativa. Esta conclusión se basa en que los tiempos antes y después del proceso muestran diferencias significativas. Así mismo, se indica que el tiempo en registrar la asistencia de 37 alumnos con un reloj biométrico es de 84 segundos aproximadamente mientras que con el reconocimiento facial es de 11 segundos, lo que permite que se reduzca aproximadamente el 86.9% en tiempo. Por lo tanto, se puede afirmar que la implementación del sistema de reconocimiento facial ha logrado reducir de manera significativa el tiempo de registro de asistencia de los alumnos al ingresar al instituto educativo.

ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Resultados Prueba t.

Tiempos de asistencia	IC 95%		t	gl	p
	Inferior	Superior			
ANTES – DESPUÉS	1.707	2.239	15.023	36	<0.001

La cámara Hikvision, equipada con tecnología de reconocimiento facial y VCA (Video Content Analysis - Análisis de Contenido de Video), basada en algoritmos de aprendizaje profundo, brinda la flexibilidad de configurar el intervalo de captura de rostros en un rango de 0 a 1 segundo. Además, tiene la capacidad de reconocer simultáneamente hasta 20 rostros. En la figura 19 se muestra el seguimiento de 12 alumnos en 3 días.

ID ALUMNO	ALUMNO	TIEMPO FACIAL DE SINCRONIZACION (seg)					
		10-Jul		11-Jul		12-Jul	
		ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA
1001	Adan Orea Vite	0	0	0	0	0	0
1002	Julio Flores Garcia	0	0	1	0	0	0
1004	Abel Cruz Ramirez	1	0	0	0	0	1
1005	Miguel Lopez Castro	0	0	0	1	0	0
1006	Keyla Perez	0	1	0	0	1	0
1007	Manuel Dominguez Bernabé	0	0	1	0	0	1
1008	Hans Stoelting Vaillard	0	0	0	1	0	0
1009	Osbaldo Toledo	0	0	0	0	1	0
1012	Herberto Jara Vaillard	0	1	0	0	0	0
1013	Rodrigo Gomez Lavalle	0	0	1	0	0	0
1101	Ericka Morales Hernandez	0	1	0	0	1	1
1011	Julisaa Mancera	0	0	0	0	0	0

Figura 19 Tiempos faciales de 3 días.

Nota: Los valores se muestran en ceros, debido a que la hora del rostro recuperado es menor a 1 segundo y la hora solo se muestran hasta los segundos en números enteros mediante el siguiente formato HH:MM:SS.

Diferencias entre proyectos desarrollados

La tabla 3 muestra la comparación de tareas entre las investigaciones realizadas y la implementación del proyecto.

Tabla 3. Diferencias entre el proyecto desarrollado.

Proyecto	Propietario/Externo	Reconocimiento Facial	Notificaciones	Reporte
Proyecto para exámenes finales.	Propietario	✓	×	×
Proyecto para la entrega de alumnos.	Propietario	✓	×	×
Proyecto mediante características vectoriales faciales	Propietario	✓	×	×
Proyecto estudiantil en Guadalajara.	Externo	✓	SMS - Paga	✓
Proyecto estudiantil para evitar delincuentes	Propietario	✓	×	×
Proyecto desarrollado	Propietario	✓	Telegram - Gratuito	✓

Trabajo a futuro

Al concluir la implementación del Sistema de Control de Acceso y habiendo logrado tiempos de registro exitosos, surge la posibilidad de una mejora adicional en el proyecto. Esta idea contempla el desarrollo futuro de una aplicación móvil destinada a los docentes. A través de esta aplicación, los docentes podrían supervisar de manera efectiva si los alumnos asignados a sus clases han ingresado al instituto, pero aún no han accedido a sus aulas, lo que potencialmente podría afectar su rendimiento académico[11]. Además, esta solución permitiría

ISSN: 2007 8102

a los docentes gestionar la asistencia en tiempo real de manera más dinámica, mejorando así la eficiencia del proceso.

Conclusiones

El proyecto de control de acceso mediante tecnologías de reconocimiento facial de la marca Hikvision ofrece una optimización significativa en los tiempos de registro de los alumnos en la entrada escolar, eliminando las filas prolongadas y los cuellos de botella. Esta tecnología no solo facilita la recopilación de datos, sino que también los almacena en una base de datos para generar y presentar la asistencia de los alumnos en tiempo real al instituto. Simultáneamente, se utiliza esta información para enviar notificaciones a través de Telegram en el mismo instante en que los datos son sincronizados y evaluados por el proceso de la aplicación. Estas notificaciones se envían a los padres o tutores que han otorgado su consentimiento para utilizar la imagen facial de sus hijos. Esto brinda a los notificados la tranquilidad de que sus hijos han sido identificados en la escuela mediante la tecnología implementada por el instituto. Esta solución podría tener aplicaciones más amplias en proyectos educativos. Por ejemplo, en la toma de asistencia en las aulas, permitiendo a los docentes saber qué alumnos han ingresado al instituto e identificar en tiempo real a los que no asisten a clases. Esto podría incentivar a los alumnos a asistir regularmente, contribuyendo a una mejor calidad educativa a lo largo de su trayectoria académica. El proyecto se considera una solución adecuada para el control de acceso de estudiantes en institutos educativos de nivel superior y medio superior, mejorando considerablemente los tiempos de registro y brindando una visión más clara de las asistencias escolares. Además, este proyecto puede servir como punto de partida para nuevas ideas que enriquezcan la calidad educativa y el desempeño de los estudiantes en la escuela.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) y al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán por su apoyo y colaboración en el desarrollo del presente proyecto.

Referencias

[1] E. Equipo editorial, “Educación”, el 23 de enero de 2023. https://humanidades.com/educacion/

[2] Adriana Morales, “Deserción escolar: qué es, causas y consecuencias - Toda Materia”, *Contenidos escolares*, 2019. https://www.todamateria.com/desercion-escolar/

[3] Scmlatam, “¿Sabes qué es un sistema de control de asistencia? - SCM Latam”, *Control de Asistencia, Gestión de Horarios, Reloj Control*, el 28 de septiembre de 2022. https://scmlatam.com/que-es-un-sistema-control-de-asistencia/

[4] “Control de acceso: ¿cómo actúa dependiendo del tipo de software?”, *26 de septiembre*, 2022. https://www.ticportal.es/glosario-tic/control-acceso (consultado el 3 de agosto de 2023).

[5] “Control de acceso escolar: seguridad para la comunidad educativa”, *02 de agosto*, 2022. https://es.linkedin.com/pulse/control-de-acceso-escolar-seguridad-para-la-comunidad-educativa- (consultado el 3 de agosto de 2023).

[6] D. I. H. G. S. J. S. C. G. L. Galindo Taype, “Reconocimiento facial para la identificación de los alumnos en exámenes finales en la modalidad presencial de la Universidad Continental – Huancayo, 2021”, Universidad Continental, Perú, 2021.

[7] R. Calcaño Hernández, “Desarrollo de un sistema de Reconocimiento Facial para ser instalado en los Colegios de Educación Básica radicados en la Zona Metropolitana del Gran Santo Domingo.”, Universidad APEC, República Dominica, 2021.

[8] K. C. U. K. Oyeyemi Oyebode, “A fast and non-trainable facial recognition system for schools”, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 01, p. 02, 2022.

[9] J. Soto Galindo, “Una prepa de la Universidad de Guadalajara impone reconocimiento facial a sus estudiantes”, *El Economista*, el 12 de septiembre de 2022. https://www.eleconomista.com.mx/tecnologia/Una-prepa-de-la-Universidad-de-Guadalajara-impone-reconocimiento-facial-a-sus-estudiantes-20220912-0049.html

[10] M. Moon, “Facial recognition is coming to US schools, starting in New York”, *https://www.engadget.com/2019-05-30-facial-recognition-us-schools-new-york.html*, el 30 de mayo de 2019.

[11] “La importancia de asistir a la escuela todos los días - KIPP Texas Public Schools”, *Kipp Texas Public Schools*, el 16 de septiembre de 2022. https://kipptexas.org/the-importance-of-attending-school-every-day/?lang=es (consultado el 4 de agosto de 2023).

ISSN: 2007 8102

Sistema predictivo de variables de negocio utilizando redes neuronales

Manuel Andrés Gil Valenzuela, María Trinidad Serna Encinas, José Ulises Teyechea Peralta, Rosalía del Carmen Gutiérrez Urquidez y Rafael Armando Galaz Bustamante*

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Hermosillo,
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Av. Tecnológico 115, Col. Sahuaro, CP. 83170, Hermosillo, Sonora, México.

Correos electrónicos: m21331026@hermosillo.tecnm.mx, *maria.sernae@hermosillo.tecnm.mx, uteyechea@gmail.com, rosalia.gutierrezu@hermosillo.tecnm.mx, rafael.galazb@hermosillo.tecnm.mx

***Área de participación**: Sistemas Computacionales*

Resumen

En un mundo en constante cambio y con mercados complejos, los pronósticos se vuelven esenciales para la toma de decisiones en el sector público y privado. Según el IMSS, en el estado de Sonora se crearon 676 empresas entre julio de 2021 y julio de 2022, un descenso de aproximadamente la mitad con respecto al periodo anterior. El INEGI muestra que solo el 33.2% de las empresas mexicanas sobreviven más de cinco años. La confianza empresarial en México alcanzó un 45.9% entre enero de 2017 y julio de 2022, demostrando que la toma de decisiones, así como la gestión de la organización se realiza bajo un ambiente de incertidumbre, afectando todos los elementos relacionados, mientras queda en evidencia la necesidad de herramientas de calidad para la generación de pronósticos. Este artículo presenta un proyecto titulado "Sistema predictivo de variables de negocio utilizando redes neuronales", que busca mejorar la precisión y eficacia de los pronósticos para que la toma de decisiones se base en información confiable y oportuna. Se utiliza TensorFlow y Dash para crear modelos de redes neuronales y un tablero interactivo que predice ventas, gastos y utilidades en función del tiempo y categorías.

***Palabras clave**: ETL, Redes neuronales, Almacén de datos, Tablero interactivo.*

Abstract

In a constantly changing world with complex markets, forecasting has become essential for decision-making in both the public and private sectors. According to the IMSS, 676 new companies were registered in the state of Sonora between July 2021 and July 2022, a decline compared to the previous period. INEGI shows that only 33.2% of Mexican companies survive more than five years. Business confidence in Mexico reached 45.9% between January 2017 and July 2022, demonstrating that decision-making and organizational management are conducted in an environment of uncertainty, affecting all related elements, while highlighting the need for quality tools for generating forecasts. The article presents a project titled "Predictive Business Variable System using Neural Networks" that aims to improve the accuracy and effectiveness of forecasts. TensorFlow and Dash are used to create neural network models and an interactive dashboard that predicts sales, expenses, and profits based on time and categories.

***Key words**: ETL, Neural networks, Data warehouse, Dashboard.*

Introducción

En el contexto de un mundo en constante cambio y con la creciente complejidad de los mercados y las condiciones socioeconómicas, la generación de pronósticos se ha convertido en una herramienta esencial para la toma de

ISSN: 2007 8102

decisiones, tanto en el sector público como en el privado. Acorde con datos del IMSS, en el periodo entre julio de 2021 y julio de 2022, 676 nuevas empresas fueron creadas en el estado de Sonora. Representando poco más de

la mitad de las empresas registradas durante dicho ciclo en el año anterior (2020-2021), donde se generaron 1032 empresas. Este comportamiento se observa en varios estados del país [1][2].

Las estadísticas del INEGI, durante el lapso 2019-2021, muestran que de cada 100 empresas que nacen en México, el 30.9% no logra cumplir su primer año de vida, mientras que solo el 33.2% sobrevive más de cinco años. A lo largo de ese período, solo el 25% de las empresas logra superar los 10 años, dejando una esperanza de vida promedio de 8.4 años a nivel nacional y 9.1 años específicamente en el estado de Sonora, en el periodo de 1989 a 2019. En los últimos 3 años, por cada 24.4 nuevas empresas, se registraron 32.61 cierres empresariales [3].

Estos datos tienen un impacto significativo en la confianza empresarial, que es el nivel de certidumbre que tienen los empresarios respecto al crecimiento económico de los mercados en los que operan sus empresas. Desde enero de 2017 hasta julio de 2022, el nivel de certidumbre alcanzado fue del 45.9%, según la encuesta mensual de opinión empresarial. México, como una de las economías más grandes y dinámicas de América Latina, no es ajeno a esta realidad y ha experimentado un aumento significativo en la aplicación y relevancia de los pronósticos en diversos ámbitos [4].

Los pronósticos son estimaciones anticipadas sobre eventos futuros, basadas en análisis y modelos matemáticos que consideran datos históricos, tendencias y factores relevantes. En el caso específico de México, la generación de pronósticos se ha convertido en una práctica indispensable para guiar políticas públicas, estrategias empresariales, planificación financiera, desarrollo de proyectos y muchas otras áreas que requieren anticiparse a los desafíos y oportunidades del futuro [5].

Bajo esta premisa, surge el presente proyecto titulado 'Sistema predictivo de variables de negocio utilizando redes neuronales", una iniciativa que busca aplicar el poder de las redes neuronales para mejorar la precisión y la eficacia de los pronósticos en el país. Para la creación de dicho sistema, se utilizó un conjunto de datos brindado por una empresa sonorense dedicada al área de servicios, en el ramo tecnológico y centros de datos; dicha empresa cuenta con 6 sucursales en el noroeste del país, es una empresa mediana en expansión, enfocada en la mejora de sus procesos. Los datos recabados corresponden al periodo del 2017 al 2021.

Las redes neuronales son un tipo de modelo de inteligencia artificial inspirado en el funcionamiento del cerebro humano, capaz de aprender y reconocer patrones complejos en grandes conjuntos de datos [6-7]. Su capacidad para procesar información no lineal y adaptarse a cambios en el entorno, las convierte en herramientas ideales para enfrentar los retos que presenta la generación de pronósticos, en un escenario tan dinámico como el mexicano [8] .En este artículo, se explora el uso de redes neuronales como una herramienta prometedora para la generación de pronósticos, tomando como punto de partida la confianza empresarial tanto a nivel nacional como en el Estado de Sonora. Se analiza cómo el empleo de estas técnicas avanzadas de inteligencia artificial, puede mejorar la capacidad de anticipación y la precisión de los pronósticos en un contexto tan complejo y cambiante como el actual.

Metodología

Esta sección presenta la metodología utilizada para construcción de un sistema capaz de predecir el comportamiento del área de ventas de una empresa dedicada a la venta de servicios. Como fuente de información se utilizó una copia de la base de datos de la empresa con registros que oscilan del 2017 al 2021. El diseño de este sistema consideró tres módulos para su construcción, lectura, proceso y resultados, estos agrupan las rutinas y subprocesos encargados de la obtención, limpieza, transformación y manipulación de los datos necesarios para

ISSN: 2007 8102

generar las predicciones y presentar los resultados al usuario final. La figura 1 muestra la arquitectura del sistema propuesta.

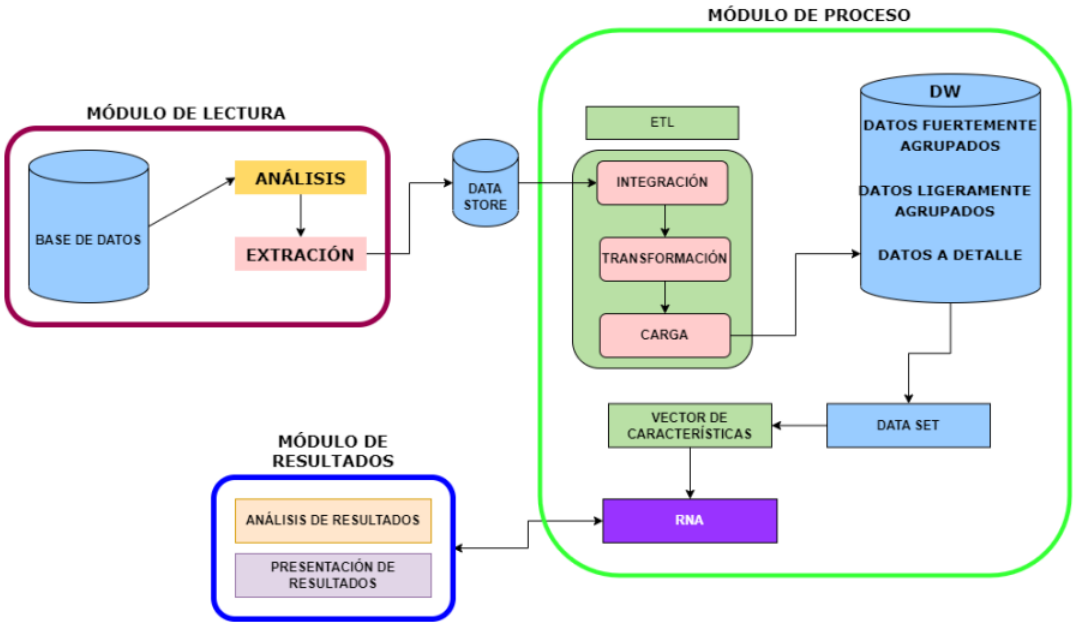


Figura 1. Arquitectura del sistema propuesta (Elaboración propia).

Los Módulos de Lectura, Proceso y Resultados, describen el flujo de datos en su manipulación para la obtención de las predicciones deseadas, partiendo desde su análisis y extracción de la base de datos original, hasta la presentación de los resultados obtenidos, para mostrarlos en un tablero interactivo o *Dashboard*. Se decidió construir un almacén de datos en el módulo de proceso, que contiene los datos obtenidos con la ejecución de las rutinas de extracción, transformación y carga (ETL, por sus siglas en inglés), para asegurar la integridad y calidad de los datos, antes de ser pasados al vector de características y a las redes neuronales, que representan el modelo predictivo en este sistema. Las instancias principales que se pueden derivar de la arquitectura propuesta son la base de datos, las rutinas ETL, el almacén de datos, el modelo predictivo y el tablero interactivo, las cuales se describen a detalle a continuación. La figura 2 esquematiza el flujo de los procesos del sistema.

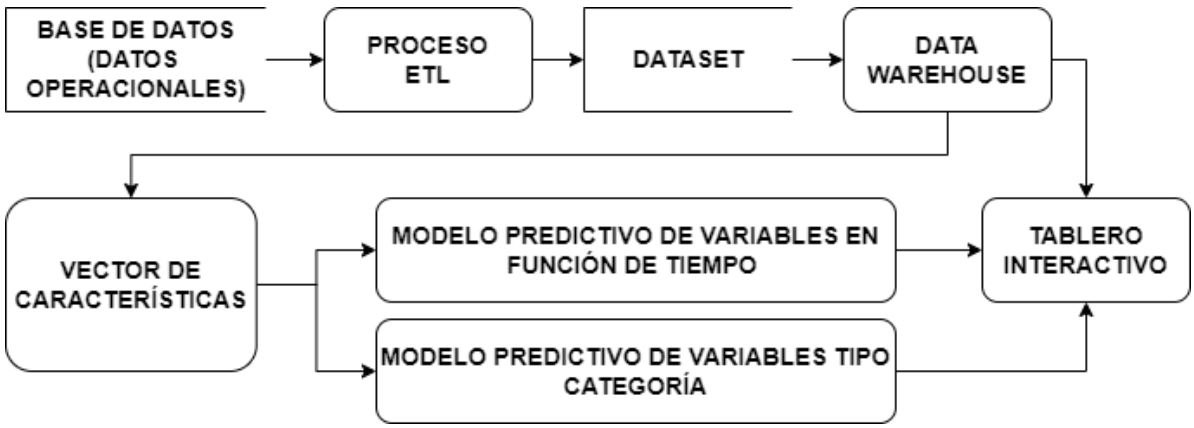


Figura 2. Esquema de flujo del sistema.

Base de datos

La fuente de datos operacionales de la empresa se encuentra conformada por un total de 768 tablas, dentro de las cuales se encuentra contenida la información referente a los distintos departamentos del corporativo, como recursos humanos, ventas, compras, facturaciones, proyectos, entre otros. Debido al alto volumen de datos, se segregaron aquellos que se perciben de alto valor para la predicción del comportamiento de ventas, los cuales

se encuentran en su mayoría en las tablas de datos fuentes: *Projects, ProjectCustomers, Contracts, ProjectStatuses, ProjectStatusChanges, ProjectEntries, ProjectAuthorizations, ProjectExpenses y ProjecLines.*

ETL

El proceso ETL se encarga de analizar y extraer los datos de interés, de acuerdo al dominio de trabajo, para después someterlos a un proceso de transformación de datos, para convertirlos en datos de calidad para su integración en el proceso de carga, garantizando que cumplan con el formato requerido para su utilización por el algoritmo de redes neuronales [9]. Para lograrlo, se emplearon las clases *QueryDb y ETL*, las cuales realizan diversas funciones, como la extracción de información bajo demanda mediante fragmentos de código SQL, limpieza de datos, formateo de fechas, manejo de ventas en pesos mexicanos y dólares, eliminación de valores nulos y duplicados, e imputación de datos faltantes, entre otras, mediante los métodos que dichas clases contienen.

Almacén de datos

Un almacén de datos consiste en una colección de datos históricos, persistentes y no volátiles, que muestran cambios a lo largo del tiempo, integrados y centrados en un tema específico que respalda la toma de decisiones. Este almacén es esencial en la inteligencia empresarial y se convierte en la solución ideal frente al desafío que representa el manejo de una base de datos extensa y dispersa [10]. Un almacén de datos se conforma de tres estructuras principales, la tabla de hechos, las dimensiones y las jerarquías [11]. En la tabla de hechos cada registro representa un evento de tipo transacción para la empresa, en este caso una venta y éste se encuentra relacionado por medio de sus atributos tipo llaves foráneas a tablas tipo dimensión para la descripción de la transacción, y a tablas tipo jerarquía, que permiten el agrupamiento de los datos de acuerdo con la granularidad del contexto en que se trabaje. También en la tabla de hechos existen atributos tipo medida, que como su nombre lo indican miden el evento, pudiendo representar éste un indicador de ganancia o pérdida para un sistema en particular. Para la construcción de este almacén de datos se utilizó SQL Server. A continuación, se muestra en la figura 2 el modelo multidimensional del almacén de datos de ventas.

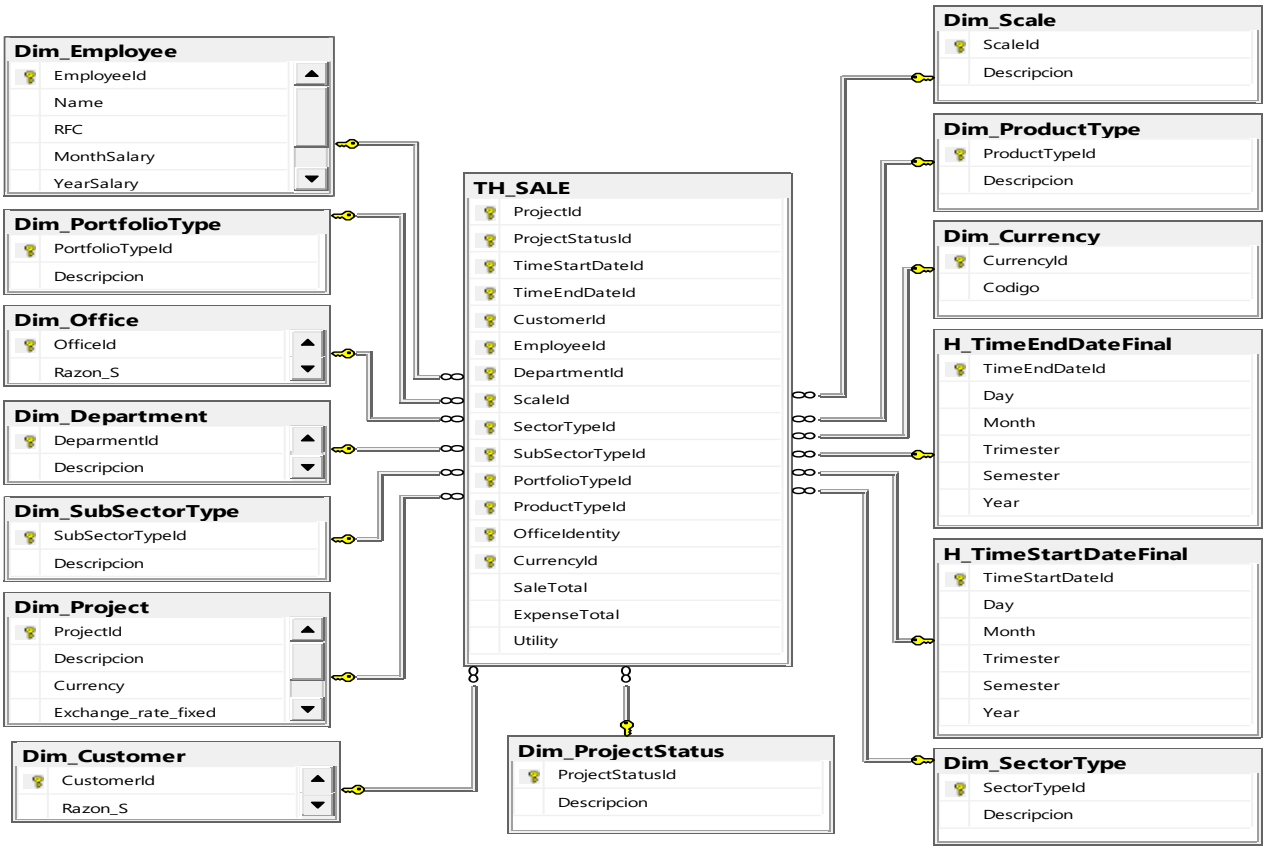


Figura 3. Modelo Multidimensional de almacén de datos de ventas.

ISSN: 2007 8102

Como muestra el modelo multidimensional, el almacén de datos de ventas es de tipo estrella y está compuesto por 12 dimensiones: *Dim_Customer, Dim_Currency, Dim_Department, Dim_Scale, Dim_Project, Dim_Project_Status, Dim_Product_Type, Dim_Portfolio_Type, Dim_Office, Dim_Sector_Type, Dim_SubSectorType y Dim_Employee;* por 2 jerarquías de tiempo que son: *H_TimeStartDateFinal y H_TimeEndDateFinal*; las 12 dimensiones y las 2 jerarquías del modelo multidimensional, representan las perspectivas de análisis que pueden ejecutarse sobre la tabla de hechos. Finalmente, la tabla de hechos denominada *TH_SALE*, contiene 4199 ventas registradas; esta tabla contiene 2 tipos de atributos, que son: los atributos tipo llave foránea *ProjectId, ProjectStatusId, TimeStartDateId, TimeEndDateId, CustomerId, EmployeeId, DepartmentId, ScaleId, SectorTypeId, SubSectorTypeId, PortfolioTypeId, ProductTypeId, OficceIdentity, CurrencyId,* que en conjunto representan la llave primaria de la tabla de hechos; y los atributos tipo medidas *SaleTotal, ExpenseTotal y Utility*. Este almacén se explotó en un cubo OLAP, construido en Visual Studio, y se logró generar conocimiento desconocido y útil en el diseño del modelo predictivo.

Modelo predictivo

Para la construcción del modelo predictivo, se utilizaron los registros de la tabla de hechos como conjunto de entrenamiento para la generación de predicciones. Se determinó que las características a predecir serían el tipo de producto, el tipo de portafolio, el tipo de sector y tipo de subsector; expresados en los atributos *ProductTypeId, PortfolioTypeId, SectorTypeId y SubSectorTypeId;* así como el comportamiento de las ventas, gastos y utilidad, presentado en las medidas *SaleTotal, ExpenseTotal y Utility*, debido a que estas columnas son las que mejor describen el público objetivo de la empresa, así como la demanda de producto. El grupo de atributos citado, puede ser categorizado en dos grandes grupos, de acuerdo a su naturaleza en la tabla de hechos. Esta distinción exige que se trabaje la generación de predicciones para cada grupo, uno para predicción de series de tiempo y otro para predicción de clases.

Como se indicó previamente, se emplearon los datos en la creación de dos conjuntos de entrenamiento destinados a dos modelos de redes neuronales diferentes. Por lo tanto, será necesario llevar a cabo procesos ETL distintos sobre los datos obtenidos, con el objetivo de separar la información y agruparla según el contexto en el que se trabaja. El modelo predictivo de series de tiempo utiliza aquellos atributos que se usan para medir el evento, este conjunto de datos estará agrupado por fecha mediante una función sumatoria, con registros en cero en los días que no se presente evento, mientras que el modelo para predicción de clases toma los atributos tipo llave de la tabla de hechos, que son los que se utilizan para clasificar los elementos que constituyen el evento.

Previamente se realizó una operación de filtrado en la columna *"officeId",* para obtener únicamente los datos relacionados con la sucursal de Hermosillo, debido a petición del cliente ya que una gran cantidad de registros corresponde a transacciones realizadas por dicha sucursal. Utilizando la clase *ETL*, clase creada para la obtención de los datos, su limpieza, transformación, estructuración e integración, se crea el atributo *"Sale MXN*", el cual normaliza todos los montos de venta en pesos mexicanos. Además, esta clase contiene el método *"fixDates",* que agrupa atributos descriptivos del momento del evento y permite conocer las fechas. Estos dos métodos, "*fixDates*" y "*Sale MXN*", son los métodos fundamentales que se emplearon previamente al dar formato específico a cada modelo.

Modelo predictivo de variables en función de tiempo

Una vez creada la serie de datos temporales, se reduce la cantidad de registros de 4199 a 1623. Se utiliza la ingeniería de características para agregar atributos, usando funciones trigonométricas para posicionar las fechas en ciclos cartesianos. Posteriormente se divide el conjunto global en conjuntos de entrenamiento, validación y prueba, en proporciones de 70%, 20% y 10% respectivamente, y se normalizan los datos entre 0 y 1, utilizando MinMaxScaler de la biblioteca SciKitLearn. Finalmente, se emplean ventanas deslizantes de tiempo para analizar la secuencia de datos y realizar predicciones futuras. Esto se logra mediante la clase "*WindowGenerator*". Las ventanas deslizantes son definidas para tomar 30 días en el tiempo, con un salto de 30, para pronosticar 30 días en el fututo.

Para construir el modelo predictivo temporal, se empleó la biblioteca TensorFlow con una arquitectura de cinco capas. Tres de ellas utilizan redes recurrentes LSTM, cada una con 512 neuronas y una función *dropout* del 20%, para evitar el sobreajuste durante el entrenamiento. El motivo por el que se optó por el uso de redes nueronales LSTM, radica en su capacidad para aprender y olvidar información selectivamente, presentando alta eficiencia al

ISSN: 2007 8102

utilizarse en series de tiempo. Además, hay dos capas adicionales para reducir la dimensión de los tensores utilizados en el modelo: una capa densa y otra de tipo *"reshape*". La arquitectura se muestra en la figura 4.

```
Model: "sequential_6"
_________________________________________________________________
 Layer (type)                Output Shape              Param #
=================================================================
 lstm_9 (LSTM)               (None, 90, 512)           1067008

 lstm_10 (LSTM)              (None, 90, 512)           2099200

 lstm_11 (LSTM)              (None, 512)               2099200

 dense_16 (Dense)            (None, 240)               123120

 reshape_4 (Reshape)         (None, 30, 8)             0

=================================================================
Total params: 5,388,528
Trainable params: 5,388,528
Non-trainable params: 0
_________________________________________________________________
```

Figura 4. Arquitectura de red neuronal modelo predictivo de variables de tiempo.

El modelo se compone de tres capas LSTM (LSTM 9, LSTM 10 y LSTM 11). Las dos primeras reprocesan los datos de entrenamiento con ventanas de 90 días, mientras que la tercera interpreta los resultados. Cada capa LSTM tiene 512 neuronas. La capa final (dense 16) tiene un número de unidades correspondiente a la cantidad de características, multiplicadas por el número de días a predecir (definido en *"label_width"* de la ventana de datos). La capa *"Reshape*" dimensiona los datos para que se expresen en tablas de 8 columnas por 30 filas.

Para la compilación y entrenamiento del modelo, se utilizó la función *"compile_and_fit*", que toma el modelo y la ventana de datos como entrada. Se compila el modelo con 10 épocas de entrenamiento, debido a que presentó los resultados más óptimos sin caer en sobreajuste, utilizando la función de pérdida MSE (Error Cuadrado Medio) y la función de evaluación MAE (Error Absoluto Medio). El proceso de entrenamiento se presenta en la figura 5, que muestra el progreso del aprendizaje.

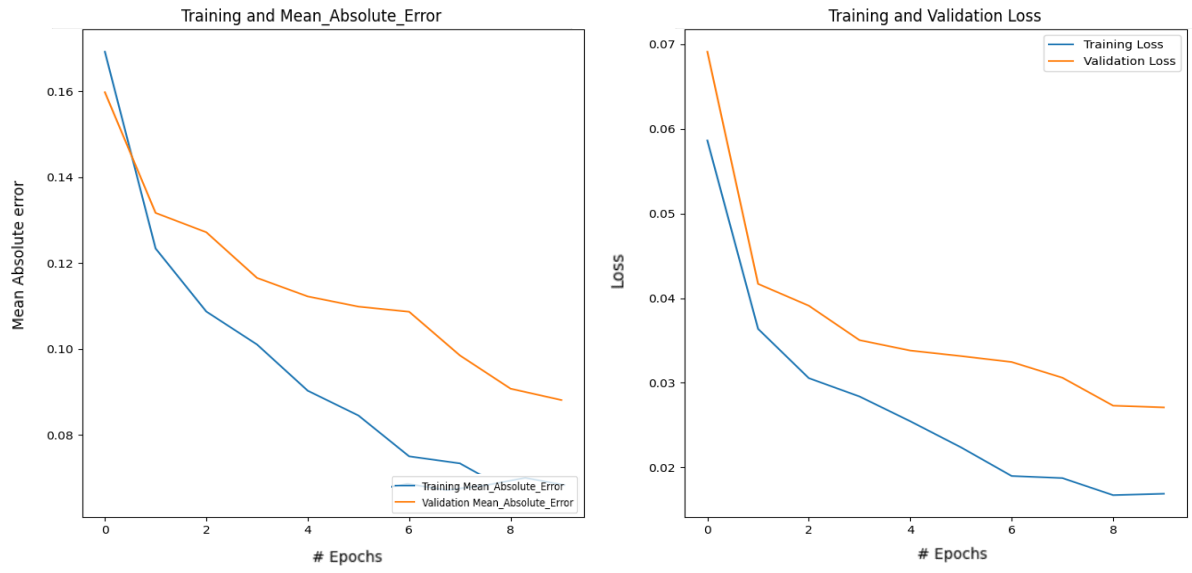


Figura 5. Entrenamiento modelo predictivo de variables de tiempo.

El modelo se evaluó y se obtuvo una pérdida del 2.66% y un error del 8.8%. Esta evaluación se realizó al contrastar las predicciones generadas durante el entrenamiento con el conjunto de validación.

Modelo predictivo de variables de tipo categoría

Ambos modelos se originan a partir del mismo conjunto de datos, pero deben ser procesados de manera diferente. Para el caso de la predicción en categorías, se desglosan las características a partir de la fecha y se crean atributos adicionales como *weekyear y weekday*. Estos atributos se agregan al conjunto de datos y se estandariza

ISSN: 2007 8102

el proceso, para utilizar un mismo modelo en diferentes características. La figura 6 muestra la arquitectura de la red neuronal categórica.

```
model = tf.keras.Sequential()
model.add(tf.keras.layers.InputLayer(input_shape=( entradas))) #Input layer
model.add(tf.keras.layers.Flatten())
model.add(tf.keras.layers.Dense(512, activation='relu'))
model.add(tf.keras.layers.Dense(512, activation='relu'))
model.add(tf.keras.layers.Dense(512, activation='relu'))
model.add(tf.keras.layers.Dense(512, activation='relu'))
model.add(tf.keras.layers.Dense(512, activation='relu'))
model.add(tf.keras.layers.Dense(salidas, activation='softmax',kernel_regularizer=tf.keras.regularizers.L2(.3)))
```

Figura 6. Arquitectura de la red neuronal categórica.

El modelo categórico se compone de una capa de entrada con el número de neuronas equivalente al número de datos de entrada para una clasificación. Seguido hay 5 capas densas con 512 unidades cada una, con función de activación "*relu*", para el procesamiento de la información. La capa de salida tiene un número de neuronas igual al número de categorías en la clasificación, utilizando la función de activación *Softmax* para algoritmos de clasificación. La figura 7 muestra el entrenamiento del modelo utilizado para la predicción del tipo de producto.

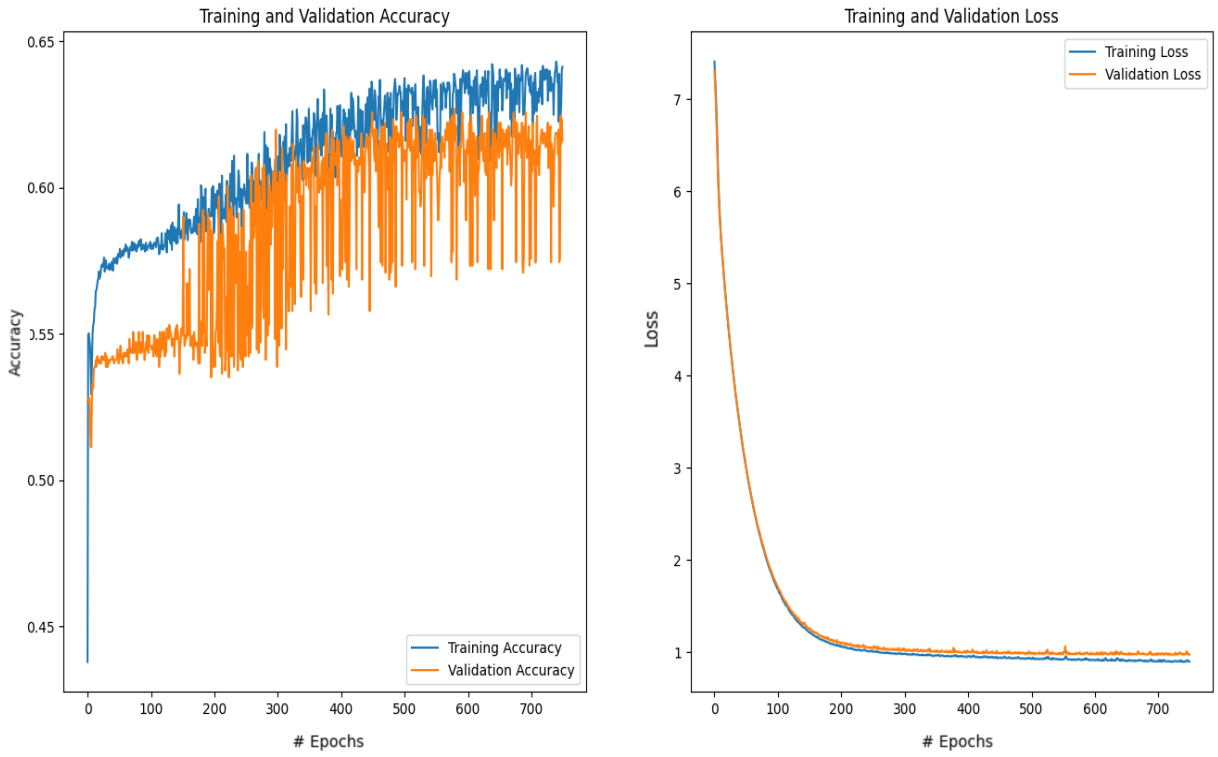


Figura 7. Entrenamiento de la red neuronal categórica.

Tablero Interactivo

En esta sección se genera un conjunto de datos para el tablero interactivo, que presenta la percepción del modelo ante eventos futuros en el proceso de ventas. Se utilizan modelos predictivos de variables temporales y categóricas para predecir ventas, gastos y compras para los próximos 30 días. El conjunto de datos se obtiene mediante el método *"predict*" de TensorFlow, utilizando registros de los últimos 180 días para la sucursal de Hermosillo. El tablero interactivo se construye utilizando la biblioteca Dash, que permite visualizar y analizar la información [12]. Los controles de filtrado permiten seleccionar características específicas para la predicción,

 ISSN: 2007 8102

como tipo de producto, portafolio, sector y subsector. Los controles de visualización permiten elegir atributos y medidas específicas, como ventas, utilidad, gastos y compras en pesos mexicanos.

Las gráficas presentadas en el tablero muestran las predicciones integradas con registros originales para contrastar los resultados con tendencias pasadas. Se pueden observar las predicciones para el mes de enero de 2022 y compararlas con ventas y transacciones anteriores, lo que proporciona información valiosa para la toma de decisiones. Se muestra la visualización de ventas por tipo de producto, comportamiento de atributos según el tipo de sector y la estimación de ganancias acumuladas durante los próximos 30 días. Un ejemplo es la gráfica presentada en la figura 8.

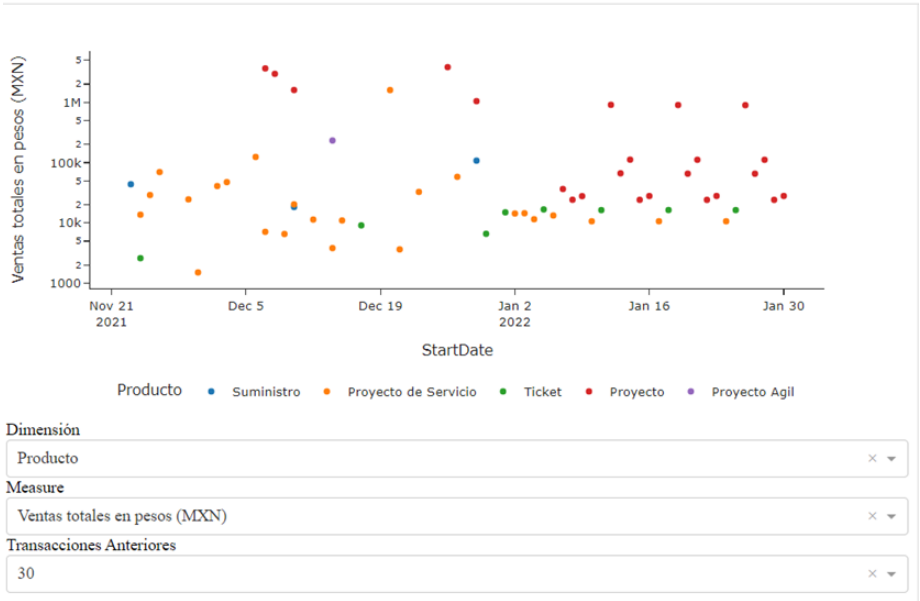


Figura 8. Pronóstico de venta por tipo de producto contrastado con 30 transacciones anteriores.

La figura 8 es una gráfica donde se presentan las predicciones contrastadas con un número de transacciones previo a seleccionar en los controladores, que puede ir de 30 a 18; en esta gráfica se puede observar el comportamiento por categoría, ya sea tipo de producto, tipo de portafolio, tipo de sector y tipo de subsector; que se establecen en el menú desplegable de Dimensión y puede evaluarse según la medida, de acuerdo a la venta, gasto o utilidad generada, en la opción de *Measure*. En este caso específico se evalúan las ventas en pesos mexicanos por tipo de producto, considerando 30 transacciones anteriores a la venta.

Resultados y discusión

Modelo predictivo de variables cambiantes en el tiempo

Para validar los resultados del modelo se utilizó el conjunto de prueba que contiene las ventas diarias de la sucursal de Hermosillo, desde el 13 de septiembre de 2021 hasta el 14 de diciembre de 2021. Las predicciones se compararon con datos reales no utilizados en el entrenamiento. La figura 9A muestra las predicciones en el conjunto de prueba del 15 de diciembre de 2021 al 13 de enero de 2022, comparando las predicciones con las ventas reales no utilizadas en el entrenamiento.

En la figura 9A se muestra el comportamiento pronosticado de las ventas en color azul, contrastado con la venta real obtenida en color naranja. Esta gráfica presenta las operaciones realizadas utilizando el peso mexicano como medida y agrupando las unidades por millón en el eje Y. El período de tiempo citado en el párrafo anterior, está representado en el eje X. Se identifica un patrón claro y reconocible, pero también se observan picos inversos (ventas negativas) en días no laborables como el 25 y el 31 de diciembre. Para abordar este problema, se entrenó nuevamente el modelo con una regularización del 30% para eliminar ese comportamiento, el resultado obtenido se muestra en la figura 9B.

ISSN: 2007 8102

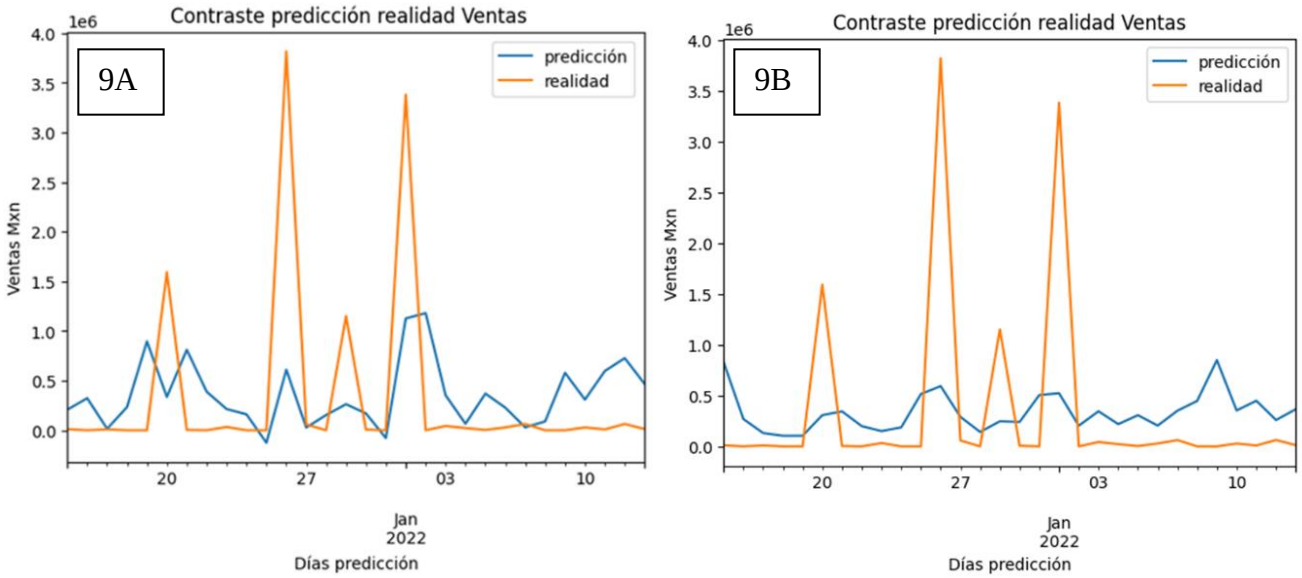


Figura 9. Gráfica comparativa de ventas predichas contra ventas reales, no regulada 9A, regulada 9B.

Modelo predictivo de variables categóricas

El modelo predictivo de categorías utiliza una arquitectura de red neuronal similar para cada tipo de categoría (producto, portafolio, sector y subsector). La precisión más alta se logra en la predicción del tipo de producto con un 73% y una pérdida del 8%. Por otro lado, el tipo de portafolio tiene la precisión más baja con un 48%. Aunque los resultados no son muy favorables, el análisis comparativo muestra una tendencia positiva. La tabla 1 muestra los valores de *accuracy y loss* obtenidos para cada atributo, así como la cantidad de aciertos obtenidos sobre los días que hubo venta.

Tabla 1. Parámetros obtenidos por atributo categórico.

Atributo	***Loss***	***Accuracy***	***Aciertos***
ProductTypeId	***0.0824***	***0.7332***	***15/19***
PortfolyTypeId	***0.4087***	***0.4832***	***5/19***
SectorTypeId	***1.74***	***0.5127***	***9/19***
SubsectorTypeId	***2.76***	***0.5692***	***10/19***

La tabla1 presenta los parámetros obtenidos del modelo categórico por atributo evaluado, así como el número de días en que la predicción realizada fue correcta, para el periodo que abarca del 15 de diciembre del 2021 al 13 de enero del 2022. Las categorías evaluadas son tipo de producto, tipo de portafolio, tipo de sector y tipo de subsector, y en cada una se muestra la categoría predicha para la fecha y las categorías resultantes.

El modelo predictivo de variables temporales predice los montos de venta probables, incluso cuando el valor es cercano a cero. Posteriormente, el modelo predictivo de categorías utiliza las predicciones del modelo temporal para establecer las categorías más probables de venderse por día. En la tabla la columna “Aciertos”, muestra los días en los que las predicciones fueron correctas. Por ejemplo, en el caso del tipo de producto, se acertó en 14 de los 19 días en los que hubo ventas, mientras que en el tipo de portafolio solo se acertó en 6 de esos 19 días.

Conclusiones

Los resultados de la experimentación permiten hacer pronósticos con menor incertidumbre en el área de ventas. El modelo predictivo de variables temporales logra un error medio absoluto del 8% y una pérdida del 2%,

mostrando días con picos elevados en ventas, aunque con desfases en algunos casos. Las predicciones de Conteo, Gastos y Utilidad también tienen un buen desempeño, pero son influenciadas por las variables categóricas. El modelo predictivo de variables categóricas tiene una precisión entre el 46% y 73%, usando un solo modelo para cuatro características diferentes. Esto permite identificar qué tipo de producto, portafolio, sector y subsector es más probable en las ventas. Como trabajo futuro, se sugiere predecir las variables categóricas mediante ventanas de datos y una red neuronal recurrente LSTM. También es posible utilizar otras variables del almacén de datos para generar diferentes tipos de predicciones, como el cambio de estatus en proyectos o la probabilidad de cerrar una venta con ciertos clientes. De igual forma, se plantea el desarrollar un modelo global que involucre todas las sucursales.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo obtenido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) al primer autor del presente artículo. Apoyo otorgado para realizar los estudios en el programa de maestría en Ciencias de la Computación en el Tecnológico Nacional de México campus Hermosillo.

Referencias

[1] Tableau Public, “Patrones afiliados en el IMSS”, IMSS, 2022. https://public.tableau.com/views/TAPatrones/Patrones?:language= en-US&:display_count=n&:origin=viz_share_link (Accessed Jul,23,2023)
[2] Ojeda Yesicka, Abren en Sonora 1308 nuevas empresas. EL IMPARCIAL. https://www.elimparcial.com/sonora/sonora/Abren-en-Sonora-1308-empresas-nuevas-en-un-ano-20211011-0038.html. (Accessed el 11 de Agosto de 2023).
[3] Fuente: INEGI. Demografía de los Negocios 1989-2019..
[4] Fuente: INEGI. Series calculadas por métodos econométricos a partir de la Encuesta Mensual de Opinión Empresarial., julio 2022.
[5] J. E. Hanke, D. W. Wichern, and A. P. Enríquez Brito, Pronósticos en los negocios. Pearson Educación, 2010.
[6] Fernando Berzal, “REDES NEURONALES & DEEP LEARNING.”,Independently, 2019.
[7] M. Peixeiro, Time series forecasting in python, Manning, 2021.
[8] X. Z. Liangqu Long, Beginning Deep Learning with TensorFlow, Apress, 2022.
[9] Astera,”Break Down Data Silos and Unlock Trapped Data with ETL”, Astera, 2020.
[10] Inmon W., Building the data warehouse, Wiley& Sons, 2002.
[11] Joyanes Aguilar, L. Inteligencia de negocios y Analítica de Datos,1 edición, Alfa Omega 2019 .
[12] Plotly.”Dash in 20 minuts”, Dash, 2023. https://dash.plotly.com/tutorial (Accessed Jul, 23,2023).

 ISSN: 2007 8102

Aplicación de filtros para el reconocimiento de patrones en conjuntos de datos

Misael López Nava[1], Juan Reyes Reyes[2], Luis José Muñiz Rascado[3]*
[1]TecNM/CENIDET/Instituto Tecnológico de Zacatepec, d21ce044@cenidet.tecnm.mx
[2]TecNM/CENIDET, juan.rr@cenidet.tecnm.mx
[3]TecNM/Instituto Tecnológico de Zacatepec, luis.mr@zacatepec.tecnm.mx
***Área de participación**: Sistemas Computacionales*

Resumen

El presente trabajo presenta el diseño y aplicación de cuatro filtros para la obtención de características que permitan identificar patrones en un conjunto de datos. Los filtros se proponen como una ecuación basada en un vector, mismo que al graficarse, muestra una tendencia a considerar. El filtro promedio es un atenuante, el filtro pseudoderivada permite la identificación de máximos y mínimos, el filtro senoidal identifica la alternancia de la información y el filtro lineal destaca los comportamientos de información creciente o decreciente en periodos definidos. Estas tendencias permiten reconocer estas características que posteriormente pueden ayudar a identificar los patrones de comportamiento de los mismos a partir del entendimiento de las variables que influyeron en la generación de los mismos. Para tal efecto se utilizaron dos conjuntos de datos para probar su efectividad.

***Palabras clave**: Grandes Datos, Minería de Datos, Reconocimiento de patrones.*

Abstract

This paper presents the design and application of four filters to obtain characteristics that allow identifying patterns in a dataset. The filters are proposed as an equation based on a vector, even when graphed, it shows a tendency to consider. The average filter is a mitigator, the pseudoderivative filter allows the identification of maximums and minimums, the sinusoidal filter identifies the alternation of the information and the linear filter highlights the behavior of increasing or decreasing information in defined periods. These trends allow us to recognize these characteristics that can later help to identify their behavior patterns based on the understanding of the variables that influenced their generation. For this purpose, two sets of data were used to test its effectiveness.

***Key words**: Big Data, Data Mining, Pattern Recognition.*

Introducción

El concepto de Big Data se refiere a datos masivos y a menudo no estructurados, en los que las capacidades de procesamiento de las herramientas tradicionales de gestión de datos resultan ser inadecuadas. Big Data puede ocupar terabytes y petabytes de espacio de almacenamiento en diversos formatos, incluidos texto, video, sonido, imágenes y más [2][6].

Aunque el término Big Data no es relativamente nuevo, la tendencia a agrupar y almacenar grandes volúmenes de información para análisis a futuro es muy antigua. El concepto se afianzó a principios de la década de 2000, cuando Doug Laney, un analista de la industria formuló la conocida definición de los tres V's de la Big Data [1].

Volumen. Las organizaciones recopilan datos de una amplia variedad de fuentes, incluidas transacciones financieras, redes sociales, sensores o máquina a máquina. En el pasado, el almacenamiento hubiera sido un problema, pero las nuevas tecnologías (como el conjunto de utilidades de software denominado Hadoop) facilitan la tarea [9].

Velocidad. Los datos fluyen a una velocidad sin precedentes y, por lo tanto, deben gestionarse de manera oportuna. El uso cada vez más frecuente de etiquetas RFID (identificaciones de radiofrecuencia), sensores y medición inteligente (sistemas de lectura de contadores) aumentan la necesidad de gestionar flujos de datos casi en tiempo real [5].

Variedad. Los datos llegan en cualquier formato, desde datos estructurados como son las bases de datos relacionales, hasta datos no estructurados, como documentos de texto, correo electrónico, video, audio, datos de cotizaciones y transacciones financieras [11].

En el reconocimiento de patrones se tienen esquemas o metodologías que constan de las partes que se muestran en la figura 1. Esta estructura metodológica se puede encontrar en el reconocimiento de imágenes, de voz, de señales, etc. Algunos autores proponen otras estructuras, pero la que se muestra en la figura 1 tiene la forma que permite sistematizar el proceso y proponer de manera ordenada los algoritmos desde distintas perspectivas, de tal forma que no es necesario conocer algún lenguaje de programación o algoritmos especializados para abstraerse y entender en qué consiste cada etapa [3].

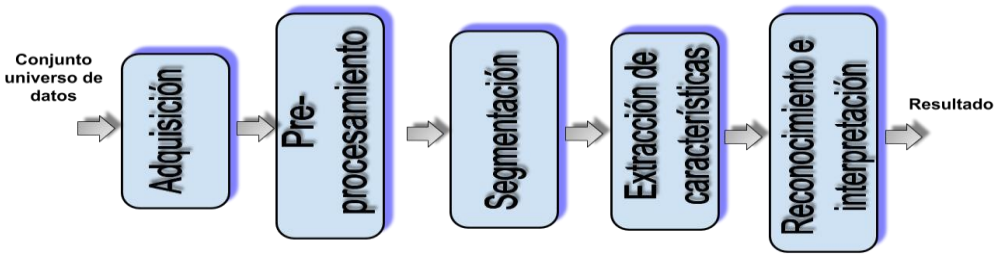


Figura 1. Etapas del proceso de reconocimiento de patrones.

Bajo este tenor, los bloques o etapas de cada proceso se describen enseguida:

Adquisición.- Es el proceso en el cual las señales o variables del mundo real son convertidas o leídas para generar sus valores, que pueden ser señales eléctricas o registros digitales. Los medios para construir esta etapa están formados por sensores, transductores y mediciones asociadas a la naturaleza de las variables, y a la salida se puede entregar un registro o señal como señales eléctricas o en formato de registros. Por mencionar un ejemplo, si lo que se desea es reconocer placas de automóvil, la etapa de adquisición estaría hecha por cámaras digitales que entregan una matriz de registros correspondientes a los pixeles, si se desea reconocer voz, la adquisición está hecha por un micrófono y sistemas de conversión analógica a digital y entrega a su salida una trama de registros del muestreo de audio [8].

Preprocesamiento.- Esta etapa suelen unirla a los sistemas de adquisición, sin embargo, técnicamente no forma parte de la adquisición, y está dedicada a darle nitidez o claridad al contenido que es de interés para el reconocimiento. En algunas literaturas se limitan a limpiar los registros o señales adquiridas del ruido que inevitablemente está presente en la etapa de adquisición. En su forma más básica, esta etapa está hecha de filtros de señales [4].

Segmentación.- En esta etapa se separa por segmentos la señal, por un lado para dejar presente en las señales o registros, los objetos dignos de reconocimiento de los que no lo son. Por ejemplo, para el caso de reconocimiento de imágenes, se señalan a los pixeles que pertenecen al objeto que está en la imagen, y al fondo no; en el caso de reconocimiento de voz, podría segmentarse a los registros o señales por sílabas, o por palabras [7].

Caracterización.- En esta etapa se generan mediciones o evaluaciones de las propiedades de cada objeto segmentado y es una etapa que puede basarse en funciones o algoritmos tan sencillos como comparaciones numéricas, o tan sofisticadas densidades de frecuencias con transformadas de Fourier. Se le suele definir un conjunto de características de modo que pueda ser contrastable el reconocimiento de un objeto o patrón sobre los demás. A este conjunto de características se le conoce como vector de características [10].

Metodología

Función sub

 ISSN: 2007 8102

Es una función previa a la segmentación de toda una variable colocada en un valor k y a través de esta, se puede obtener información de un k-ésimo dato, mediante el promedio de los vecinos previos y subsecuentes. Esta función está representada por la ecuación 1.

$$sub_p\left(b^I_{1^{anio}}, k\right) := \left[b^I_{1^{anio}}\left(k - \frac{p-1}{2}\right), \cdots, b^I_{1^{anio}}(k-1),\ b^I_{1^{anio}}(k),\ b^I_{1^{anio}}(k+1), \cdots, b^I_{1^{anio}}\left(k + \frac{p-1}{2}\right)\right] \quad (1)$$

En el caso de una ventana de 5 datos, se puede representar mediante la ecuación 2.

$$sub_5\left(b^I_{1^{anio}}, k\right) := \left[b^I_{1^{anio}}(k-2),\ b^I_{1^{anio}}(k-1),\ b^I_{1^{anio}}(k),\ b^I_{1^{anio}}(k+1),\ b^I_{1^{anio}}(k+2)\right] \quad (2)$$

Segmentación

En esta etapa se realizan procesamientos para extraer características, para el presente trabajo se utilizaron cuatro: filtro promedio, pseudoderivada, senoidal, lineal.

Filtro promedio. Utilizando un vector representado por la ecuación 3. Es un atenuante de los datos reales que obtiene un valor promedio por ventana.

$$v(k) = sub_5\left(b^I_{1^{sem}}, k\right)\begin{bmatrix}\frac{1}{5}\\ \frac{1}{5}\\ \frac{1}{5}\\ \frac{1}{5}\\ \frac{1}{5}\end{bmatrix},\quad k = 3, 4, \cdots, 40 \quad (3)$$

En este caso, el número de muestras es de 42, sin embargo, para poder utilizar el filtro de la función sub_5 se descartan los datos 1 y 2 al principio, 41 y 42 al final, por eso *k* inicia en 3 y termina en 40.

Pseudoderivada. Mediante un vector que como el de la ecuación 4. Permite identificar cuando hay un cruce por cero se identifica un máximo o un mínimo y cuando permanece cerca de cero es constante.

$$v(k) = sub_5\left(b^I_{1^{sem}}, k\right)\begin{bmatrix}-1\\ -1\\ 0\\ 1\\ 1\end{bmatrix},\quad k = 3, 4, \cdots, 40 \quad (4)$$

Senoidal. Representada por la ecuación 5. Se deduce que los valores considerados para tratar la información en este arreglo (filtro), son constantes, en este caso 17 valores preestablecidos, considerando el producto de este vector con los datos previos y posteriores al valor central a evaluar. En este sentido, podría tratarse de un análisis en el tiempo en un periodo dado entre los 17 datos.

En este caso, el número de muestras es de 42, sin embargo, para poder utilizar el filtro de la función sub_{17} se descartan los datos 1 al 8 al principio, y del 35 al 42 al final, por eso *k* inicia en 9 y termina en 34.

 ISSN: 2007 8102

$$v(k) = sub_{17}\left(b'_{1^{sem}}, k\right)\begin{bmatrix}1\\2\\3\\4\\4\\3\\2\\1\\0\\-1\\-2\\-3\\-4\\-4\\-3\\-2\\-1\end{bmatrix}, \quad k = 9, 10, \cdots, 34 \tag{5}$$

Lineal. Representada por la ecuación 6. Se deduce que los valores considerados para tratar la información en este arreglo (filtro), son constantes, en este caso 17 valores preestablecidos, considerando el producto de este vector con los datos previos y posteriores al valor central a evaluar. En este sentido, podría tratarse de un análisis en el tiempo en un periodo dado entre los 17 datos.

$$v(k) = sub_{17}\left(b'_{1^{sem}}, k\right)\begin{bmatrix}8\\7\\6\\5\\4\\3\\2\\1\\0\\-1\\-2\\-3\\-4\\-5\\-6\\-7\\-8\end{bmatrix}, \quad k = 9, 10, \cdots, 34 \tag{6}$$

Aplicación

Demostración con un conjunto de datos de defunciones por COVID-19, durante 42 semanas consecutivas del año 2020.

Para este caso, se cargó la información en una hoja de Google Sheets, posteriormente se desarrolló el programa correspondiente en JavaScript, a partir del algoritmo diseñado para automatizar las funciones descritas, utilizando Google Apps Script, en el cual, también se desarrolló una interfaz en HTML. En este sentido, esta aplicación, funciona a través de un navegador, en la que se define el tamaño de la máscara y con este dato se generan los valores obtenidos del filtro promedio y la pseudoderivada, para posteriormente generar su gráfica correspondiente, para su posterior tratamiento en la extracción de características.

Se destaca la importancia de la pseudoderivada en el reconocimiento de patrones, pues los cruces en cero indican un punto máximo o un mínimo en el conjunto de datos original. Para el caso de estudio el primer cruce por cero indica un valor máximo, ubicado en la semana 17 (eje horizontal), con el dato de 5,583 defunciones (eje vertical). Mientras que, el segundo cruce por cero indica un valor mínimo, ubicado en la semana 29 (eje horizontal), con el dato de 2,529 defunciones (eje vertical).

 ISSN: 2007 8102

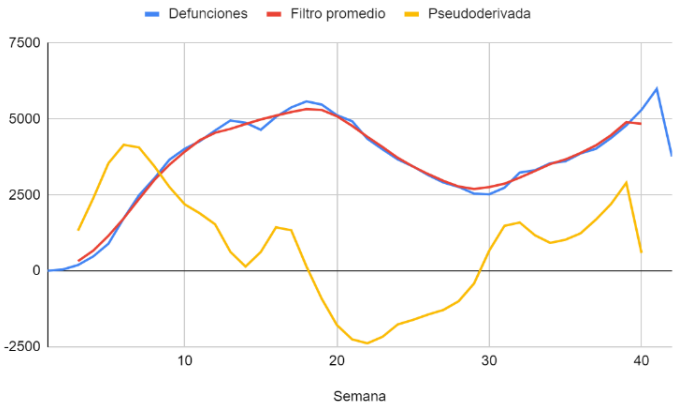


Figura 2. Gráfica del filtro promedio y pseudoderivada.

El tipo de gráfica resultante de la ecuación 5 del filtro senoidal, es la siguiente:

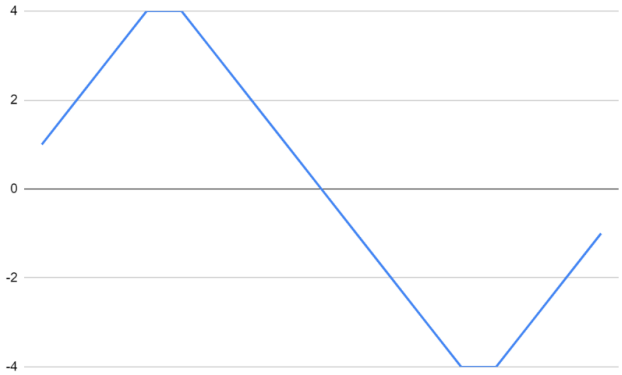


Figura 3. Gráfica del filtro senoidal.

De esto se deduce que este filtro es sensible a las variaciones de datos que corresponden a un incremento llegando a un punto máximo para luego, descender de manera constante hasta llegar a un punto mínimo y volviendo a incrementar hasta llegar aproximadamente al valor de origen.

Al aplicarse a un conjunto de datos, este filtro permite identificar comportamientos parecidos al de la gráfica anterior. Una vez aplicado al conjunto de datos de defunciones semanales por COVID 19 durante el 2020, se tiene la siguiente gráfica:

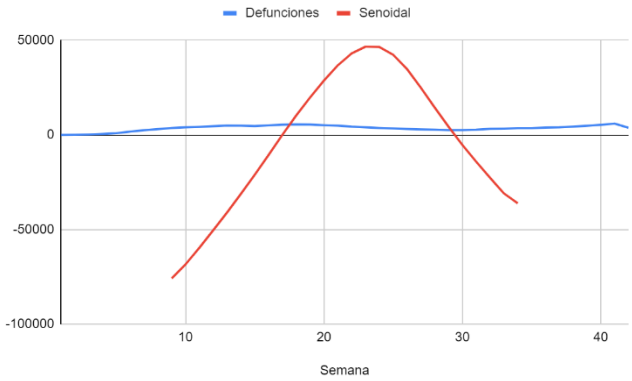


Figura 4. Gráfica del filtro senoidal sobre las muertes semanales por COVID-19 durante el 2020.

 ISSN: 2007 8102

El tipo de gráfica resultante de la ecuación 6 del filtro lineal, es la siguiente:

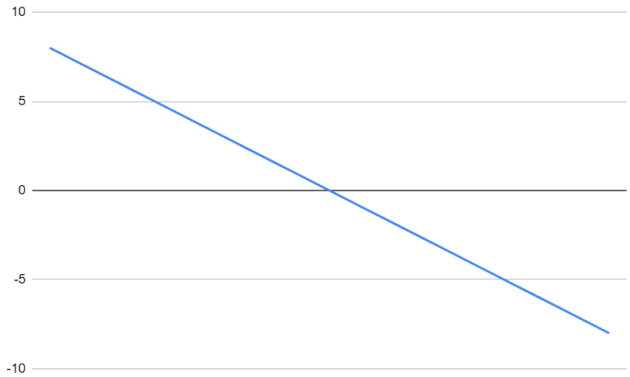


Figura 5. Gráfica del filtro lineal.

De esto se deduce que este filtro es sensible a las variaciones de datos que corresponden a un decremento constante desde un punto máximo hasta un valor mínimo, dibujando una línea recta en diagonal.

Al aplicarse a un conjunto de datos, este filtro permite identificar comportamientos parecidos al de la gráfica anterior. Una vez aplicado al conjunto de datos de defunciones semanales por COVID 19 durante el 2020, se tiene la siguiente gráfica:

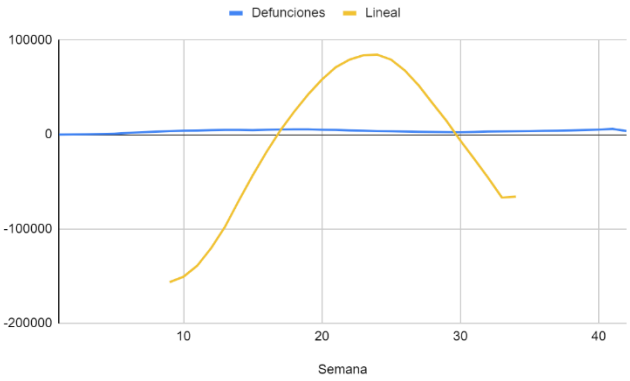


Figura 6. Gráfica del filtro lineal sobre las muertes semanales por COVID-19 durante el 2020.

Demostración con un conjunto de datos de defunciones por COVID-19, durante 165 semanas consecutivas desde el 17 de marzo de 2020 hasta el 9 de mayo de 2023.

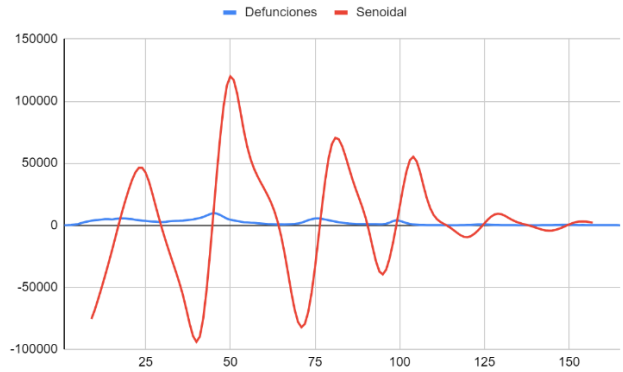


Figura 7. Gráfica del filtro senoidal sobre las muertes semanales por COVID-19 desde 2020 hasta 2023.

Al analizar la aplicación del filtro senoidal a la sección del conjunto de 165 datos, se puede concluir que, en el periodo de tiempo analizado, existe un comportamiento que coincide con el filtro propuesto. Esto es percibido, de

 ISSN: 2007 8102

acuerdo a la Figura 7, en la semana 50, en donde se observa el pico mayor de la línea en color rojo. Es decir, el tipo de filtro es sensible a los comportamientos similares a los de su gráfica.

Al analizar la aplicación del filtro lineal en el mismo conjunto de datos, se puede concluir que, en el periodo de tiempo analizado, existe un comportamiento que coincide con el filtro propuesto.

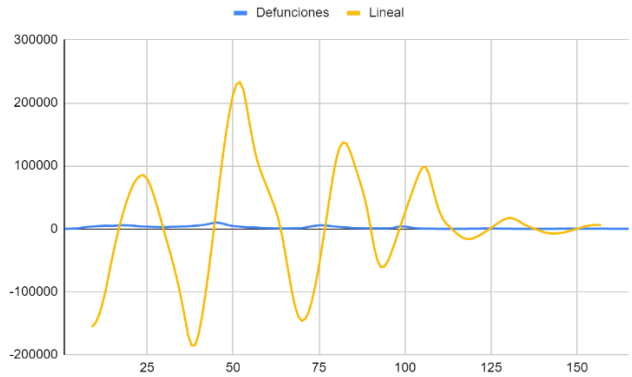


Figura 8. Gráfica del filtro lineal sobre las muertes semanales por COVID-19 desde 2020 hasta 2023.

De acuerdo a la Figura 8, en la semana 52 se observa el pico mayor de la línea en color amarillo. Es decir, el tipo de filtro es sensible a los comportamientos similares a los de su gráfica.

Resultados y discusión

De la gráfica de la Figura 4, se deduce que la línea generada de la aplicación del filtro senoidal, muestra una línea que se incrementa constantemente hasta llegar a un punto máximo y posteriormente se decrementa de manera constante. La interpretación de lo anterior, se entiende desde la perspectiva que el punto máximo implica una mayor coincidencia con el tipo de gráfica del filtro. De esta aseveración, se tiene que, al evaluar los datos comprendidos entre los 8 datos previos y los 8 datos posteriores a partir del valor ubicado en el punto máximo de la curva, se obtiene la gráfica de la Figura 9.

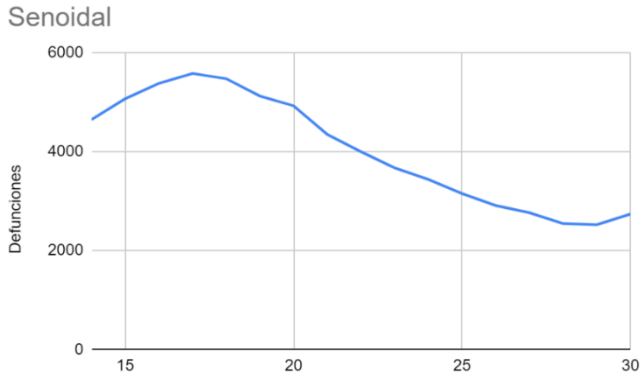


Figura 9. Patrón que coincide con la máscara senoidal.

Una vez que se aplica el filtro senoidal a la sección del conjunto de datos descrito, se puede concluir que, en el periodo de tiempo analizado, existe un comportamiento que coincide con el filtro propuesto. Es decir, el tipo de filtro es sensible a los comportamientos similares a los de su gráfica. Para el caso específico del conjunto de datos de trabajo, se tiene que existió un valor máximo en la semana 17, tendencia que se decremento constante hasta tener un punto mínimo en la semana 29 y teniendo otro incremento constante.

De la gráfica de la Figura 6, se deduce que la línea generada de la aplicación del filtro lineal, muestra una curva con un incremento constante hasta llegar a un valor máximo y posteriormente un decremento constante. La interpretación de lo anterior, se entiende desde la perspectiva que el punto máximo implica una mayor coincidencia con el tipo de gráfica del filtro. De esta aseveración, se tiene que, al evaluar los datos comprendidos entre los 8 datos previos y los 8 datos posteriores a partir del valor ubicado en el punto máximo de la curva, se obtiene la gráfica siguiente:

 ISSN: 2007 8102

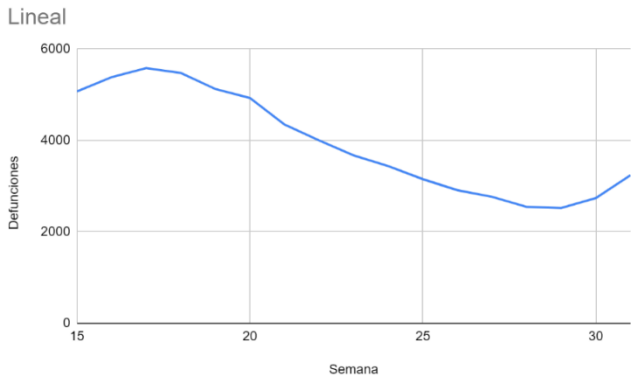


Figura 10. Patrón que coincide con la máscara lineal.

Después de aplicar el filtro lineal a la sección del conjunto de datos descrito, se puede concluir que, en el periodo de tiempo analizado, existe un comportamiento que coincide con el filtro propuesto. Es decir, el tipo de filtro es sensible a los comportamientos similares a los de su gráfica. Para el caso específico del conjunto de datos de trabajo, se tiene que existió un valor máximo en la semana 17, tendencia que se decremento de manera constante hasta tener un punto mínimo en la semana 29.

Para el caso específico del segundo conjunto de datos de trabajo, se identificó un valor máximo en la semana 45, tendencia que se decremento constante hasta tener un punto mínimo en la semana 58 y teniendo otro incremento posterior. Lo cual se puede observar en la Figura 11.

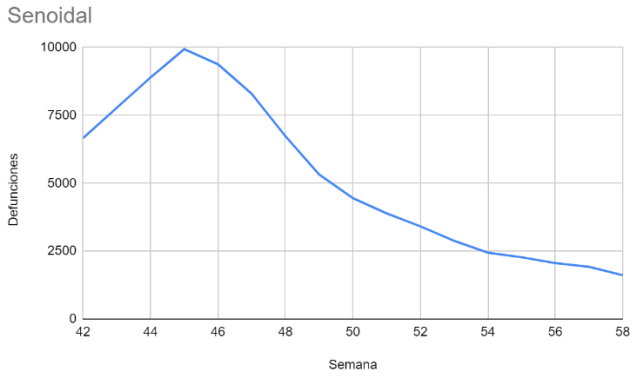


Figura 11. Patrón que coincide con la máscara senoidal del conjunto de 165 datos.

En lo que respecta al filtro lineal, aplicado al segundo conjunto de datos, se identificó un valor máximo en la semana 45, tendencia que se decremento constante hasta tener un punto mínimo en la semana 60, marcando un decremento casi constante. Lo cual se puede observar en la Figura 12.

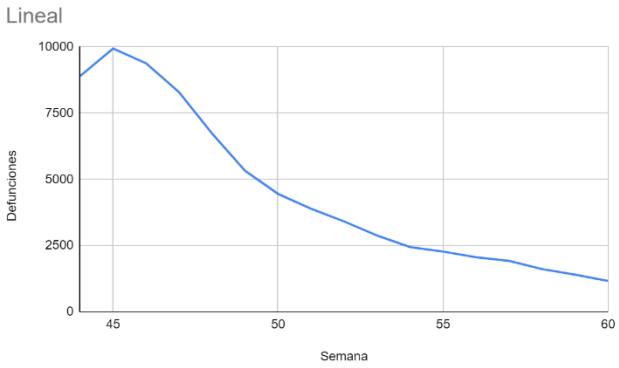


Figura 12. Patrón que coincide con la máscara lineal del conjunto de 165 datos.

Trabajo a futuro

Se pretende aplicar estos filtros a otros conjuntos de datos con más elementos. Además de utilizar variaciones en los filtros utilizados, como el rango de valores (tamaño del filtro) y el intercambio de signo, lo que permitiría comprobar la validez de los resultados obtenidos parcialmente con lo expuesto en este documento.

Conclusiones

La notación fue implementada a través de JavaScript en Google Apps Script satisfactoriamente, se desarrolló una interfaz HTML para introducir el tamaño de la máscara, utilizado en el código Javascript, para generar los datos correspondientes, mismos que se guardan en la hoja de cálculo de Google Sheets, en donde se encuentran los datos del conjunto de datos de prueba y se generan las gráficas correspondientes aquí mismo.

Se utilizaron cuatro filtros para identificar patrones en conjuntos de datos: promedio, pseudoderivada, senoidal y lineal; el primero se trata de un atenuador de los datos originales, el segundo permite identificar valores máximos y mínimos en la información de trabajo y los dos últimos, permiten identificar comportamientos en el conjunto de datos de prueba que coinciden con el tipo de gráfico de la máscara (vector), para este objeto de estudio, las defunciones semanales por COVID-19 durante el 2020.

Las pruebas realizadas sobre el conjunto de 42 datos fueron más fidedignas, en el sentido que la gráfica resultante de la identificación de los filtros senoidal y lineal sobre las defunciones, fueron los más allegados a las líneas de las gráficas de referencia. Con relación a la aplicación de los mismos filtros sobre el conjunto de 165 datos, si se identificaron los patrones definidos con los filtros, sin embargo, el tamaño del conjunto no permitió que las gráficas resultantes, fueron tan idénticas con las de referencia. Con ello se concluye que estos filtros diseñados para identificar comportamientos en conjuntos de datos son útiles. Además, de que el tamaño de los elementos del filtro (tamaño de la máscara o vector) sea directamente proporcional al tamaño de los conjuntos de datos, lo que en otras palabras podría expresarse, el tamaño del filtro debe ser acorde al tamaño del conjunto de datos.

A partir de este trabajo, se pueden diseñar los filtros que correspondan a las características o comportamientos que se desean identificar en el conjunto de datos de prueba.

Referencias

[1] Adrian, Cecilia, et al. “Theoretical Aspect In Formulating Assesment Model Of Big Data Analytics Environment.” Acta Mechanica Malaysia, vol. 1, no. 1, 2018, pp. 16–17., doi:10.26480/amm.01.2018.16.17.

[2] “Autonomous Systems: Big Data in Your Products, Services and Operations.” March/April 2018, 2018, doi:10.1287/lytx.2018.02.02.

[3] Barros, Victor Perazzolo, and Pollyana Notargiacomo. “Big Data Analytics in Cloud Gaming: Players' Patterns Recognition Using Artificial Neural Networks.” 2016 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), 2016, doi:10.1109/bigdata.2016.7840782.

[4] Bon, Ranko. “Supply-Side Multiregional Input-Output Models *.” Economic Structure and Maturity, 2018, pp. 83–96., doi:10.4324/9781315205274-5.

[5] Fernández, Alicia, et al. “Pattern Recognition in Latin America in the ‘Big Data’ Era.” Pattern Recognition, vol. 48, no. 4, 2015, pp. 1185–1196., doi:10.1016/j.patcog.2014.04.012.

[6] Franklinos, Lydia, et al. “Key Opportunities and Challenges for the Use of Big Data Inmigration Research and Policy.” 2020, doi:10.14324/111.444/000042.v1.

[7] Gaidarski, Ivan, and Pavlin Kutinchev. “Using Big Data for Data Leak Prevention.” 2019 Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering (BdKCSE), 2019, doi:10.1109/bdkcse48644.2019.9010596.

[8] Kepner, Jeremy V., and Hayden Jananthan. Mathematics of Big Data: Spreadsheets, Databases, Matrices, and Graphs. The MIT Press, 2018.

ISSN: 2007 8102

[9] Kreinovich, Vladik, et al. Predictive Econometrics and Big Data. Springer, 2018.
[10] Lohr, Sharon. “Big Data and Crime Statistics.” Measuring Crime, 2019, pp. 125–136., doi:10.1201/9780429201189-10.
[11] Završnik, Aleš. “Algorithmic Crime Control.” Big Data, Crime and Social Control, 2017, pp. 131–153., doi:10.4324/9781315395784-7.

ISSN: 2007 8102

APLICACIÓN PARA EL SEGUIMIENTO A FALLAS EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO MUNICIPAL

H. Vicenteño Rivera[1], A. Pérez López[2], M. Aguilar Cortés[3], J. Robles Calderón[4], M. A. Aguilar Cortés[5],*
[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla. México, hector.vr@teziutlan.tecnm.mx,
[2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla. México, adriana.pl@teziutlan.tecnm.mx,
[3]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla. México, miguel.ac@teziutlan.tecnm.mx,
[4]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla. México, jacobo.rc@teziutlan.tecnm.mx,
[5]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla. México, marco.ac@teziutlan.tecnm.mx

***Área de participación**: Sistemas Computacionales*

Resumen

El presenta trabajo muestra el desarrollo e implementación de una aplicación web diseñada con el propósito de optimizar el proceso de seguimiento de notificaciones de fallas en el servicio de alumbrado público del H. Ayuntamiento de Teteles de Ávila Castillo, en el Estado de Puebla. Esta iniciativa busca proporcionar a los ciudadanos una herramienta que facilite la georreferenciación de problemas relacionados con las lámparas de alumbrado público, permitiéndoles reportarlos de manera eficiente mediante dispositivos conectados a Internet, el sistema garantiza que las notificaciones se aborden de manera ágil y oportuna por el personal de la dirección de alumbrado público, contribuyendo así a una mejora sustancial en la calidad del servicio.

***Palabras clave**: aplicación, sistema, alumbrado, seguimiento.*

Abstract (150 *words at most, Arial 10*)

The present work shows the development and implementation of a web application designed with the purpose of optimizing the process of monitoring failure notifications in the public lighting service of the H. Ayuntamiento de Teteles de Ávila Castillo, in the State of Puebla. This initiative seeks to provide citizens with a tool that facilitates the georeferencing of problems related to public lighting lamps, allowing them to report them efficiently through devices connected to the Internet, the system guarantees that notifications are addressed in an agile and timely manner by staff of the public lighting department, thus contributing to a substantial improvement in the quality of the service.

***Key words**: application, system, lighting, monitoring.*

Introducción

El alumbrado público es un servicio público fundamental por permitir que las poblaciones tengan actividad en espacios exteriores durante la noche, ya sea para movilizarse de o al trabajo, la escuela, las compras o, simplemente, transitar por las calles iluminadas [1].

La instalación de luces en calles y áreas de acceso público mayormente conocido como alumbrado público, es una medida esencial para garantizar la seguridad. Esto se emplea tanto para evitar accidentes como para prevenir actividades criminales. En algunas ocasiones, la iluminación pública se utiliza con propósitos decorativos, como, por ejemplo, resaltar estructuras icónicas o embellecer plazas y parques durante la noche. A pesar de cumplir una función de seguridad y formar parte de espacios públicos, las señales viales luminosas, como los paneles y semáforos, no son consideradas parte de los sistemas de iluminación pública.

Pese a que México cuenta con un marco legal que habla de la eficiencia energética para sistemas de alumbrado público y vialidades, todavía falta una mayor acción para manejar esquemas de mayor tecnología que permitan

ahorros a los gobiernos y, especialmente, disminuyan los efectos de la contaminación lumínica para la población, posteriormente, se requieren sistemas de telegestión para automatizar los procesos y generar ahorros importantes en materia energética, lo cual también permitiría recolectar información para tener un mayor control sobre estos esquemas [2].

Cabe hacer mención que la automatización de los reportes a los diferentes servicios municipales, no son algo nuevo, tal es el caso del H. Ayuntamiento de Mérida Yucatán, donde a través de diferentes vías de comunicación oficiales, como lo son: teléfono, en línea a través de una plataforma web y vía app móvil, se les realizan una sería de cuestionamientos, asignándoles un folio de atención y seguimiento [3]. De igual forma el proceso implementado por el Gobierno del Estado de Nuevo León, contempla el reporte de fallos en todos los servicios públicos, pero únicamente en tres modalidades; vía telefónica a un número 070 o de forma presencial, acudiendo a la Secretaría de Participación Ciudadana o a través de un correo electrónico de locatel [4].

La propuesta de este proyecto presenta un grado de innovación al identificar, a través de un mapa de geo ubicación las luminarias instaladas en el Municipio de estudio, permitiendo seleccionar la que presenta fallo dentro de la app, para que las áreas de gobierno u otra persona que identifique la falla, reconozca, a través de los colores del semáforo, identificar el status de dicha luminaria, siendo rojo, como falla reportada, amarillo falla en periodo de atención y verde, sin falla o sin reporte.

El proyecto nacional de eficiencia energética en alumbrado público municipal considera otorgar a los municipios financiamiento de la banca de desarrollo para la ejecución de los proyectos, buscando la recuperación del financiamiento a través de los ahorros económicos generados por la disminución en el consumo de energía eléctrica [5].

El alumbrado público es el servicio más caro para los municipios y consume alrededor el 15% de la electricidad que se genera en el país, esto se debe principalmente a altas tarifas, uso de luminarias obsoletas y falta de mantenimiento, la tarifa por concepto de alumbrado público es la segunda más alta ofrecida por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), incluso por encima de la tarifa industrial. la calificadora Fitch Ratings considera que el gasto por consumo eléctrico anual es un factor que presiona las finanzas de gobiernos locales, lo que invita a la búsqueda de optimización de recursos escasos con proyectos que eficienten la prestación de este servicio [6].

En diciembre de 2021, el 81.2 por ciento de los mexicanos mayores de 18 años manifestó que uno de los problemas más importantes en su ciudad es la existencia de baches en las calles y avenidas de su colonia, de acuerdo con la Encuesta Nacional de Seguridad Pública Urbana (ENSU), elaborada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), además del mal estado del pavimento, el 60.3 por ciento los ciudadanos señalaron al alumbrado público como el segundo mayor problema de su colonia, pues consideran que no contar con luz incita a que se realicen crímenes como robo o delitos sexuales con mayor facilidad [7].

La geolocalización es una tecnología que utiliza datos obtenidos a través de dispositivos móviles para identificar o describir su ubicación física real. Un sistema de geolocalización es una solución que determina la ubicación de un objeto en un entorno físico (geoespacial) o virtual (Internet). Frecuentemente, el objeto es una persona que quiere utilizar un servicio basado en la ubicación, mientras mantiene su privacidad. Adicionalmente, permite incluir información adicional vinculada a la localización del objetivo [8].

La geolocalización posibilita obtener la ubicación geográfica precisa de un objeto o entidad. Esta ubicación puede ser determinada mediante la infraestructura de red de un proveedor de servicios, si bien la precisión de las técnicas basadas en la red puede variar en función de elementos como la densidad de estaciones base y la utilización de métodos avanzados de sincronización.

Metodología

La metodología implementada se divide en tres fases: la primera de ella consiste en el proceso de vinculación con el H. Ayuntamiento de Teteles de Ávila Castillo específicamente con la dirección de alumbrado público con el objetivo del diseño del instrumento para la recolección de datos relacionados al servicio que esta área ofrecer,

ISSN: 2007 8102

la segunda fase contempla las actividades relacionadas al diseño de la aplicación web, y la tercera en el análisis de la implementación de dicha aplicación, como se muestra en la Figura 1.

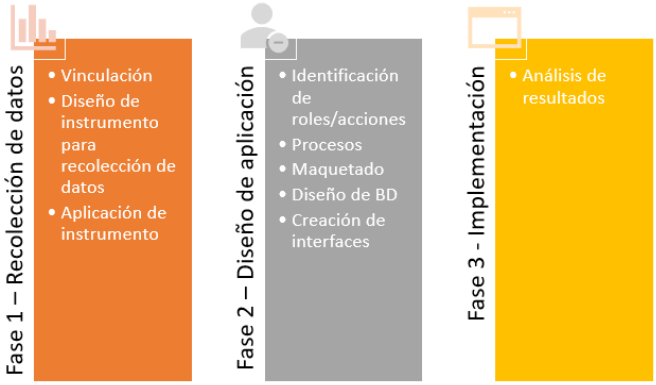


Figura 1. Metodología de investigación

Fase 1: Recolección de datos

El municipio de Teteles de Ávila Castillo, forma parte del Estado de Puebla, ha establecido como meta mejorar la eficiencia en la gestión de los reportes generados por los ciudadanos. Esta iniciativa se desarrolla en el ámbito de la regiduría de Desarrollo Urbano, Obras y Servicios Públicos. El enfoque principal se centra en agilizar la atención de los informes presentados por la población en relación con fallos en los servicios públicos. Además, se busca dar respuesta a solicitudes vinculadas a la modernización de la infraestructura del alumbrado público. Estos requerimientos incluyen diversas actualizaciones, como el reemplazo de luminarias, tanto de tecnología LED como de bajo consumo, así como la variación en el tipo de postes de luz, que pueden ser de madera o de concreto, entre otras mejoras.

El H. Ayuntamiento ha identificado que el servicio de alumbrado público presenta un área de oportunidad en el seguimiento oportuno a los reportes de fallos por parte del personal encargado de esta área; por lo que el contar con una aplicación web que permite a la población generar reportes ante un fallo y al personal dar seguimiento permite brincar servicios de calidad a la ciudadanía.

El instrumento para la recolección de información consiste en un formulario de la plataforma Google, en la Figura 2 encontramos la distribución de la población del municipio de Teletes de Ávila Castillo que participó en la encuesta, la población participante consistió en un total de 50 ciudadanos.

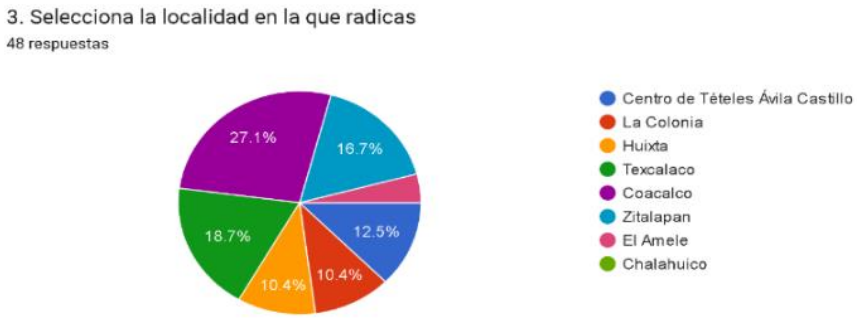


Figura 2. Ciudadanos participantes por localidad

La Figura 3 ilustra la percepción de los ciudadanos en relación con el servicio de alumbrado proporcionado por el municipio. Se destaca que más del 50% de los encuestados considera que la infraestructura actual es de buena calidad. Dado este resultado, el departamento de Desarrollo Urbano, Obras y Servicios Públicos se ha enfocado

 ISSN: 2007 8102

en desarrollar estrategias con el objetivo de conservar o incluso incrementar este nivel de satisfacción entre la población con respecto al servicio brindado.

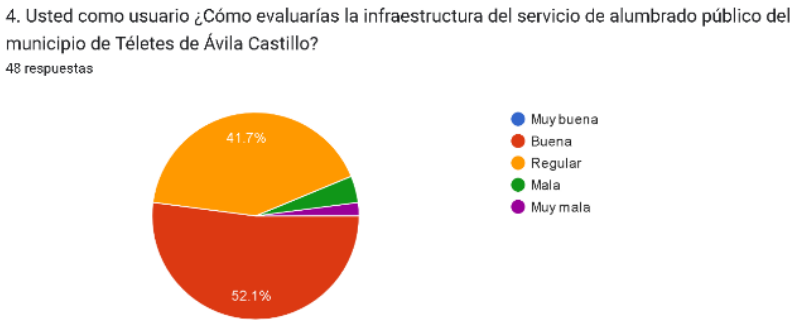


Figura 3. Metodología de investigación

La Figura 4 facilita la identificación de los métodos a través de los cuales los ciudadanos están dispuestos a proporcionar retroalimentación al H. Ayuntamiento en relación con la notificación de fallos en el sistema de alumbrado público. Es relevante señalar que esta comunicación puede abarcar tanto problemas específicos en una localidad como en cualquier área del municipio. Asimismo, esta figura brinda un panorama de la penetración que han logrado los dispositivos móviles: el 34% de los encuestados señala que la lectura de un código QR, mientras que el 44% prefiere utilizar una aplicación web, como los métodos de elección para reportar problemas.

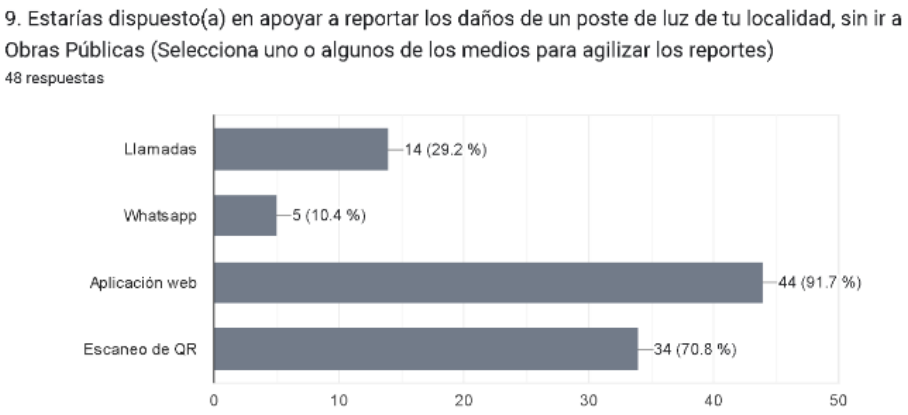


Figura 4. Metodología de investigación

La Tabla 1 muestra a manera de resumen las actividades relacionadas al desarrollo de la aplicación web todas ellas bajo la metodología OOHDM, y la Tabla 2 muestra una descripción de la arquitectura

Tabla 1. Actividades realizadas en base a la metodología OOHDM

Fase	Descripción
Obtención de requerimientos	Se analizaron cada uno de los procesos del sistema. Se identificó la problemática, requerimientos, instrumento de recolección de datos y se planificaron las actividades a desarrollar.

Modelo Conceptual	Se desarrollaron diagramas UML de casos de uso, diagramas de clase, diagramas de secuencia y colaboración, diagramas de estado y diagramas de arquitectura general de la aplicación.
Diseño Navegacional	Se establecieron las diferentes rutas que pueden seguir los usuarios dentro de la aplicación basados en los roles que poseen.
Diseño de interfaz abstracta	Se definieron las interfaces de la aplicación a través de un proceso de maquetado.
Implementación	Se publicó la aplicación en Azure App Service

Tabla 2. Descripción de la arquitectura para la aplicación de seguimiento a fallas

Herramientas de desarrollo	Visual Studio Community 2022. C# como lenguaje de programación. SQL Server 2019 Developer. MVC como patrón de diseño.
Arquitectura implementada	La aplicación para seguimiento de fallas a fallas en el sistema de alumbrado municipal se desarrolló aplicando la arquitectura n-capas.
Capa de datos	El origen de los datos se encuentra alojado en una base de datos relacional ubicada en un servidor de base de datos SQL Server 2019 Developer.
Capa de acceso a datos	Se utilizó Entity Framework Core 3.0 como tecnología de acceso a datos.
Capa de lógica de negocio	Se realizó la definición e implementación de un modelo de entidades complejo para permitir la validación de todas las especificaciones establecidas dentro de la fase de requerimientos.
Capa de servicios	Se generó una capa de servicios basado en web API ya que en trabajos futuros se desea complementar esta plataforma de cobro con otro tipo de aplicaciones.
Capa de presentación	Para el desarrollo de las interfaces de usuario o cliente se utilizó HTML5, CSS3, Bootstrap 5.3, y jQuery.

Fase 2: Diseño de la aplicación

Identificación de roles:

- Administrador: Encargado de administración de la aplicación web.
- Trabajador: Encargado de dar seguimiento a las notificaciones de fallas en el alumbrado público municipal.
- Usuario: Ciudadano que genera un reporte de fallo.

Maquetado

Para obtener una comprensión completa de la navegación y los componentes fundamentales de la aplicación, fue esencial ejecutar el proceso de diseño visual de las interfaces de usuario (como se ilustra en la figura 6). Este paso posibilitó establecer de manera clara el flujo y la interacción entre las diversas interfaces. De esta forma, al entrar en la etapa de desarrollo, se logró agilizar el proceso y reducir al mínimo la necesidad de llevar a cabo modificaciones sustanciales.

 ISSN: 2007 8102

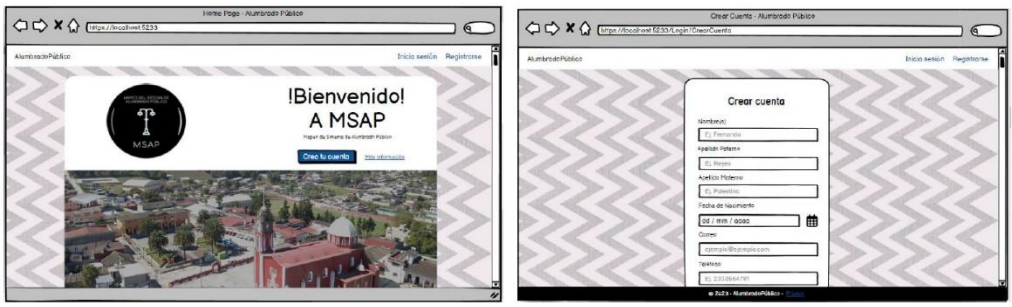


Figura 6. Maquetado de interfaces.

El diseño del modelo de la base de datos se encuentra representado visualmente en la Figura 7. Este modelo abarca no solo los procesos, roles y actividades integrados en la aplicación web, sino que también ha sido desarrollado teniendo en cuenta la aplicación de buenas prácticas. Estas prácticas buscan asegurar la coherencia de los datos y prevenir la duplicación innecesaria de la información.

Diseño de base de datos

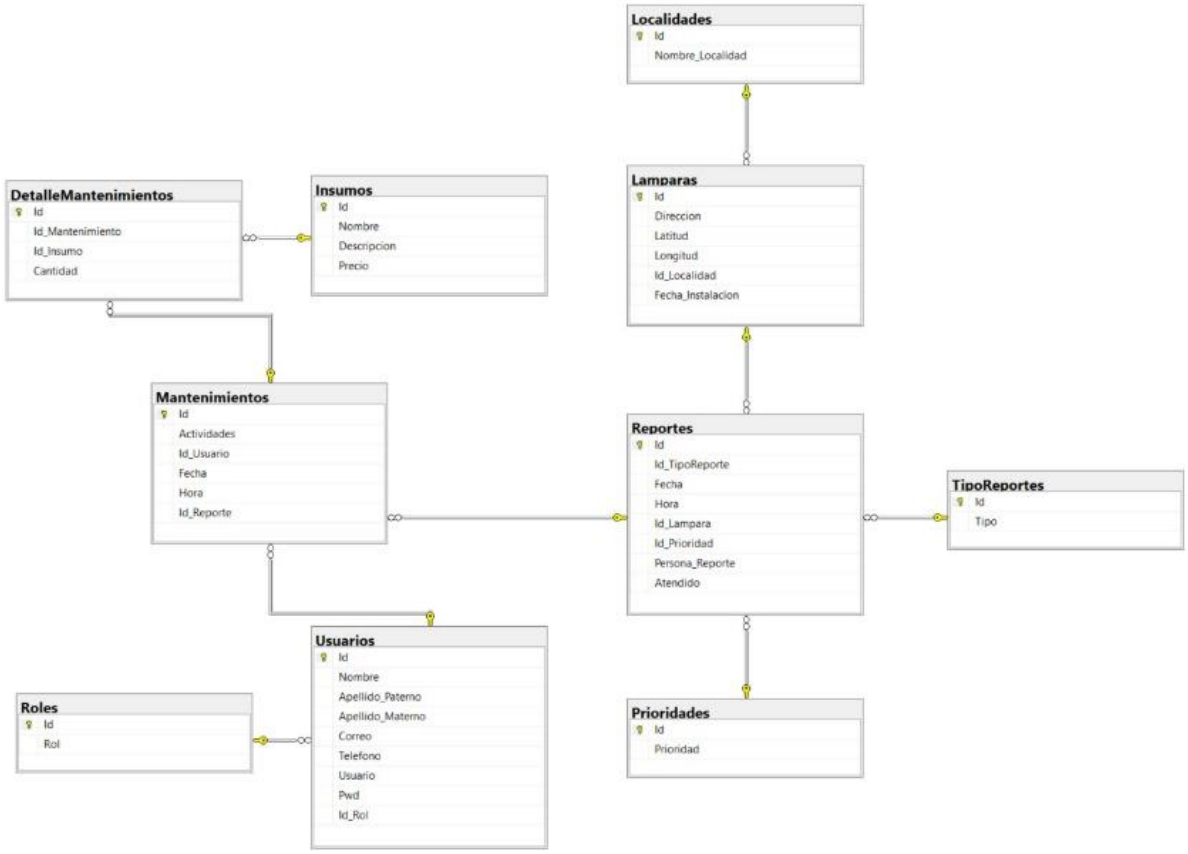


Figura 7. Esquema de base de datos

Tecnologías utilizadas

Para el desarrollo del proyecto, se utilizaron las siguientes tecnologías:

 ISSN: 2007 8102

Tabla 3. Tecnologías para el desarrollo de la propuesta

Editor de código	Visual Studio Code
Framework de desarrollo	SDK de .Net 7.0.400
Tipo de proyecto	Aplicación Model – View – Controlar
Base de datos	SQL Server 2022
Tecnología de mapas	Leaflet
Framework responsivo	Bootstrap 5.3
Lenguaje de cliente	JavaScript
Host	Azure App Service

Resultados y discusión

El inicio de la aplicación web consta de una pantalla de inicio de sesión (login) y dependiendo del rol que tenga el usuario tendrá acceso a un conjunto de opciones, la Figura 8 da evidencia de este paso.

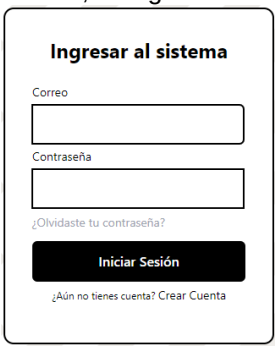


Figura 8. Pantalla de inicio de sesión (login)

El administrador del sistema tiene acceso a las siguientes opciones Ver mapa, nueva lámpara, Ver reportes y definir el Tipo de reporte (que un usuario podrá utilizar para reportar una falla en el alumbrado público municipal) como se observa en la Figura 9.

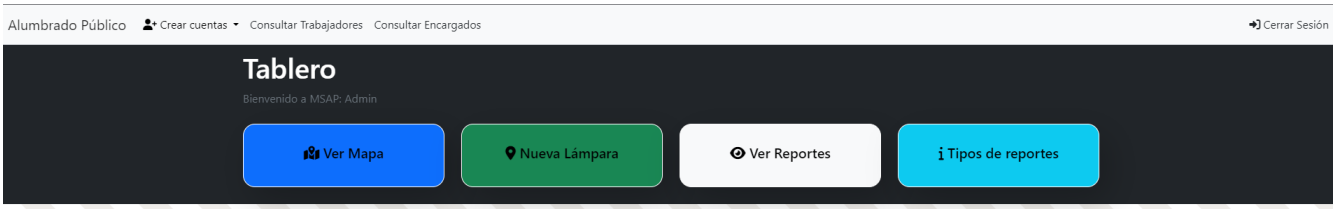


Figura 9. Mosaico de opciones para el administrador

El rol de administrador o trabajador puede aprovechar la función "Ver mapa" para generar nuevos marcadores que simbolizan lámparas suplementarias, tal como se presenta en la Figura 9. Este enfoque enriquece el mapa, brindando a los usuarios la posibilidad de hacer notificaciones en el sistema de manera más completa y precisa.

La Figura 10 muestra un conjunto de lámparas georreferenciadas por la dirección de alumbrado público y disponibles en el sistema para que los ciudadanos puedan generar informes sobre su funcionamiento. En este contexto, el rol de administrador o trabajador tiene la responsabilidad de mantener actualizada la visualización del mapa. Este proceso garantiza que la información sobre la ubicación de las lámparas sea precisa y permita a los usuarios informar adecuadamente sobre cualquier problema relacionado con su funcionamiento.

 ISSN: 2007 8102



Figura 10. Mapa de lámparas dentro del inventario

La toma de decisiones basada en datos implica el uso de información respaldada por hechos reales y verificables en un contexto dado. Su propósito es orientar las futuras acciones estratégicas. En línea con esta premisa, la dirección de alumbrado público dispone de un informe sobre el estado de las notificaciones generadas, como se ilustra en la Figura 11. Esto habilita la formulación de acciones alineadas con los objetivos, iniciativas y metas establecidas por la administración municipal en relación con los planes de mantenimiento preventivo y correctivo definidos

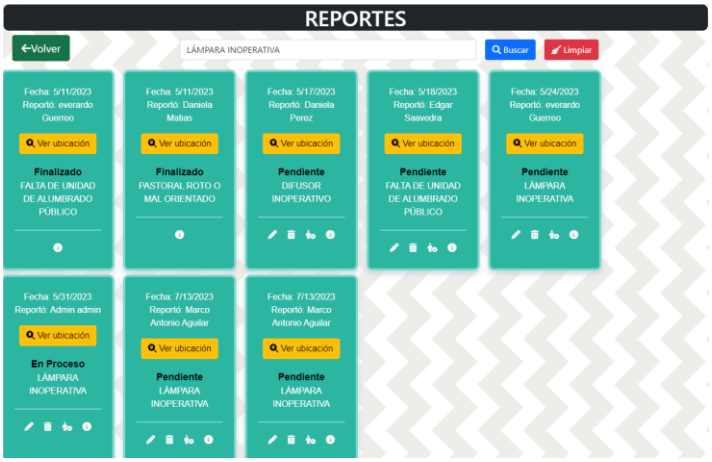


Figura 11. Mosaico de opciones para el administrador

Cualquier ciudadano tiene la capacidad de iniciar el proceso de notificación de una falla en una lámpara perteneciente a la red municipal de alumbrado público. Cada lámpara en el mapa está asociada a un código QR que simplifica el proceso de reportar un fallo. Esta característica se muestra en la Figura 12, donde se puede apreciar la presencia de estos códigos QR en el entorno de las lámparas, así como el formulario que el notificante utiliza para realizar el proceso citado en este párrafo.

ISSN: 2007 8102



Figura 12. Proceso de notificación de una falla

La figura 13 muestra la información relacionada a la notificación de una falla en una determinada luminaria del sistema municipal de alumbrado público, misma que permite conocer el tipo de fallo, usuario que lo reporte y lo más importante la geo ubicación del elemento reportado, esto permite mejorar el proceso de toma de decisiones al momento de crear planes de mantenimiento, asignación de personal, reducir tiempos de respuesta, que no era posible bajo el modelo anterior.

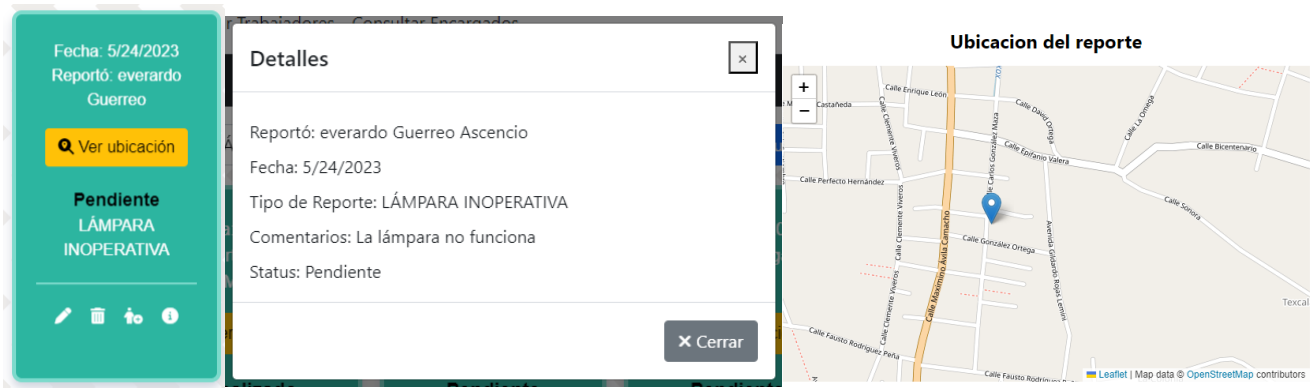


Figura 13. Detalles de notificación de fallo

Trabajo a futuro

Es necesario aumentar la cantidad de lámparas representadas en el mapa que forman parte de la red de alumbrado público municipal. Además, se sugiere colocar los códigos QR de manera física en las lámparas, no limitándolos únicamente a la aplicación web. Esto permitirá optimizar el procedimiento de notificación. Finalmente, se plantea la idea de llevar a cabo pruebas con múltiples solicitudes simultáneas para evaluar la estabilidad y disponibilidad de la aplicación web.

Conclusiones

La creación de la aplicación web para la Dirección de Alumbrado Público del H. Ayuntamiento de Teteles de Ávila Castillo ha representado una transformación significativa en la forma en que se lleva a cabo el seguimiento y resolución de fallos. Anteriormente, este proceso se realizaba de manera manual mediante inspecciones físicas en las diversas localidades que integran el municipio. No obstante, gracias a la implementación de este sistema, ahora se ha logrado digitalizar este proceso inicialmente laborioso.

ISSN: 2007 8102

Gracias a esta solución sobre reportes de alumbrado público en el ayuntamiento, se ha impulsado una mejora significativa en la atención al cliente y la eficiencia en la gestión de este importante servicio. Este proyecto aprovecha la geolocalización para permitir a los ciudadanos reportar de manera sencilla y precisa cualquier problema relacionado con el alumbrado público. Esta innovación ha fortalecido la comunicación entre los residentes y las autoridades locales, agilizando la respuesta a sus necesidades. Ahora, gracias a la geolocalización, se puede identificar de inmediato la ubicación exacta de las incidencias en la iluminación pública, lo que permite enviar rápidamente a los equipos de mantenimiento y garantizar una solución oportuna. Finalmente, es importante mencionar que el software ha optimizado la atención al cliente y la gestión de recursos, contribuyendo a una comunidad más segura y satisfecha con los servicios municipales.

Referencias

[1] Secretaría de energía, "Alumbrado público, eficiencia energética y la ciudad inteligente," 2019.
[2] Fernando Gutiérrez. "¿Qué hace falta en México para tener alumbrado público de alta tecnología?" www.eleconomista.com.mx. https://www.eleconomista.com.mx/econohabitat/Que-hace-falta-en-Mexico-para-tener-alumbrado-publico-de-alta-tecnologia-20230705-0131.html (accedido el 8 de agosto de 2023).
[3] “Atención Ciudadana”. www.merida.gob.mx/atencionciudadana. (accedido el 7 de septiembre de 2023). [En línea]. Disponible: https://www.merida.gob.mx/atencionciudadana/index.php
[4] “Recepción, canalización y seguimiento de fallas en servicios públicos | RETyS”. Gobierno del estado de Nuevo León | RETyS. Accedido el 7 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://retys.nl.gob.mx/servicios/recepcion-canalizacion-y-seguimiento-de-fallas-en-servicios-publicos
[5] "Estados y municipios Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal". gob.mx. https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/estados-y-municipios-proyecto-nacional-de-eficiencia-energetica-en-alumbrado-publico-municipal#:~:text=El%20Proyecto%20Nacional%20considera%20otorgar,el%20consumo%20de%20energía%20eléctrica. (accedido el 8 de agosto de 2023).
[6] "Los municipios mexicanos gastan miles de millones de pesos en alumbrado ineficiente". Energy 21 | El referente informativo de la industria energética. https://energy21.com.mx/electricidad/2019/03/01/los-municipios-mexicanos-gastan-miles-de-millones-de-pesos-en-alumbrado (accedido el 4 de agosto de 2023).
[7] R. L. Méndez. "Inegi: baches y alumbrado, los principales problemas para mexicanos". Grupo Milenio. https://www.milenio.com/politica/comunidad/inegi-baches-alumbrado-principales-problemas-mexicanos (accedido el 5 de agosto de 2023).
[8] "Aplicaciones de la geolocalización | 2023". Maestrías y MBA. https://www.ceupe.mx/blog/aplicaciones-de-la-geolocalizacion.html (accedido el 10 de agosto de 2023).

ISSN: 2007 8102

Sistema Experto basado en Reglas para la distribución de agua con dispositivos IoT

M.A. Aguilar Cortés[1], M. Aguilar Cortés[2], H. Vicenteño Rivera[3],*
[1]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla, México, marco.ac@teziutlan.tecnm.mx
[2]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla, México, miguel.ac@teziutlan.tecnm.mx
[3]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla, México, hector.vr@teziutlan.tecnm.mx

***Área de participación**: Sistemas Computacionales*

Resumen

Uno de los principales problemas a nivel mundial es la escasez de agua debido al aumento de la demanda causado por el calentamiento global y la sobrepoblación. Esto ocasiona que se comience a racionar el recurso. La presente investigación propone un sistema experto basado en reglas para distribuir equitativamente el agua a través de dispositivos IoT. Mediante sensores, se recopilan datos sobre el suministro de agua, que son enviados al Web API con ayuda de solicitudes HTTP. Allí, el sistema experto toma decisiones inteligentes y equitativas sobre la distribución del recurso, siguiendo reglas predefinidas. Finalmente, los resultados del sistema experto se envían a los dispositivos IoT, donde se activa una válvula para permitir o restringir el flujo de agua según las decisiones tomadas. Esto garantiza un consumo responsable y una distribución justa del recurso vital, contribuyendo a mitigar la escasez de agua y promoviendo un uso sostenible y equitativo.

***Palabras clave**: Sistema, Experto, Agua, Distribución*

Abstract

One of the main global issues is water scarcity due to increased demand caused by global warming and overpopulation. This leads to the initiation of water rationing. The present research proposes an expert system based on rules to equitably distribute water through IoT devices. Through sensors, data about water supply is collected, which is then sent to the Web API using HTTP requests. There, the expert system makes intelligent and fair decisions about resource distribution, following predefined rules. Finally, the expert system's outcomes are transmitted to the IoT devices, where a valve is activated to allow or restrict water flow based on the decisions made. This ensures responsible consumption and a just allocation of this vital resource, contributing to mitigating water scarcity and promoting sustainable and equitable usage.

***Key words**: system, expert, water, distribution*

Introducción

Uno de los problemas más grandes que existen actualmente no solo en México si no en todo el mundo es la escases de agua. Según datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (Conagua) más de la mitad del territorio nacional sufre algún tipo de sequía [1]. Un factor importante de la falta del preciado líquido es el incremento de la población donde la demanda ha creado un círculo vicioso en el que se extrae el recurso sin contemplar tiempos de recuperación [2]. El abasto de agua potable en cantidad y calidad y las condiciones de saneamiento son fundamentales para alcanzar el derecho humano a una vida digna y un ambiente sano, un compromiso internacional suscrito por México y con validez jurídica en el país [3].

La falta de agua tiene consecuencias significativas, y una de ellas es que no todos los habitantes de una determinada área pueden acceder al recurso. La distribución equitativa de agua potable representa uno de los desafíos más apremiantes tanto en México como en el resto del mundo. La creciente demanda de agua supera la cantidad disponible, lo que provoca escasez y afecta a toda la población. En algunos municipios de la Sierra Norte de Puebla, así como algunos municipios vecinos del estado de Veracruz se observa que ya se ha comenzado a tomar decisiones sobre el uso racional del agua. Un ejemplo es la asignación de horarios de

distribución, sin embargo, no se realiza de manera equitativa debido a que existen diferentes factores que limitan esta tarea. Las viviendas ubicadas en zonas geográficamente más alejadas de las fuentes de abastecimiento sufren especialmente las consecuencias, ya que la entrega de agua prioriza los hogares más cercanos a la fuente. Además, la falta de suficiente presión en las bombas dificulta el suministro de agua a hogares ubicados en segundo o tercer piso, lo que agudiza el problema.

Estos factores generan frustración y malestar entre los ciudadanos que dependen de este recurso vital. Es esencial abordar de manera urgente y eficiente esta problemática, buscando soluciones que promuevan una distribución más justa y sostenible del agua para garantizar el bienestar de toda la comunidad. Ante la problemática antes descrita, se propone la implementación de un sistema experto basado en reglas que tome decisiones sobre la distribución de agua potable con base en el consumo registrado en cada vivienda. El sistema se alimenta de una red de sensores estratégicamente ubicados que recopilan datos sobre el consumo de agua en tiempo real. Estos sensores pueden medir la cantidad de agua utilizada en cada hogar y transmitir esta información a través de solicitudes HTTP. Los datos recopilados son procesados y analizados por el sistema experto, que toma decisiones sobre la apertura y cierre de las tomas de agua en función de la demanda y las necesidades de cada vivienda.

El objetivo principal de este enfoque es optimizar la distribución de agua potable, asegurando que las viviendas reciban un suministro adecuado y evitando el desperdicio. Este sistema experto utiliza algoritmos y modelos de análisis de datos para determinar las residencias beneficiadas y aquellas que requieren atención prioritaria. La implementación de un sistema experto para la gestión de la distribución de agua potable no solo resuelve problemas de escasez, sino que también promueve la conciencia sobre el consumo responsable y la importancia de preservar este recurso vital. Al utilizar la tecnología de manera inteligente y eficiente, se establecen bases sólidas para una gestión más efectiva y sostenible del agua, asegurando un suministro equitativo y adecuado para todos.

Metodología

Para el desarrollo del presente proyecto, se llevó a cabo una investigación de trabajos relacionados con el fin de inspirar el desarrollo de ideas. Luego, se elaboró un diseño arquitectónico que definiera la interacción entre los distintos elementos del sistema. La siguiente fase se centró en la integración de un dispositivo previamente desarrollado, encargado de transmitir datos e intercambiar únicamente las tareas necesarias para su ejecución. Por último, se procedió a la creación del sistema experto y a la integración completa de todos los componentes necesarios para la captura del flujo de agua y la toma de decisiones. A continuación, se detalla el proceso de cada una de estas etapas.

Búsqueda de trabajos relacionados

Diversas investigaciones se enfocan en el uso de sistemas expertos para la toma de decisiones en áreas como la salud, la educación, entre otras. Por ejemplo, se desarrolló un sistema experto con el fin de evaluar la calidad y exhaustividad de las referencias en ciertos artículos seleccionados, extrayendo datos mediante expresiones regulares. Si se obtiene un resultado preciso, se puede inferir que la cita está correctamente evaluada, abarcando aspectos como autores, títulos, nombres de revistas, volumen y número, páginas, año y DOI [4]. Otro estudio investiga cómo la inteligencia artificial combinada con un sistema experto podría agilizar la elección adecuada de algoritmos de aprendizaje automático para alcanzar resultados deseados. Los descubrimientos del estudio revelan un enfoque simple para seleccionar el modelo o algoritmo más relevante y apropiado en función del análisis, con una explicación detallada de cada opción disponible [5]. Con respecto a la pandemia provocada por el virus SARS-CoV-2, se creó una aplicación móvil que operaba como un asistente inteligente, generando recomendaciones para tratamientos básicos si fueran necesarios. Para validar los resultados, se compararon con diagnósticos en pacientes pediátricos [6]. Además, se han empleado sistemas expertos en la elección de la mejor herramienta de corte, considerando factores como profundidad, ancho de pared, peso y nivel de precisión. Esto proporciona al usuario diversas opciones para seleccionar la herramienta que mejor se ajuste a sus requerimientos [7].

Diseño de la arquitectura

Se propone un dispositivo IoT con una válvula que abra y cierre electrónicamente, así como sensores que obtengan la información del agua que fluye por la toma para enviarse a un proyecto de tipo Web API donde se integrarán todos los elementos del sistema experto. Posteriormente, la información se almacenará en una base

 ISSN: 2007 8102

de datos en un servidor externo, así como las reglas definidas para evaluar los datos obtenidos. Finalmente, la información se procesará y los resultados obtenidos se almacenarán en la base de datos para que, cuando los dispositivos realicen el proceso de lectura, se ejecuten las acciones correspondientes. En la figura 1 se muestra a detalle el diseño la propuesta.

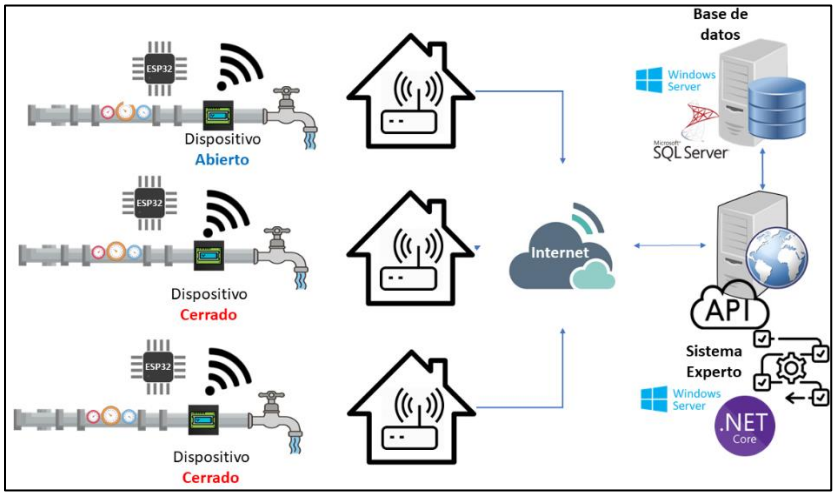


Figura 1. Arquitectura de la solución.

Integración de dispositivo IoT

El término IoT hace referencia a dispositivos físicos que intercambian datos a través de redes inalámbricas con mínima intervención humana, logrado mediante la incorporación de dispositivos informáticos en diversos objetos. Por lo general, se componen de interruptores para enviar instrucciones y sensores que recopilan y envían datos [8]. El dispositivo IoT propuesto integra múltiples tecnologías y componentes para asegurar una distribución eficaz y controlada del agua. Desde el módulo ESP32 para comunicación inalámbrica hasta el sensor de flujo y servomotor para controlar la válvula, cada elemento desempeña un papel crucial en el sistema. La pantalla OLED LCD ofrece una interfaz amigable, facilitando configuración y datos claros.

El dispositivo tiene como tarea principal medir el flujo de agua y notificar al sistema experto mediante solicitudes HTTP, detallando la cantidad de litros suministrados. Tras enviar la información, se aguarda un intervalo para que el sistema experto evalúe y registre en la base de datos qué dispositivos deben manipular las válvulas. Estas acciones se repiten en distintos intervalos. Es relevante considerar que, en ciertos momentos del día, el servicio de bombeo puede no estar disponible, por lo que no se realizará ningún ajuste.

En lo que respecta a las reglas establecidas, son gestionadas desde la base de datos, permitiendo modificar parámetros como prioridad, litros o tiempo de manera ágil, sin impactar la funcionalidad de cada uno de los dispositivos en función.

Sistema experto basado en reglas

Un sistema experto basado en reglas es un tipo de sistema de inteligencia artificial que utiliza un conjunto de reglas lógicas o heurísticas para tomar decisiones o proporcionar recomendaciones en un dominio específico. Está diseñado para imitar el razonamiento humano y capturar el conocimiento de un experto en ese dominio particular. El sistema experto basado en reglas consta de dos componentes principales: la base de conocimientos y el motor de inferencia. La base de conocimientos contiene las reglas y los hechos relacionados con el dominio en cuestión. Estas reglas están escritas en un formato Si-Entonces, donde se establece una condición (Si) y una acción (Entonces) que se debe tomar si se cumple esa condición. El motor de inferencia es responsable de aplicar las reglas de la base de conocimientos para llegar a conclusiones o recomendaciones [9]. Utiliza el proceso de inferencia lógica para combinar y evaluar las reglas de acuerdo con los hechos proporcionados. Dependiendo de las respuestas y datos ingresados, el motor de inferencia activa las reglas correspondientes y produce una salida basada en las acciones especificadas en las reglas [10].

ISSN: 2007 8102

Diseño y desarrollo

Para el desarrollo del sistema experto basado en reglas, se ha optado por utilizar el lenguaje de programación C# debido a su versatilidad y amplia adopción en el desarrollo de aplicaciones web. Para facilitar la comunicación entre el sistema experto y el dispositivo IoT, se ha implementado un Web API que aprovecha la versión del Framework .NET 7 para obtener mejoras significativas en el rendimiento y nuevas características que facilitan el desarrollo. El Web API permite el envío y recepción de datos entre el sistema experto y el dispositivo IoT de manera eficiente y segura. Utilizando estándares de comunicación como JSON (JavaScript Object Notation), se asegura una forma estructurada y ligera para intercambiar información. El API expone una serie de endpoints que el dispositivo IoT puede utilizar para enviar datos capturados por sus sensores al sistema experto, así como para recibir instrucciones y ajustes de configuración del sistema. Por ejemplo, el dispositivo IoT puede enviar lecturas de caudal de agua, estado del servomotor, nivel de agua en el tanque, entre otros datos relevantes. El Web API también ofrece endpoints específicos para que el sistema experto envíe reglas y configuraciones actualizadas al dispositivo IoT. De esta manera, el sistema experto puede ajustar la distribución del agua en función de las prioridades, demandas y necesidades de los hogares, y el dispositivo IoT puede adaptar su comportamiento de acuerdo con las reglas establecidas.

Además, para asegurar la autenticidad y la seguridad de las comunicaciones, el Web API utiliza métodos de autenticación y autorización, como tokens de acceso o certificados digitales, dependiendo de los requisitos específicos del sistema. Gracias a la implementación del Web API, el sistema experto y el dispositivo IoT pueden comunicarse de manera fluida y eficiente, permitiendo una distribución equitativa y precisa del agua en los hogares. La tecnología ASP.NET Core MVC y el Framework .NET 7 brindan un sólido marco para la creación y gestión de este tipo de aplicaciones, garantizando un rendimiento óptimo y una escalabilidad adecuada para futuras expansiones y mejoras del sistema. El entorno de desarrollo seleccionado es Visual Studio 2022, una potente herramienta que ofrece un amplio conjunto de funcionalidades para el desarrollo de aplicaciones .NET. Esta elección garantiza una experiencia de programación fluida y productiva, lo que facilita el diseño, implementación y depuración del sistema experto.

Si bien existen tecnologías como Jess o Drools que ofrecen facilidades para crear sistemas expertos basados en reglas, se ha preferido utilizar C# y .NET 7 debido a las necesidades específicas del proyecto. El sistema debe interactuar con un dispositivo donde la comunicación principal se realiza a través de solicitudes HTTP, utilizando el formato estandarizado JSON para el intercambio de datos. La serialización y deserialización de objetos JSON se gestionan de manera eficiente en .NET 7, brindando un mayor control sobre cómo se procesan los datos y facilitando el trabajo con jerarquías de tipos definidos por el usuario. La compatibilidad con los miembros requeridos asegura que la deserialización se realice correctamente, evitando errores y garantizando la integridad de los datos transmitidos [11].

En lo que respecta a los componentes del sistema experto, podemos identificar a los usuarios como los contribuyentes involucrados, mientras que a los expertos se refiere a las personas con conocimientos específicos sobre el proceso de distribución de agua, principalmente los concesionarios. Dentro de la base de conocimientos se encuentran detallados los procedimientos cruciales para la activación o desactivación de una válvula, tales como su estado, prioridad, fecha más reciente de distribución, medición de litros, duración, entre otros factores relevantes. El motor de inferencia se encarga de evaluar y determinar una acción a seguir, teniendo en cuenta todas estas restricciones que provienen de la base de datos, asegurando así un funcionamiento eficiente del sistema.

Motor de inferencia

El motor de inferencia asume la responsabilidad de determinar si la válvula debe abrirse o cerrarse. Este proceso implica la evaluación minuciosa de los datos proporcionados por los dispositivos correspondientes, que se detallan en la tabla 1.

ISSN: 2007 8102

Tabla 1. Definición de variables

Nombre de la variable	Conjunto de posibles valores	Descripción
Fecha distribución (fd)	{ dd / mm / yyyy }	La fecha de distribución. La función getDate() obtiene la fecha actual.
Prioridad (p)	{ 1, 2, 3 ... n}	Valor que indica cual dispositivo tiene mayor importancia.
Litros (L)	{ 1 – n }	El total de litros que midió el sensor.
Tiempo (t)	{ 1 – n }	Tiempo en minutos que lleva el flujo de agua.
Estatus (e)	{ abierto, cerrado }	Estatus de la válvula.
Proceso finalizado (f)	{ true, false }	Cuando ya se distribuyó agua en todas las tomas, vuelve a comenzar la distribución desde la toma que tiene prioridad = 1
Media tiempo de distribución ($\bar{x}t$)	{ n }	Tiempo promedio para la distribución de agua
Media litros de distribución ($\bar{x}L$)	{ n }	Cantidad de litros promedio para la distribución de agua
Configuración (c)	{ litros, tiempo }	Configuración para determinar si la toma de decisiones se basa en el tiempo o en la cantidad de litros
Acción (a)	{ Abrir, Cerrar }	Es la decisión que tomará el sistema experto para la toma de agua

Evaluación de reglas

Con base en la información recopilada acerca de las variables, se presentan en la tabla 2 las reglas y consideraciones esenciales que deben ser tomadas en cuenta en el motor de inferencia.

Tabla 2. Reglas definidas en el sistema experto para la apertura y cierre de la válvula

Reglas para abrir la válvula	
e == "cerrado" && p == 1 && fd != getDate()	a = "Abrir"
e == "cerrado" && p == 1 && fd == getDate() && f == true	
Reglas para mantener la válvula abierta	
e == "abierto" && L < $\bar{x}L$ && c == "litros"	a = "Abrir"
e == "abierto" && t < $\bar{x}t$ && c == "tiempo"	
Reglas para cerrar la válvula	
e == "abierto" && L >= $\bar{x}L$ && c == "litros"	a = "Cerrar"
e == "abierto" && t >= $\bar{x}t$ && c == "tiempo"	

 ISSN: 2007 8102

Reglas para mantener la válvula cerrada	
e == "cerrado" || p != 1	a = "Cerrar"
e == "cerrado" && L >= x̄L && c == "litros" && f == false	
e == "cerrado" && t >= x̄t && c == "tiempo" && f == false	
e == "cerrado" && t fd != getDate()	

Además, hay algunas aclaraciones que facilitan una comprensión más sencilla del proceso de evaluación de las reglas:

- La variable "acción" se refiere a las acciones que deben realizar los dispositivos, mientras que la variable "estatus" se utiliza para registrar el historial en la base de datos.
- Cada vez que una válvula se cierra, se actualiza la prioridad correspondiente al siguiente dispositivo.
- Si durante el transcurso del día no se realiza ninguna distribución a través de una toma, la prioridad se mantiene para el día siguiente.

Resultados y discusión

Publicación y pruebas

Luego de completar el desarrollo del sistema experto, el siguiente paso implica la publicación del proyecto en un servidor IIS (Internet Information Services) para realizar las pruebas correspondientes. Dado que se trata de un proyecto de tipo Web API, no se dispone de una interfaz gráfica para visualizar directamente el proceso de información y los resultados obtenidos. Durante la fase de codificación, se utilizó una herramienta llamada Swagger que viene incluida en el IDE de Visual Studio 2022. Una vez que el proyecto se encuentra en estado publicado, herramientas como Postman se vuelven útiles para facilitar el envío y recepción de información, permitiendo evaluar la funcionalidad en un entorno real. Después de esta etapa, se procedió a configurar los dispositivos para que pudieran acceder a Internet. El módulo ESP32, que incluye una tarjeta WiFi, permitió establecer esta configuración desde el momento mismo de la programación del dispositivo. Es relevante señalar que varios factores pueden influir en el funcionamiento continuo del dispositivo. Por ejemplo, el cambio de contraseña del modem o la sustitución del enrutador debido a daños, lo cual implica modificar el nombre de la red y asignar una nueva contraseña. Por tal motivo, se incorporó una pantalla OLED LCD al dispositivo, que brinda al usuario la posibilidad de configurar los datos de acceso al modem de manera sencilla y conveniente. En la figura 2 se muestra el procedimiento para establecer la búsqueda de redes inalámbricas para realizar la conexión. Cabe aclarar que las pruebas se están realizando en una zona semiurbana donde los servicios de internet son estables gracias a la fibra óptica que implementó el proveedor, sin embargo, en lugares donde no llega el servicio, no podrá ser aplicado el proyecto. Para ellos se están buscando otras alternativas como es la red SigFox.

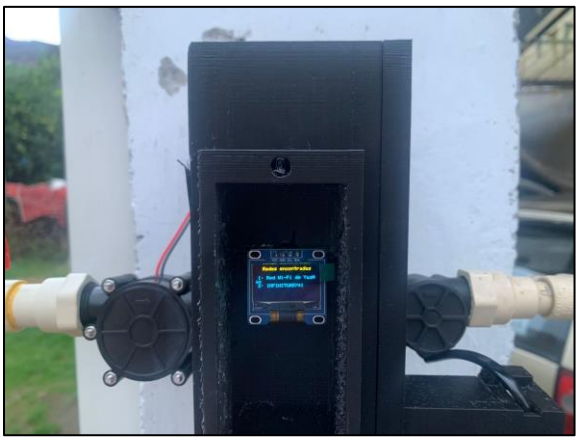


Figura 2. Dispositivo IoT.

ISSN: 2007 8102

Cuando el Web API recibe la información de un dispositivo, almacena dentro de la base de datos y se agrega una etiqueta para indicar que serán evaluados en el siguiente proceso. Esta tarea se realiza en determinados intervalos de tiempo de acuerdo con la configuración que se establezca. El proceso de evaluación involucra el análisis de los datos recibidos a través de la aplicación de las reglas predefinidas. Esto tiene como propósito determinar cuáles tomas de agua pueden acceder al flujo y cuáles requieren cambios de estado. Una consideración fundamental es que los proyectos Web API tienen la capacidad de realizar tareas en segundo plano por medio de solicitudes desde diversos orígenes, aunque estas solicitudes deben ser iniciadas para activar la lectura automática. Para habilitar este flujo, se ha diseñado una aplicación de consola utilizando la tecnología de .NET 7, que incorpora la clase "PeriodicTimer". Esta clase permite la realización de tareas asíncronas, en cada tick lo cual garantiza que en algún momento se ejecutará el código sin problemas de superposición de tareas [12]. En cada ciclo de evaluación, se extraen los datos identificados con la etiqueta correspondiente y se da inicio al proceso de análisis.

Ejecución de sistema experto

Una vez concluido el análisis, los datos son transferidos a un estado de historial. La aplicación emite un mensaje de notificación al finalizar el proceso. En casos en los que no se detecten nuevos registros, la aplicación entra en espera hasta el próximo intervalo de tiempo para recibir información fresca. Este enfoque procura una evaluación continua y precisa de los datos, optimizando la distribución del agua y permitiendo una administración efectiva del sistema en su totalidad. Este enfoque representa un paso significativo hacia la gestión sostenible y equitativa del recurso vital. La figura 3 muestra el resultado de la evaluación. La terminal no enviará la información a los dispositivos, solo muestra una notificación que el proceso concluyó y los cambios ya están listos para que, en la próxima lectura, se apliquen las permutaciones a los dispositivos correspondientes. Este proceso se realizó con 3 tomas en un domicilio cercano, posteriormente, se agregarán más tomas para validar el comportamiento del temporizador y analizar si se requiere el cambio por algo más robusto o la aplicación desarrollada cumple con su objetivo.

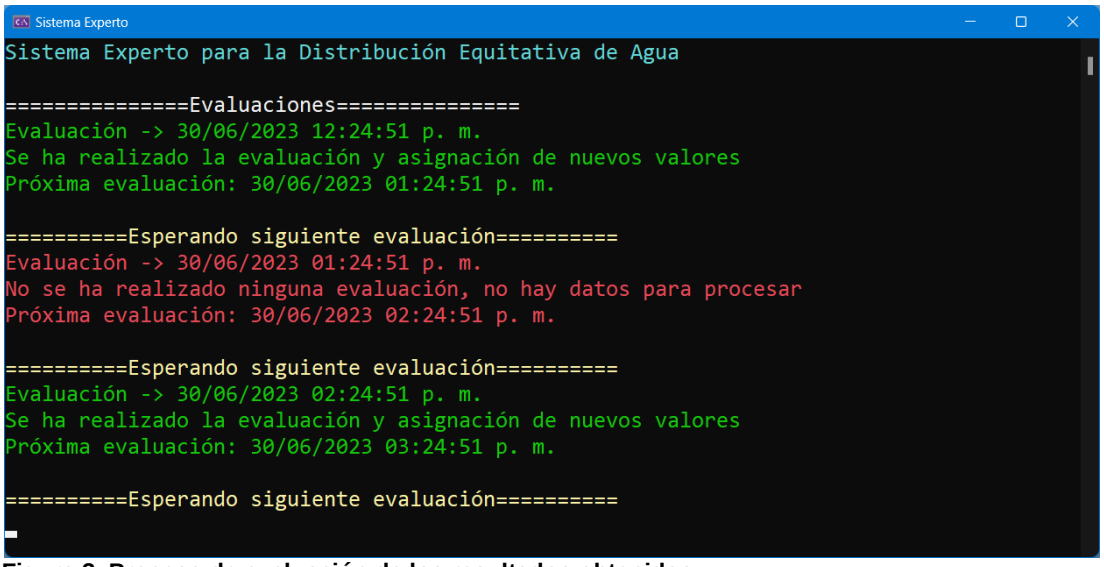


Figura 3. Proceso de evaluación de los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos de la evaluación por parte del sistema experto son almacenados en una tabla para ser consultados por los dispositivos y se realicen las tareas correspondientes. En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos desde una consulta directa a la base de datos.

 ISSN: 2007 8102

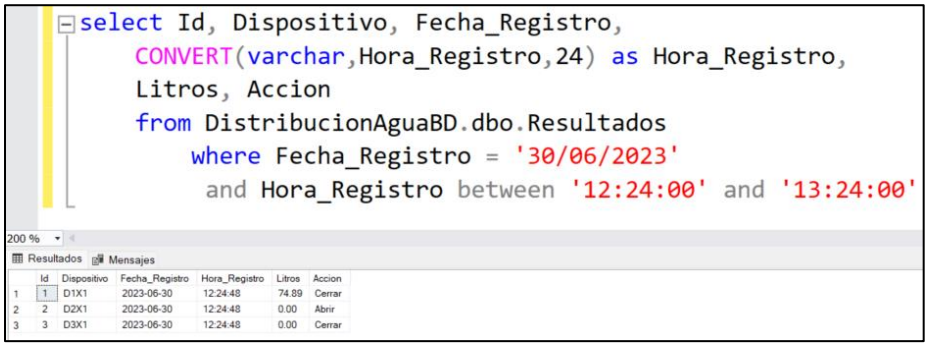


Figura 4. Consulta de los resultados en la base de datos.

Finalmente, se realiza la consulta desde el Web API para tener la certeza que los dispositivos accederán a la información y podrán realizar las acciones correspondientes. En la figura 5 se muestran los resultados ejecutados desde postman.



Figura 5. Consulta de los resultados desde postman.

Como se puede observar, los registros se encuentran disponibles para que los dispositivos lean la información y procedan a realizar los ajustes correspondientes. En los resultados se puede observar que la toma del dispositivo D1X1 ha permitido un flujo de 75 litros aproximadamente en una hora, por lo que es turno de cerrar la llave y abrir la que tiene la siguiente prioridad.

Comparación con datos históricos

Tras completar la instalación de los dispositivos en cada punto de distribución, se procedió a contrastar los datos actuales con el historial de distribución. Es importante destacar que los contenedores se ubican estratégicamente para una evaluación precisa: el primer dispositivo se encuentra en el punto de origen de la distribución, donde el flujo de agua es más elevado; el segundo dispositivo está conectado a un tanque situado dos pisos de altura y el tercero se encuentra al final de la línea principal de distribución. Anteriormente, el segundo punto de distribución experimentaba retrasos en el llenado debido a la falta de presión, mientras que el primero recibía agua de manera constante. En lo que respecta al tercer punto, solo se abastecía de agua cuando el primero estaba a punto de llenarse, ya que un flotador gradualmente cerraba la válvula. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas de tiempo y se registró la cantidad de litros, de la cual se calculó una media que se almacenó en la base de datos. Como se mencionó anteriormente, se lleva a cabo una interrupción programada en el suministro de agua en determinados momentos del día. Esta estrategia se ha implementado con el propósito de redirigir los recursos hacia otras áreas, dado que la demanda comienza a exceder la capacidad de suministro existente en ciertos momentos. En las figuras 6 y 7 se puede observar la distribución antes y después de la instalación del dispositivo.

ISSN: 2007 8102

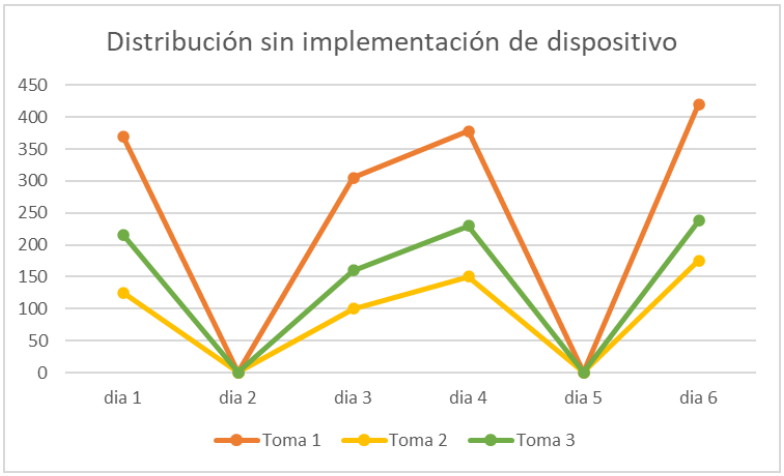


Figura 6. Litros distribuidos sin dispositivo

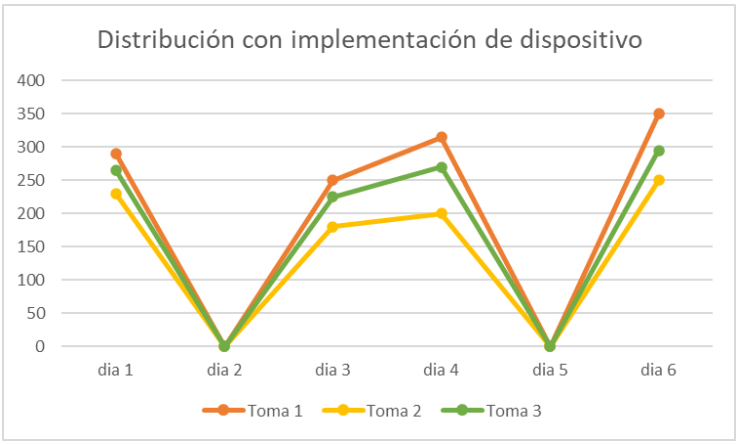


Figura 7. Litros distribuidos con dispositivo

Como se puede apreciar en la figura 6, la toma uno recibe la mayor cantidad de agua, en gran parte debido a su ubicación estratégica, mientras que la toma ubicada en la azotea, debido a su ubicación más elevada que requiere mayor presión, recibe la menor cantidad de agua. Sin embargo, gracias a la intervención del sistema experto, la figura 7 muestra una distribución más equitativa de los litros entre las tomas. Aunque existen diversos factores que pueden influir en que no sea completamente equitativa, se logró incrementar la cantidad de litros recibidos en las tomas 2 y 3. Esto contribuye a la satisfacción del usuario y garantiza un acceso más justo a este recurso esencial. Aunque no es posible detectar fugas de agua o problemas en el sistema debido a que los dispositivos están directamente conectados al tanque de almacenamiento, es posible identificar si el flujo de agua no es constante. Ciertas limitaciones están relacionadas con el diseño del dispositivo y su capacidad de detección.

Trabajo a futuro

El sistema experto está codificado como un proyecto tipo Web API, lo que implica que no cuenta con una interfaz gráfica para visualizar la información. Para realizar pruebas de envío y recepción de datos, se requerirá un cliente HTTP como Postman o Swagger. Además, se tiene previsto implementar una aplicación de tipo ASP.NET Core MVC para proporcionar una interfaz gráfica y visualizar la información. Esta aplicación también integrará la tecnología de SqlDependency, que permite establecer notificaciones entre la aplicación y una instancia de SQL Server cada vez que haya cambios en una tabla de la base de datos. Gracias a esta implementación, se podrá observar la información en tiempo real a través de un Dashboard.

ISSN: 2007 8102

Esto permitirá analizar el consumo de agua y tomar decisiones a nivel gerencial, lo cual resulta esencial para las personas o empresas encargadas de la concesión de agua.

Conclusiones

Tras recopilar la información de los sensores y enviarla al sistema experto mediante el Web API, se confirma que las reglas establecidas se evalúan y leen correctamente por los dispositivos. Con cada nuevo registro, los dispositivos acceden a la información y ejecutan las acciones correspondientes.
La combinación de un sistema experto basado en reglas y un dispositivo electromecánico con conexión a internet (IoT) da lugar a una solución tecnológica autónoma, capaz de tomar decisiones sin intervención humana directa. Un claro ejemplo es el proyecto que aborda la distribución equitativa de agua potable en un grupo específico de hogares, considerando variables clave. Mediante la recopilación de datos a través de sensores, el microcontrolador obtiene información vital sobre el flujo de agua y la transmite al sistema experto mediante el protocolo HTTP para un análisis detallado. Como resultado, el sistema experto responde con indicaciones precisas para abrir o cerrar dispositivos, optimizando así la distribución de agua. La flexibilidad del sistema, apoyada por reglas almacenadas en una base de datos, permite adaptarse a distintos escenarios y variaciones en el suministro de agua. Aunque el proyecto no resuelve por completo la escasez de agua, se brindan las bases para inculcar la conciencia sobre la importancia del cuidado del vital recurso entre la población, contribuyendo a un uso más responsable y sostenible para las generaciones venideras.

Referencias

[1] El País, «La falta de agua castiga a México,» 24 Marzo 2023. [En línea]. Available: https://elpais.com/mexico/2023-03-25/la-falta-de-agua-castiga-a-mexico.html. [Último acceso: 2023 Abril 28].

[2] T. Pastrana Miranda y M. M. González Caamal, «Injusticia ambiental y marginación: la falta de acceso al agua en la Zona Metropolitana del Valle de México,» Territorios, vol. 46, pp. 1 - 25, 2022.

[3] M. Mazari Hiriart y A. Noyola Robles, «La problemática del agua en México,» de Crisis ambiental en México Ruta para el cambio, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2019, pp. 27 - 52.

[4] C. A. Herrera Melo, J. C. Serna Vargas y J. S. González Sanabria, «Sistema basado en reglas para la evaluación de calidad de referencias de artículos científicos,» Información Tecnológica, vol. 33, nº 2, pp. 213 - 223, 2022.

[5] I. Olaniyi Muraina, M. Adeolu Agoi, B. Oghomena Omorojor, A. Ademola Adedokun y R. Olatunde Ajetunmobi, «Decision Making and Machine Learning Algorithms' Selection with Artificial Intelligent Rule-Based Expert System,» International Journal of Research and Scientific Innovation (IJRSI), vol. IX, nº IV, pp. 54 - 60, 2022.

[6] E. M. Saleh, S. M. Elakeili, O. M. Sallabi y H. Elmajpri, «Rule-Based Expert System for Diagnosing Common Childhood Illnesses: Smartphone App to Assist in Curbing the Spread of COVID-19,» ICEMIS'21: The 7th International Conference on Engineering & MIS 2021, nº 33, pp. 1 - 7, 2021.

[7] X. Lan Phung, H. Son Truong y N. Tam Bui, «Expert System Based on Integrated Fuzzy AHP for Automatic Cutting Tool Selection,» Applied Sciences, vol. 9, nº 20, p. 4308, 2019.

[8] RedHat, «¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)?,» 20 Enero 2023. [En línea]. Available: https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot. [Último acceso: 28 Abril 2023].

[9] C. Ponce V y B. Rojas, «Diseño de un Sistema Experto Difuso para la Determinación de la Densidad de Corriente en una Planta de Cromado,» Información Tecnológica, vol. 30, nº 2, pp. 157 - 170, 2019.

[10] M. E. Cabello Espinosa, Arquitectura de pizarrón de un sistema experto ilustrada con el diagnóstico médico, Colima: Universidad de Colima, 2018.

[11] Microsoft, «Novedades de .NET 7,» 12 Marzo 2023. [En línea]. Available: https://learn.microsoft.com/es-mx/dotnet/core/whats-new/dotnet-7. [Último acceso: 08 Mayo 2023].

[12] Microsoft, «PeriodicTimer Class,» [En línea]. Available: https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/API/system.threading.periodictimer?view=net-7.0#definition. [Último acceso: 02 Mayo 2023].

ISSN: 2007 8102

Agente conversacional para la alfabetización digital en el contexto de comercio electrónico

Mario Andrés Paredes Valverde[1], María del Pilar Salas Zárate[1], Luis Omar Colombo Mendoza[1], Humberto Marín Vega[2], Brenda Otero Peralta[1]*
[1]Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, mario.pv@teziutlan.tecnm.mx, maría.sz@teziutlan.tecnm.mx, luis.cm@teziutlan.tecnm.mx, [2]Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, humberto_marin_pd177@zongolica.tecnm.mx, m22te0004@teziutlan.tecnm.mx

***Área de participación**: Sistemas Computacionales*

Resumen

A raíz de la pandemia de Covid-19 la naturaleza de los negocios ha dado un salto enorme hacia el comercio electrónico y la transformación digital. Sin embargo, artesanos y pequeños productores no han podido aprovechar esta transformación debido a que cuentan con un acceso y conocimiento mínimos sobre alfabetización digital. Afortunadamente, existen agentes conversacionales enfocados en asistir a los humanos en el desarrollo eficiente de sus actividades y requieren un nivel bajo de alfabetización digital para interactuar con ellos. Este trabajo propone una arquitectura tecnológica para el desarrollo de un agente conversacional para la alfabetización digital en el contexto de comercio electrónico. Este agente pretende contribuir a mejorar las habilidades digitales de estos grupos relacionadas con la búsqueda y publicación de productos en distintas plataformas y de esta forma contrarrestar problemas tales como intermediarios o revendedores, regateo y precios injustos.

***Palabras clave**: Agente conversacional, alfabetización digital, comercio electrónico.*

Abstract

In the wake of the Covid-19 pandemic, the nature of business has taken a huge leap towards e-commerce and digital transformation. However, artisans and small producers have not been able to take advantage of this transformation due to minimal access and knowledge of digital literacy. Fortunately, there are conversational agents that focus on helping humans in the efficient development of their activities and require a low level of digital literacy to interact with them. This paper proposes a technological architecture for the development of a conversational agent for digital literacy in the context of e-commerce. This agent aims to contribute to improve the digital skills of these groups related to the search and publication of their products in different platforms and thus counteract problems such as intermediaries or resellers, bargaining and unfair prices.

***Keywords**: Conversational agent, digital literacy, e-commerce.*

Introducción

A raíz de la pandemia de Covid-19 la economía de diversos países ha sido afectada enormemente y el sector artesanal no ha sido la excepción ya que, de acuerdo con la Unión de Artesanos del Estado de Puebla, las ventas en este sector cayeron un 95%, lo que ha puesto en riesgo su trabajo e incluso los ha llevado a malbaratar sus artesanías con revendedores para poder subsistir. De acuerdo con [1], los revendedores o intermediarios representan uno de los principales problemas que aquejan al sector artesanal, hecho con el que coincide el Fondo Nacional para el Fomento de las Artesanías (FONART) quien argumenta que los intermediarios aprovechan la falta de canales de distribución para quedarse con las mayores ganancias, dejando al productor con un margen de ganancia muy estrecho. Es por esto por lo que el comercio electrónico representa una estrategia de alta incidencia y beneficio para la economía de los grupos en cuestión pues permite generar nuevos canales de comercialización más directa con los productores, incrementando así sus ganancias [2].

Sin duda alguna, la naturaleza de los negocios ha dado un salto enorme hacia el comercio electrónico y la transformación digital en los últimos años. Sin embargo, gran parte de la población que habita en zonas rurales, tales como artesanos y pequeños productores, no han podido aprovechar esta transformación debido a que

cuentan con un acceso y conocimiento mínimos sobre alfabetización digital [3]. Para contrarrestar este problema, muchos investigadores coinciden en que la capacitación representa una de las mejores formas proporcionar una comprensión sobre la importancia del comercio electrónico para el desarrollo de sus negocios [3]. Impulsar la inclusión de este grupo de personas en el mundo digital y particularmente en el comercio electrónico es una tarea de suma importancia para la mejora de sus condiciones de vida y el impulso de la economía de sus regiones.

Las interfaces de usuario computacionales tradicionales requieren de una interacción estructurada para su correcto funcionamiento, es decir, el usuario necesita conocer las funcionalidades ofrecidas y cómo llevarlas a cabo, lo que hace que su uso no sea natural y, a veces, se convierta en una tarea difícil. Afortunadamente, en los últimos años surgieron los agentes conversacionales que pueden ser definidos como programas computacionales que generalmente utilizan Inteligencia Artificial para imitar las interacciones humanas [4]. El objetivo de los chatbots es asistir a los humanos en el desarrollo eficiente de sus actividades y requieren un nivel bajo de alfabetización digital para interactuar con ellos [5]. Estos agentes han sido implementados en múltiples contextos para facilitar la interacción con usuarios y proveer experiencias de usuario óptimas gracias a la disponibilidad 24/7 y a la proporción de respuestas consistentes al instante.

Considerando la problemática antes discutida y la existencia de tecnologías que pueden ser potencialmente utilizadas para su solución, este trabajo propone una arquitectura tecnológica para el desarrollo de un agente conversacional para la alfabetización digital de artesanos y pequeños productores en el contexto de comercio electrónico. Este trabajo pretende brindar a los pequeños productores y artesanos de la Sierra Nororiental del Estado de Puebla un agente conversacional que contribuya a mejorar sus habilidades digitales para la búsqueda y publicación de sus productos en distintas plataformas de comercio electrónico y de esta forma contrarrestar problemas tales como intermediarios o revendedores abusivos, regateo y precios injustos. Además, esta herramienta permitirá responder de manera inmediata a las inquietudes de los usuarios las 24 horas del día requiriendo solo una baja cantidad de alfabetización digital para interactuar.

La estructura de este documento es descrita a continuación. El siguiente capítulo describe los trabajos más relevantes en torno a la alfabetización digital de grupos vulnerables mediante el uso de agentes conversacionales, después, la arquitectura propuesta para el desarrollo del agente conversacional en el contexto de comercio electrónico es descrita, así como un caso de estudio. Finalmente, se presenta el trabajo a futuro y las conclusiones obtenidas.

Estado del arte

Mejorar la inclusión de grupos vulnerables en el mundo digital es una tarea de suma importancia para la mejora de sus condiciones de vida. Actualmente, existen distintos esfuerzos que apuntan a la alfabetización digital de mujeres y adultos mayores en diversos contextos a través de agentes conversacionales. Por ejemplo, en [6], analizan el uso de plataformas digitales por parte de adultos mayores del área metropolitana de Bangkok y seis regiones de Tailandia. Con base en los hallazgos diseñaron y desarrollaron un chatbot que contenía medios de aprendizaje y diversas funciones de servicio para mejorar la alfabetización digital en dicha población. En [7], presentan un chatbot multilingüe para el apoyo de grupos de autoayuda de mujeres rurales en la India, concretamente mujeres costeras. Este chatbot surgió como respuesta al incremento masivo de la red de grupos de autoayuda que llegó a expandirse en muchos estados de la India para quienes era difícil su ejecución y mantenimiento.

En el contexto financiero existen esfuerzos por implementar chatbots, tal es el caso de [8], donde analizan el uso de esta tecnología como herramienta de transformación digital para mejorar la inclusión financiera de adultos en Nigeria en mercados emergentes. Tras un análisis de los chatbots utilizados por distintas empresas concluyen que es necesario generar estrategias de creación de contenido que permitan una participación adecuada de los usuarios. Por otro lado, Skillbot [9] es un chatbot construido en Telegram cuyo objetivo es enseñar alfabetización digital, alfabetización financiera, servicios ciudadanos y gestión de datos. De acuerdo con sus autores, Skillbot podría ayudar a jóvenes sin educación y desempleados a aprender las habilidades antes mencionadas a su propio ritmo a través de recursos multimedia tales como audios, infografías, tarjetas didácticas, cuestionarios interactivos, entre otros.

El área de la salud también ha aprovechado el uso de chatbots para resolver problemas relacionados con la gran cantidad de pacientes a quienes dar atención, por ejemplo, en [10], proponen el uso de agentes conversacionales

para reducir la disparidad existente en cuestiones de salud en la comunidad afroamericana en términos de acceso a cuidados de la salud y al tratamiento de enfermedades. Esta tecnología es implementada debido a su efectividad para diseminar información de salud entre la población con baja alfabetización en dicha área. Por otro lado, en [11] desarrollaron un chatbot que proporciona información sobre el VIH (Virus de Inmunodeficiencia Adquirida) y protección dual es decir anticonceptivos efectivos y opciones para prevenir el VIH. Este chatbot apoya a mujeres entre 15 y 49 años de la localidad de Luzaka, Zambia. Los resultados de la implementación de esta herramienta arrojaron que el 83% de los usuarios aprendieron nueva información acerca de dicho virus.

Sin duda alguna, los trabajos de investigación antes descritos representan un gran esfuerzo por incluir en el mundo digital a grupos vulnerables tales como mujeres y adultos mayores. Estos trabajos implementan tecnologías de última generación tales como chatbots que intentan facilitar la interacción e involucrar en mayor medida al usuario con el objetivo de proveer una experiencia óptima de aprendizaje. Con respecto a México, existen esfuerzos por parte del gobierno para apoyar a los artesanos, tal es el caso de Artesanal MX, una iniciativa que busca que artesanos accedan al comercio electrónico, acompañados siempre por la Secretaría de Economía y Mercado Libre para que aprendan paso a paso cómo abrir una cuenta, cómo publicar un producto, cómo enviarlo y cómo utilizar el sistema. A pesar de esto, no se halló un trabajo que provea de un agente conversacional enfocado en la alfabetización digital en el contexto de comercio electrónico a artesanos y pequeños productores, grupo poblacional que desafortunadamente se encuentra en situaciones de exclusión o vulnerabilidad con respecto a su participación en el desarrollo económico de su región. Este trabajo propone una arquitectura para el desarrollo de un sistema basado en un agente conversacional que contribuya a dar solución a dicho problema.

Agente conversacional para la alfabetización digital en el contexto de comercio electrónico

El diseño de la propuesta aquí descrita se basó en información recolectada a través de entrevistas realizadas a artesanos en torno a los canales de difusión y distribución de sus productos, el uso de plataformas de comercio electrónico, medios digitales de pago, uso de terminales bancarias, servicios de internet y el uso de dispositivos como computadora y teléfonos inteligentes para la comercialización de sus productos. Entre los resultados de las entrevistas destacan los siguientes puntos: (1) el uso de medios como WhatsApp y Facebook Marketplace para la venta de sus productos a nivel local donde las ventas en muchas ocasiones no son las esperadas; (2) el poco uso de plataformas de comercio electrónico como Amazon y MercadoLibre lo que no permite la comercialización de sus productos a nivel nacional e internacional; (3) poca experiencia en la comercialización de sus productos a través de medios digitales empleando tanto computadora como teléfonos inteligentes y, (4) un alto interés por usar distintas plataformas de comercio electrónico para promocionar sus productos e incrementar sus ventas.

Considerando los hallazgos descritos en el párrafo anterior, este proyecto pretende que un mayor número de artesanos y productores independientemente de su experiencia en el uso de computadoras y/o teléfonos inteligentes así como de plataformas de comercio electrónico promocionen y comercialicen sus productos a través de estas logrando con ello llevar sus productos a los mercados nacional e internacional y así incrementar sus ventas. A continuación, se describe la arquitectura propuesta para el desarrollo de un sistema basado en un agente conversacional que permita mejorar la alfabetización digital en el contexto de comercio electrónico entre artesanos y pequeños productores. La Figura 1 muestra la arquitectura la cual adopta el modelo arquitectónico MVC (Modelo-Vista-Controlador) que permite separar adecuadamente las funcionalidades relacionadas con datos, lógica de negocio e interfaces de usuario. A su vez, cada capa cuenta con un conjunto de módulos cuya funcionalidad es descrita de manera precisa a continuación.

Capa de datos

La capa de datos almacena los medios de aprendizaje que son diseñados y desarrollados con base en un análisis del uso de plataformas digitales de comercio electrónico realizado a un grupo de pequeños productores y artesanos. Este análisis consideró entrevistas realizadas tanto de manera grupal como individual en torno a los siguientes puntos: productos o servicios ofrecidos, proceso de producción o de servicios actuales, mecanismos de venta, preparación del producto para envío, plataformas públicas y redes sociales, toma de fotografías para la promoción y venta de productos y servicios, medios digitales de cobro, por mencionar algunos. Los recursos generados están enfocados en el desarrollo de las tareas antes mencionados realizadas a través de diferentes dispositivos como computadoras de escritorio, tabletas electrónicas y teléfonos inteligentes, es decir, dependiendo del dispositivo con el que trabaje el usuario serán los recursos ofrecidos por el agente

conversacional. Los recursos generados son validados por expertos en el área tomando en cuenta criterios tales como congruencia, claridad y facilidad de comprensión, así como diseño y adaptación al público objetivo.

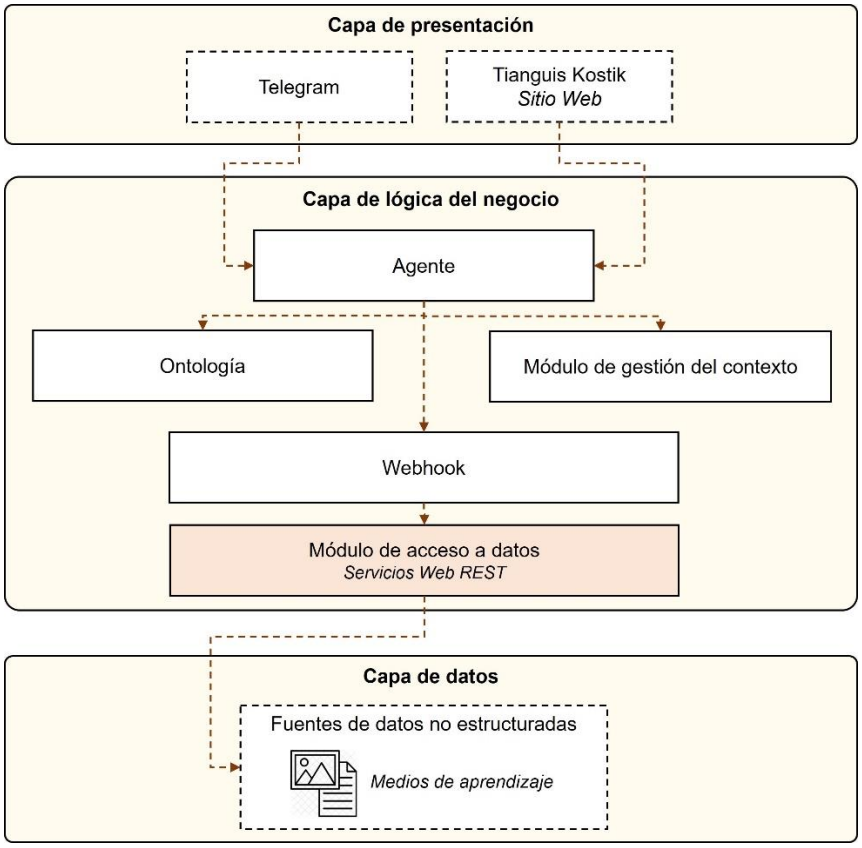


Figura 1. Arquitectura para el desarrollo de un sistema de alfabetización digital basado en un agente conversacional.

Capa de negocios

Módulo de acceso a datos. Este módulo provee un acceso simple, centralizado y abstracto al almacenamiento persistente permitiendo así despreocuparse de la forma en que los datos estén almacenados, es decir, sin importar si estos están en una base de datos estructurada, semi estructurada o no estructurada. Este módulo cuenta con un conjunto de servicios Web basados en REST que permiten el acceso a la base de datos de los usuarios registrados y de los recursos multimedia que darán soporte al proceso de alfabetización digital a través del agente conversacional.

Webhook. Un webhook es una devolución de llamada HTTP definida por el usuario que puede almacenar y recuperar datos de un evento [12]. Este componente actúa como un enlace entre la capa de acceso a datos y el motor del agente conversacional, es decir, cuando el agente conversacional detecta una intención por parte del usuario final, este solicitará al repositorio los recursos multimedia correspondientes que faciliten la comprensión de la tarea.

Agente. Este elemento lleva a cabo las conversaciones con el usuario a fin de traducir el texto o audio proporcionado a datos estructurados que los módulos subyacentes de este sistema puedan entender. Para ello implementa técnicas de PLN (Procesamiento de Lenguaje Natural) para identificar la intención del usuario, es decir, qué es lo que el usuario desea conocer, por ejemplo, el usuario puede solicitar información acerca del proceso para modificar el precio de un producto publicado o habilitar la opción de pago a meses sin intereses. En otras palabras, la intención del usuario puede considerarse como casos de uso del agente conversacional. El agente define un gran número de intenciones que, al combinarse, permitir gestionar una conversación completa para el desarrollo de una tarea. Algunas de las intenciones soportadas por este agente son la creación de cuentas, publicación de productos, mecanismos de pago, consulta de historial de ventas y visitas, control de stock, gestión

ISSN: 2007 8102

de reclamos, posicionamiento de productos, impuestos, envío y entrega de productos, entre otros puntos. La primera versión de este agente contempla las actividades antes mencionadas para las plataformas de Mercado Libre y Amazon. Otro punto por destacar del procesamiento que realiza el agente a la expresión del usuario es la identificación de entidades, es decir, ciertos parámetros que pueden ayudar a determinar la acción o siguiente intención del usuario. Algunos ejemplos de entidades son nombres propios, lugares, horas, fechas, correos electrónicos, y, en el caso particular de este sistema nombres de marcas, tareas, elementos del proceso de compra de productos, entre otros. Para mejora el reconocimiento de estas entidades, se desarrolló una ontología de la cual se habla a continuación.

Ontología. Una ontología es la forma concreta de una conceptualización del conocimiento de una comunidad sobre un dominio [13], en otras palabras, una ontología describe formalmente la estructura de un dominio a través de una jerarquía de conceptos y sus relaciones. Para los fines de este proyecto, se desarrolló una ontología que describe el contexto de venta de productos en plataformas de comercio electrónico con el objetivo de permitir al agente identificar los principales conceptos del dominio contenidos en las conversaciones con el usuario final. El desarrollo de la ontología siguió el proceso definido en [14], el cual contempla tareas tales como determinar el dominio y alcance de la ontología, considerar ontologías existentes, definir clases y jerarquías, definir propiedades de las clases, definir límites de las clases y generar instancias. Con respecto a la segunda tarea del proceso antes mencionado, se realizó una búsqueda en la literatura de ontologías en el contexto de comercio electrónico que tuvieran relación con los objetivos de este proyecto tras lo cual, se consideró la ontología propuesta en [15]. La versión actual de la ontología contiene clases tales como entidad (comprador, vendedor, intermediario), plataforma, marca, operación (comprar, administrar, vender, entregar, evaluar, publicar, entre otras), mecanismos de pago (efectivo, tarjeta de crédito, tarjeta de débito, entre otros) así como productos y gran parte de sus categorías, entre otras clases.

Módulo de gestión del contexto. Durante la conversación establecida entre el usuario y el agente ocurre un conjunto de transiciones que son gestionadas por el agente para ofrecer una respuesta adecuada al usuario. Por ejemplo, para el caso específico de este agente, si el usuario quiere publicar uno de sus productos en su cuenta de Mercado Libre para su venta, el diálogo entre el agente y el usuario es relativamente largo, por lo que es necesario que el agente conozca en todo momento el estado actual de la conversación para determinar qué acción desarrollar o que mensaje debe ofrecerse al usuario para continuar con el proceso. El módulo de gestión del contexto es el encargado de gestionar el flujo de la conversación a través de los contextos de salida y de entrada. Por un lado, los contextos de salida se activan una vez detectada la intención, por ejemplo, si el usuario solicita crear una cuenta de Amazon, se detecta la intención “Crear cuenta Amazon” cuyo contexto de salida es “Amazon” convirtiéndose este en el contexto activo de la conversación. Por otro lado, los contextos de entrada permiten controlar la detección de coincidencias con intenciones del usuario, por ejemplo, si el usuario pregunta qué información requiere para registrarse, el agente detecta la intención “registrar” y, considerando que el estado activo es “Amazon”, mostrará la información específica para el registro en Amazon.

Capa de presentación

El agente conversacional está diseñado para trabajar con las plataformas de Telegram y el tianguis electrónico Kostik.bz, una plataforma de comercio electrónico desarrollada por el NODESS “Ecoturismo y su cadena de valor” como una alternativa más para los artesanos y pequeños productores de la Sierra Nororiental de Puebla. Gracias a las tecnologías implementadas, el agente contará con mecanismo de interacción multimodal, es decir, permitirá al usuario interactuar a través de texto o audio de tal forma que los usuarios pueden interactuar con el agente sin tanto esfuerzo. Además, las respuestas otorgadas al usuario por parte del agente podrán incluir imágenes o videos cortos de los pasos para la publicación, promoción y venta de productos en las plataformas de comercio electrónico seleccionadas con el objetivo de facilitar el desarrollo y aprendizaje de estas tareas.

Caso de uso

Actualmente, existe un gran número de plataformas para el desarrollo de agentes conversacionales tales como Bot Framework de Microsoft, Lex de Amazon, Watson de IBM, Dialogflow de Google, Chatterbot, entre otras [16]. Para el desarrollo del agente conversacional se empleará Dialogflow la cual es una plataforma con comprensión del lenguaje natural que permite diseñar y desarrollar interfaces de usuario de conversación e integrarlas a diversos canales tales como Facebook Messenger, Telegram, Google Chat, Slack, Skype, Twitter, sitios Web, entre otros. La Figura 2 presenta un caso de uso del agente conversacional que describe el flujo de interacción y

 ISSN: 2007 8102

el rol que juega cada uno de los módulos antes descritos. A continuación, se describe de manera detallada cada uno de los puntos numerados en la Figura 2 mismos que corresponde con el orden de interacción.

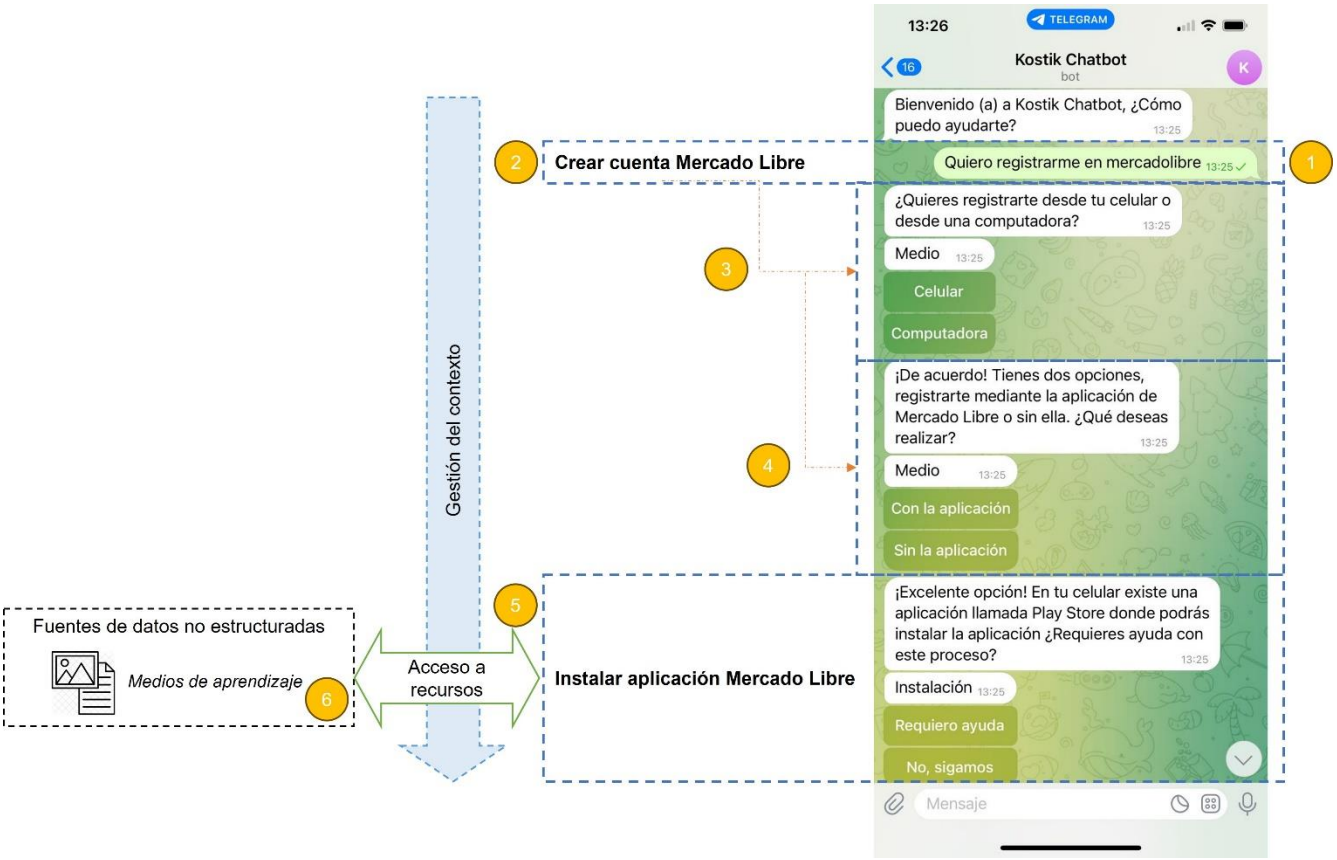


Figura 2. Diagrama de flujo del agente conversacional.

1. Para iniciar la interacción, el usuario debe ingresar la consulta que desea realizar, lo cual será llamado de ahora en adelante como expresión del usuario. Como se puede apreciar en la Figura 2, el usuario desea crear su cuenta de Mercado Libre.
2. Una vez recibido el mensaje del usuario, el agente lo analiza mediante técnicas de PLN para determinar la intención del usuario y las entidades contenidas en dicha petición. En este caso, la intención detectada corresponde a “Crear cuenta Mercado Libre”. Algo a destacar es el hecho de que no es necesario que el usuario escriba literalmente las palabras “Mercado Libre” para que el agente pueda identificar la intención, ya que este implementa el uso de sinónimos, expresiones regulares y coincidencias parciales para poder reconocer entidades, por ejemplo, para este caso el agente podría relacionar las palabras “mercado libre”, “mercadolibre”, “MERCADOLIBRE”, entre otras, con la entidad “Mercado Libre”. Como se mencionó anteriormente, la expresión del usuario generalmente contiene entidades, en este caso la de “Mercado Libre”, la cual ayuda a determinar la acción o la siguiente intención del usuario.
3. En este punto se aprecia lo que se conoce como Respuesta que no es más que texto, palabras y/o elementos visuales que se devuelven al usuario y que pueden representar la respuesta final a su petición o servir para solicitar más información que permita proporcionar una mejor respuesta. En este caso, la respuesta otorgada corresponde al segundo caso, es decir, se solicita al usuario más información respecto a si el registro que quiere realizar lo desea hacer mediante su teléfono inteligente o mediante una computadora. Esta respuesta contiene un elemento que permite al usuario seleccionar la opción que desea sin la necesidad de escribir una palabra más, es decir, “Celular” o “Computadora”.
4. En este caso, el agente proporciona una respuesta conocida como intención de seguimiento para establecer un contexto que permita determinar al agente qué flujo seguir para determinar si el flujo debe ser el de registrarse a través de la aplicación web o a través de un navegador. Nuevamente, el agente proporciona al usuario botones para ambas opciones para que el usuario no requiera escribir más palabras, así como guiar al usuario durante el flujo de la conversación.

5. Una vez que se ha establecido el contexto (crear cuenta de Mercado Libre mediante la aplicación móvil) el agente guiará al usuario durante todo este proceso intentando explotar el uso de intenciones de seguimiento para que la necesidad del usuario sea atendida.
6. Uno de los elementos característicos del presente agente conversacional, es el de contar con un repositorio de medios de aprendizaje que serán provistos al usuario a fin de facilitar cada uno de los procesos soportados. El agente proporcionará imágenes o videos cortos que resaltan la ubicación de los elementos (botones, cajas de texto, iconos, entre otros) necesarios para llevar a cabo la tarea.

El módulo de gestión del contexto, como su nombre lo indica, gestiona de manera adecuada las transiciones que ocurren en la conversación a través del establecimiento del contexto, proceso detallado en la sección anterior. Además, el proceso de interacción entre el usuario y el agente conversacional no demanda un alto nivel de alfabetización digital.

Trabajo a futuro

En este trabajo se describió la propuesta de un sistema basado en un agente conversacional para la alfabetización digital en el contexto de comercio electrónico, como trabajo a futuro se planea el desarrollo e implementación de este agente a través de Facebook Messenger y Telegram para su uso por parte de artesanos, pequeños productores y prestadores de servicio relacionados con el ecoturismo de la región de Cuetzalan del Progreso, Puebla. La introducción de esta herramienta será un gran reto debido a que representa un cambio significativo en la forma en que este grupo aprende nuevos conocimientos y habilidades, es decir, pasará de un proceso de aprendizaje interpersonal a uno basado en tecnologías digitales que demandan y refuerzan su autonomía. Para el desarrollo, implementación y pruebas del agente conversacional será necesario evitar generar un diseño centrado en aquellas barreras existentes entre el usuario y la aplicación ya que estas podrían marginar al grupo de usuarios objetivo al suponer que son menos capaces de utilizar las tecnologías digitales en comparación con otro grupo con un nivel más alto de alfabetización digital [17]. En este sentido, se planea analizar los patrones de interacción y la percepción de los usuarios respecto al uso de la herramienta con el objetivo de retroalimentar el trabajo desarrollado e incluir las mejoras pertinentes que permitan evitar el problema antes mencionado.

Conclusiones

Los resultados de las entrevistas realizadas resaltan los retos a los que se enfrentan los artesanos y la necesidad de mitigarlos a través de tecnologías incluyentes que permitan comercializar productos en plataformas de comercio electrónico sin importar el nivel de experiencia en el uso de computadores y/o teléfonos inteligentes, lo que supone potenciales beneficios. Si bien, este proyecto surgió como parte del trabajo realizado por el NODESS (Nodo de impulso a la Economía Social y Solidaria) “Ecoturismo y su cadena de valor” que busca, entre otras cosas, impulsar a los artesanos de la Sierra Nororiental del Estado de Puebla a través de tecnología, el agente conversacional por desarrollar podría ser utilizado por otros usuarios como pequeños productores y público en general que no cuenten con un alto nivel de alfabetización digital. Sin embargo, será importante que se establezcan estrategias adecuadas para que los usuarios de este agente se adapten a su uso y se les concientice acerca de las ventajas otorgadas para la solución de sus tareas. Uno de los principales retos que deberán abordar estas estrategias es el correcto diseño de los medios de aprendizaje ya que estos deben apoyar adecuadamente la localización de los elementos gráficos para desempeñar las diversas tareas así como el análisis de la información presentada. Finalmente, es importante mencionar que la adopción del comercio electrónico por parte de estos grupos traerá consigo otros beneficios como la promoción y preservación del patrimonio cultural del país.

Agradecimientos

Los autores agradecen al TecNM/ITS Teziutlán y al TecNM/ITS Zongolica por el apoyo otorgado para la realización de este proyecto, así como al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el apoyo otorgado a través de la Convocatoria 2023: Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación. También agradecen al NODESS (Nodo de impulso a la Economía Social y Solidaria) “Ecoturismo y su cadena de valor” por el apoyo otorgado para el desarrollo de este trabajo.

Referencias

ISSN: 2007 8102

[1] A. Guadalupe Marroquin and I. Hitzamal Vásquez Ramírez Osiel Villegas Clemente, “Principales Problemas Que Enfrentan Los Artesanos Textiles En 5 Comunidades De Los Valles Centrales De Oaxaca,” *Cathedra et Scientia. International Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 107–115, 2019.

[2] K. M. G. Castañeda, “Una llave potencial para la economía social y artesanal: E-commerce,” *Interconectando Saberes*, vol. 6, no. 12, pp. 193–199, Jul. 2021, doi: 10.25009/IS.V0I12.2719.

[3] Y. Kartika, S. Tahalele, M. Yunita Tanzil, and F. R. Toreh, “The importance of e-commerce on the development of micro, small and medium enterprises (MSMES) in the rural area during COVID-19,” *International Journal of Economics, Business and Accounting Research (IJEBAR)*, vol. 5, no. 4, Dec. 2021, doi: 10.29040/IJEBAR.V5I4.3012.

[4] Y. Li *et al.*, “Feasibility and effectiveness of artificial intelligence-driven conversational agents in healthcare interventions: A systematic review of randomized controlled trials,” *Int J Nurs Stud*, vol. 143, p. 104494, Jul. 2023, doi: 10.1016/J.IJNURSTU.2023.104494.

[5] B. I. Ouatu and D. Gifu, “Chatbot, the future of learning?,” *Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol. 197, pp. 263–268, 2021, doi: 10.1007/978-981-15-7383-5_23/COVER.

[6] K. Sriwisathiyakun and C. Dhamanitayakul, “Enhancing digital literacy with an intelligent conversational agent for senior citizens in Thailand,” *Educ Inf Technol (Dordr)*, vol. 27, no. 5, pp. 6251–6271, Jun. 2022, doi: 10.1007/S10639-021-10862-Z/TABLES/7.

[7] S. Anand, M. Karthikeya, A. M. Abhishek Sai, and O. Balamurali, “Multi-Lingual Hybrid Chatbot for Empowering Rural Women Self-Help Groups in India,” *2023 International Conference for Advancement in Technology, ICONAT 2023*, 2023, doi: 10.1109/ICONAT57137.2023.10080347.

[8] A. Abdulquadri, E. Mogaji, T. A. Kieu, and N. P. Nguyen, “Digital transformation in financial services provision: a Nigerian perspective to the adoption of chatbot,” *Journal of Enterprising Communities*, vol. 15, no. 2, pp. 258–281, 2021, doi: 10.1108/JEC-06-2020-0126/FULL/XML.

[9] T. Sircar, O. Manzar, and S. Kazi, “Using Skill Chatbot to Address India’s Skill Shortage and Unemployment,” Aug. 2022, doi: 10.56059/PCF10.553.

[10] J. Kim, S. Y. Park, and L. P. Robert, “Bridging the Health Disparity of African Americans Through Conversational Agents,” *Digital Government: Research and Practice*, vol. 2, no. 1, Nov. 2020, doi: 10.1145/3428122.

[11] E. A. Yam *et al.*, “Developing and Testing a Chatbot to Integrate HIV Education Into Family Planning Clinic Waiting Areas in Lusaka, Zambia,” *Glob Health Sci Pract*, vol. 10, no. 5, Oct. 2022, doi: 10.9745/GHSP-D-21-00721.

[12] J. Cordero, L. Barba-Guaman, and F. Guamán, “Use of chatbots for customer service in MSMEs,” *Applied Computing and Informatics*, vol. ahead-of-print, no. ahead-of-print, 2022, doi: 10.1108/ACI-06-2022-0148/FULL/PDF.

[13] R. Stevens, C. A. Goble, and S. Bechhofer, “Ontology-based knowledge representation for bioinformatics,” *Brief Bioinform*, vol. 1, no. 4, pp. 398–414, Nov. 2000, doi: 10.1093/BIB/1.4.398.

[14] N. F. Noy, D. L. McGuinness, and others, “Ontology development 101: A guide to creating your first ontology.” Stanford knowledge systems laboratory technical report KSL-01-05 and~…, 2001.

[15] A. I. La Paz, A. Ramaprasad, T. Syn, and J. Vasquez, “An Ontology of E-Commerce - Mapping a Relevant Corpus of Knowledge,” *Journal of theoretical and applied electronic commerce research*, vol. 10, no. 2, pp. i–ix, 2015, doi: 10.4067/S0718-18762015000200001.

[16] S. Perez-Soler, S. Juarez-Puerta, E. Guerra, and J. De Lara, “Choosing a Chatbot Development Tool,” *IEEE Softw*, vol. 38, no. 4, pp. 94–103, Jul. 2021, doi: 10.1109/MS.2020.3030198.

[17] I. Mannheim *et al.*, “Inclusion of Older Adults in the Research and Design of Digital Technology,” *Int J Environ Res Public Health*, vol. 16, no. 19, Oct. 2019, doi: 10.3390/IJERPH16193718.

ÁREA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA

ED1 **Implicaciones positivas y negativas de la profesionalización y actualización docente. Estudio de caso: escuela primaria** ED04
Rodrigo Urcid

ED 2 **La incidencia social: Análisis sobre proyectos educativos en la educación superior en méxico** ED12
Brenda Crystal Suárez Espinosa and Gilberto Chávez Esquivel

ED 3 **Nivel de satisfacción en los estudiantes de una IES del Estado de México** ED19
Arely Gorostizaga and Lucia Beltrán

ED 4 **Orientaciones para evaluar formativamente y mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje** ED27
Willian Orlando Vargas Paredes and José Andrés Castillo Hernández

ED 5 **Propuesta educativa medida por tecnología desde una metodología activa: propuesta aula invertida Microsoft** ED35
Elfer Isaias Clemente Camacho, Juan Carlos Niños Torres, María Guadalupe Monjarás Velasco, Brenda Lizet Pérez Chacón and María Delina Culebro Farrera

ED 6 **Análisis de la enseñanza del sistema de referencia cartesiano** ED45
Wilmar Epifanio Gómez Moyano y José Andrés Castillo Hernández

ED 7 **Estrategia de aprendizaje práctico durante estadía técnica: Diseño e implementación de redes inalámbricas con radioenlaces.** ED55
Adriana Pérez López, Samuel Martínez Ramos, Magdaleno Martínez Demetrio, Oscar Luna Santiago and Jorge Luis Sebastián Rojas

ED 8 **Análisis comparativo del rendimiento académico en las modalidades educativas impartidas en el TecNM/ITSLP** ED65
Angela Rebeca Garcés Rodríguez, María Leonor Rosales Escobar and María Eugenia Navarrete Sánchez

ED 9 **Investigación y Desarrollo Profesional en los Alumnos del TecNM** ED74
Elena Maria Pulido Balandra, Lorena Elizabeth Balandra Aguilar, Ana Wendy Gomez Flores, Gladys Valdes Colunga and Mayra Leticia Ojeda Cruz

ED 10 **Estudio de iluminacion y ruido en institución de educación superior de la comarca lagunera** ED82
Ruth De La Peña Martinez, Jose Ruiz Ayala, Luis Héctor García Muñoz, Antonio De Santiago Barragan and Jose Alejandro Valdivia Gaona

ED 11 **Aplicación de la inteligencia artificial como apoyo en el aprendizaje de estudiantes de nivel licenciatura** ED95
Ma. Elena Montes Almanza, Ma. del Consuelo Frias Maldonado, María Luisa Montes Almanza, Pedro Celestino Ramírez and José de Jesús Gómez Benavides

ED 12 **Divulgación de proyectos y su impacto en el desarrollo de habilidades blandas a nivel licenciatura** ED103
José de Jesús Gómez Benavides, Ma. del Consuelo Frias Maldonado, Ma. Elena Montes Almanza, María Luisa Montes Almanza and Pedro Celestino Ramírez

ED 13 **Evaluación de la satisfacción de alumnos en el proceso de inscripción o reinscripción del ITSCH** ED112
Martha Garduza Lázaro, Zoila Flor Cruz Pérez, María Isabel Reyes Herrera, Elda Jacinto Martínez and Yesenia González Cruz

ED 14 **Modelo de análisis para diagnóstico hacia la prevención de deserción de alumnos tutorados en el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla** ED123
Marcela Rodríguez López, Ivonne Echevarría Chan, Erika Concepción Calderón García, Avicena Rangel Domínguez and Eliezer Rios Caballero

ED 15 **DWSIM como herramienta auxiliar en prácticas de planta piloto.** ED133
Miguel Angel Pérez Fajardo, Noé Jardón Romero, Aldo Fernando Varela Martínez, Alexis Marco Antonio Romero Pérez and Francisco Vidal Caballero Domínguez

ED 16 **Modelo de aprendizaje basado en problemas aplicado a la agronomía** ED143
María de Jesús Martínez Hernández and Vianey del Rocio Torres Pelayo

ED 17 **Caracterización de la empleabilidad en egresados de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Mexicali** ED150
Roxana Michelle Rodríguez Loo, Zulma Yadira Medrano Hurtado, Julio Cesar Medina Aguirre and Acela Castillón Barraza

ED 18 **Experiences of teachers and students for the development of engineering skills in a context of confinement.** ED157
Miriam Chan Pavón, Jesús Escalante Euán, Richard Gil Herrera and Alan García Lira

ED 19 **Realidad virtual inmersiva como método para descontextualizar aprendizajes en educación superior** ED167
Gaspar Sánchez García

ED 20 **Análisis de la deserción escolar en alumnos del Instituto Tecnológico de Zacatecas** ED177
Elsa Ortega de Avila, Juan Carlos Pino Acevedo and Luis Angel Correa García

ED 21 **Percepción de estudiantes: nivel medio superior para elegir una carrera profesional en la uarm** ED187
Anselmo Tecolapa Crescencio, Flor Yesenia García Hernández and Yesenia Santana Cardoso

ED 22 **La influencia de las dinámicas de grupo y ejercicios prácticos en el rendimiento académico** ED197
Nayeli Chiunti González, Martha Patricia Quintero Fuentes, Matilde Sampayo Cárcamo, Nadia Carolina García Aguilar and José Enrique Romero Lezama

ED 23 **¿Una mejora continua? La evaluación de atributos de egreso bajo el Marco de Referencia 2018 de CACEI, un reto para el programa de Ingeniería en Gestión Empresarial** ED205
María de Lourdes Ruiz Tejeda, Patricia Leonor Tejeda Polo, Edmundo Juárez Martiñón and Alma Delia Hernández Vargas

ED 24 **Estudiantes de contaduría en la UNACAR: Un diagnóstico de responsabilidad social universitaria** ED215
Limberth Agael Peraza Pérez, Myrna Delfina López Noriega, Alonso Contreras Avila, Hugo García Álvarez and Lorena Zalthen Hernández

ED 25 **Prototipo didáctico para comprobar el efecto de la longitud de onda de la luz sobre un módulo fotovoltaico.** ED223
Marco Antonio Zuniga Reyes, Guadalupe Dayri Viza Díaz, Jonathan Ismael Villareal Alvarado, César Octavio Llaven Gallegos and Ana Lilia de Jesús López Pérez

ED 26 **Implementación de principios didácticos en las asignaturas de Métodos Numéricos e Informática y Programación** ED232
Mitzi Pacheco Martínez, Frida Karem Rivas Moreno and Gabriela Vidal García

ED 27 **Desarrollo de competencias profesionales mediante el programa de dualidad y residencias en vinculación con empresas** ED242
Patricia Ochoa Trujillo, Luisa Angelica Viñas Meza, Emmanuel Vázquez Benito and Edgar DeGante Aguilar

ED 28 **Biosíntesis de nanopartículas de plata como propuesta pedagógica para la enseñanza de la biotecnología** ED250
Jorge Alberto Granados Olvera, Erika Cristina Cruz Montes de Oca, Karelia Liliana Rangel Ruiz, Ivan Arroyo Ordoñez and Yuri Osmil Anaya Badillo

ED 29 **Prototipo móvil para aplicar técnicas de gamificación en la alfabetización de personas jóvenes y adultas** ED258
Guadalupe Robles Calderón, Jacobo Robles Calderón and Miguel Flores Mendoza

ED 30 **Análisis de los niveles de ansiedad, estrés, salud y educación en estudiantes universitarios de lo virtual a lo presencial** ED267
Angel Eduardo Lara Segura, Francisca Hernandez Angel, Juana Elizabeth Medina Alvarez, Dulce Belem Castillo Gonzalez and Sandy Arely Valdez Gonzalez

ED 31 **Popotes de bambú un proyecto de inversión sostenible** ED275
Nancy Verónica Sánchez Sulú, Limberth Agael Peraza Pérez, Perla Gabriela Baqueiro López, Patricia del Rosario Cerecedo Núñez and Celestina López Robles

ED 32 **Estrategia de exploración de aptitudes emocionales del estudiante de ingeniería en sistemas computacionales** ED282
Ivette Esperanza Corzas García, María Esther Chamosa Sandoval, Yvette Martin Franco and Brillit Nayeli Jaramillo Islas

ED 33 **Matemáticas, la dificultad en la solución de problemas en los temas de lenguajes y autómatas** ED291
María Eugenia Carreón Romero, Laura Carreón Romero and Roman Gutierrez Marcos

ED 34 **Evaluación de las prácticas profesionales desde la perspectiva de los estudiantes: un estudio de caso** ED300
Martha Iveth Ojeda Núnez, Lorena Elizabeth Jurado Bichir, Victor Andrés Ramírez Sánchez, Ana Carolina Meléndez Gurrola and José Eduardo Gutiérrez Montoya

ED 35 **El Trabajo en Equipo como proceso Enseñanza-Aprendizaje en la materia de Planeación y Diseño de Instalaciones** ED308
Naty Rodríguez Ventura and Raúl Mora Reyes

ED 36 ***Implementación del proyecto integrador desde la práctica docente*** ED318
Bernardino Ávila Martínez, Gaudencio Antonio Benito and José Fernando Chávez Vargas

ED 37 **Método de Monte Carlo como estrategia didáctica para la solución de la integral definida** ED328
Jaime Alberto Zaragoza Hernández, Claudia Sánchez García and Rita Rangel Flores

ED 38 **Habilidades blandas en proyectos integradores. Caso: Técnico en Máquinas con Sistemas Automatizados** ED336
María Mónica García Arroyo and Ana Karen Vera García

ED 39 **Impacto de la Pandemia por Covid 19 en estudiantes universitarios: trabajo precario, vulnerabilidad y rendimiento académico** ED346
Isabel Muñiz Montero, Carlos Muñiz Montero, Juan António Arizaga Silva, Felipe Machorro Ramos and Juan Núñez Alameda

ED 40 **Contribución de la residencia profesional en el logro de los atributos de egreso en Ingeniería** ED356
Citlalin Aurelia Ortiz Hermosillo, Arturo Ortiz Mariscal, Alberto Hernández and Ofmara Yadhira Acota Rodríguez

ISSN: 2007 8102

Implicaciones positivas y negativas de la profesionalización y actualización docente. Estudio de caso: escuela primaria

R. Urcid Puga
Tecnológico de Monterrey rurcid@tec.mx
***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

El objetivo de este artículo es conocer el impacto que tiene la profesionalización y actualización continua del profesorado. Concretamente, se muestran las consecuencias e implicaciones que tanto el instituto educativo como el claustro docente tienen al no contar con la capacitación adecuada. La metodología es cuantitativa, se tiene un universo compuesto por 33 personas, mismas que fueron encuestadas. Los resultados, arrojan que el personal no cuenta con la actualización docente adecuada y esto tiene como consecuencia que, a pesar de tener una gran pasión por la enseñanza, el anquilosamiento y la comodidad laboral han hecho que las sesiones o impartición de clases carezcan de creatividad e innovación. Se concluye que la preparación y actualización es un elemento fundamental para que el profesorado pueda diseñar e implementar sesiones que generen nuevos procesos de enseñanza y aprendizaje.

***Palabras clave**: educación básica, profesorado, actualización, profesionalización*

Abstract

The objective of this article is to know the impact that continuing teacher training and updaiting has on education. Specifically, the consequences and implications that both the educational institute and the teaching staff have due to not having adequate training are shown. The methodology is quantitative, with a universe of 33 people surveyed. The results show that the staff does not have adequate professionalization, and this has the consequence that despite having a great passion for teaching, stagnation and work comfort have made face-to-face and virtual sessions lack creativity and innovation. It is concluded that preparation and updating is a fundamental element for teachers to be able to design and implement sessions that generate new teaching and learning processes.
***Key words**: elementary school, teacher, update, professionalization.*

Introducción

El mundo se encuentra en constante evolución, y un sector que no puede rezagarse, es el del profesorado. Dicho grupo construye el currículo y se adapta a los métodos de enseñanza según las necesidades y los intereses del alumnado [1]. Como consecuencia de los cambios políticos, culturales, sociales, económicos, y por supuesto, educativos, existe un replanteamiento en la actualización docente. Dicha labor es una de las actividades que demandan actualización constante; por ello, estudiar el desarrollo de la profesionalización o formación del profesorado y las consecuencias de tenerla o no, es un tema que no debe pasar desapercibido. De hecho, gracias a esta preparación constante, el profesorado tiene continuidad de aprendizaje, evita el anquilosamiento y logra la innovación para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje del alumnado [2]. Al considerar lo anterior, el objetivo de este documento es mostrar la relevancia que la profesionalización -también denominada formación- y actualización docente tiene en estos días. Del mismo modo, se señalan las consecuencias de no hacerlo; en particular, se toma como estudio de caso un instituto de educación básica de corte privado ubicado en la ciudad de Puebla, México.

Cabe notar que la capacitación es un ejercicio que brinda nuevos conocimientos acerca de la enseñanza; para que ésta sea relevante, debe constituirse en espacios que permitan la exploración y reflexión en su práctica, y considerar que parte de esta formación puede estar basada en las propias creencias, conocimientos y experiencias previas [3].

Otra consideración respecto a la actualización docente es la preparación de quienes ofrecen la capacitación; aspecto, que, desgraciadamente, no ha tenido el tratamiento idóneo y no ha sido objeto de análisis; como consecuencia de este error, las escuelas priorizan la actualización docente que las propias instancias académicas u organismos gubernamentales imponen; lo anterior, desafortunadamente, conlleva a que el profesorado carezca de conocimientos y experiencia en otro tipo de disciplinas.

Así pues, la profesionalización permanente debe ser uno de los ejes principales en el ámbito académico, y esto se desprende del reconocimiento del aprendizaje como proceso acumulativo por el que las personas adquieren

 ISSN: 2007 8102

diversos saberes con los que abordan distintas adversidades tanto profesionales como personales y sociales [4], por ello, al considerar la incertidumbre actual, el cuerpo docente debe estar en constante actualización para poder provocar en sus discentes el desarrollo de competencias y capacidades necesarias.
Se debe destacar que en materia de transformación para la educación, América Latina y el Caribe son un referente para la educación, sobre todo, por los avances en la aplicación de las políticas educativas, que si bien no en todos los casos son efectivas, sí se hacen esfuerzos considerables por modificarlas; sobre todo, si se considera que la actualización pedagógica involucra a todos los grupos de interés en materia educativa: escuela, estudiantado, tutores y tutoras, comunidad y, sobre todo, al profesorado, quien debe optar por un cambio de paradigma. A continuación, y para tener una idea más precisa de los temas que se abordan en esta investigación, y la relevancia que cada uno de éstos tiene, se presenta un apartado para cada uno de los tópicos que se analizan

Profesionalización en el ámbito educativo

El término profesionalización asocia la idea de construcción de competencias específicas al ejercicio de la actividad laboral, la cual es realizada en un contexto determinado y se comparte por un grupo que se caracteriza por la manifestación de ciertas competencias [5].
Por otro lado, los institutos educativos plantean el autoaprendizaje como una herramienta para el desarrollo de sus necesidades; esto claro, aunado a la preparación que el propio centro educativo debe proporcionar al profesorado. Lo anterior supone una apuesta por la profesionalización docente, la autonomía de los institutos educativos y la innovación [6]. Desde esta perspectiva, la escuela se transforma en un espacio que propicia la preparación del profesorado a través de la cooperación, colaboración y cohesión de los distintos claustros; en este sentido, el desarrollo docente se debe promover desde los programas de formación dirigidos hacia la propia escuela pues cada centro educativo tiene sus propias necesidades.
Al continuar con el tema del desarrollo profesional, éste se ha convertido en una demanda social, que puede unificar la investigación didáctica con la práctica docente. Así pues, los procesos de formación se relacionan con las dinámicas sociales e institucionales porque dan respuesta a las necesidades para mejorar la calidad de los sistemas educativos. La profesionalización del claustro académico es una herramienta estratégica para lograr un mayor desarrollo de la calidad educativa [7].
Al mismo tiempo, el conocimiento puede utilizarse para cuestionar tanto los contenidos curriculares como los procesos de aprendizaje y enseñanza, lo cual da como resultado que el profesorado que se está preparando actúe de forma transparente [8]. Si el profesorado quiere despertar interés en el alumnado sobre algún tema en específico, debe actualizarse en dicha área, disciplina o campo; en este sentido, hay un sinnúmero de tópicos en los que pudiera adentrarse; pero, debe existir un trabajo colegiado entre la institución educativa y la propia intención del docente [9].
Finalmente, a pesar de los esfuerzos realizados en materia de actualización a nivel educativo, aún existen debilidades, entre estas, la oferta de cursos, los tiempos laborales, el rezago tecnológico, las actividades personales, recursos financieros, apatía y demás aspectos que se ven inmersos que, de una u otra forma, impactan en el desempeño y preparación del estudiantado [10].
La calidad educativa encuentra su mayor fortaleza en la profesionalización de la labor docente; y esto se ve reflejado en distintos estudios que revelan que el mejor rendimiento del estudiantado es a partir de los procesos de enseñanza y aprendizaje que se desprenden del profesorado con mayor actualización. En este sentido, queda claro que la práctica docente debe ser fortalecida para lograr la transformación de los sistemas educativos [11].
Por otra parte, la actualización docente cobra mayor importancia y aparece como un asunto prioritario en distintos gobiernos y en quienes tienen algún tipo de responsabilidad y/o compromiso con la educación. En este sentido, no se puede olvidar que educar implica enseñar a ser personas críticas, reflexivas, creativas, y no seres reproductores mecánicos de verdades de la autoridad, y uno de los ejes para que esto suceda es por medio de la capacitación habitual y como práctica de cualquier instituto educativo. La necesidad de profesionalizar al docente radica en que el profesorado enseña y promueve el pensamiento crítico y reflexivo entre el alumnado, lo cual conlleva a la formulación de teorías, paradigmas, opiniones, verdades, tradiciones, etc. Por ello, tener profesoras y profesores informados, capacitados y creativos obliga a que el sistema educativo crezca y sea innovador, no se enfrasque en procesos monótonos y tenga un pensamiento crítico [9]
El instituto educativo, en materia de profesionalización, debe facilitar recursos y tiempo a su personal para permitir su desarrollo por medio de la formación constante; diseñar actividades según la especialidad y áreas de interés; además, debe contar con ponentes que desarrollen dinámicas y cursos capaces de despertar el interés entre quienes participan y favorecer la colaboración e intercambio de experiencias; así, la idea es acercar la línea entre los distintos centros educativos para que tengan el protagonismo necesario para el aprendizaje docente [12].

Beneficios de la actualización permanente del profesorado

Utilizar el concepto: "formación" es poco frecuente con relación a: educación, aprendizaje, entre otros y otras que acompañan el quehacer docente. Por ello, debe señalarse que este término se enfoca en el desarrollo personal, apela a la autonomía y se integra al trayecto laboral de acuerdo con un contexto determinado [13].

Son distintos los aspectos a favor que se detonan a partir de la actualización docente, entre éstos resalta el vínculo práctico que se tiene entre lo aprendido en diversos cursos, y la forma en la que puede ser aplicado en las distintas sesiones y puede ser trasladado en beneficio del alumnado; además, se reconoce que la propia institución se actualiza, los procesos internos mejoran y el desarrollo del personal tiene un nuevo significado.

Así pues, la preparación del profesorado es benéfica y fundamental para cualquier sistema educativo pues fortalece la actualización de la enseñanza y contribuye a mejorar la calidad en materia de docencia; así, la profesionalización pedagógica implica reconocer al cuerpo docente como agente de cambio, les empodera como planificadores y gestores de los procesos educativos [14].

Para concluir este apartado, se debe mencionar que los beneficios de la capacitación docente se relacionan con la práctica pedagógica en tanto se cumpla con el modelo educativo para poder ser implementado con el alumnado. Sin embargo, es posible que la capacitación establecida por las instituciones educativas y los organismos gubernamentales se enfoque en determinados temas; por ello, las escuelas deben proveer al profesorado de diversos cursos para potencializar sus habilidades en otros temas y así su práctica sea mejor [15].

Características del profesorado de educación básica

Ya que este estudio se focaliza en las profesoras y profesores que trabajan en una institución de educación básica, es imperante señalar algunos de sus aspectos más esenciales y así entender un poco más sobre este grupo de interés. Antes que nada, es necesario detallar que actualmente las escuelas tienen exigencias y demandan procesos dinámicos y flexibles, por ende, es necesario contar con profesionales capaces de propiciar aprendizajes que potencialicen el desarrollo y del alumnado.

Así, el profesorado de educación básica debe poseer suficiente conocimiento acumulado sobre diversos temas, en particular, aquellos que desarrolla en sus distintas sesiones, también, debe tener diversas competencias que le permitan tener un trabajo docente, vocación y sentido de compromiso para administrar un grupo en particular, además, tiene la capacidad para fomentar mejores prácticas y una ciudadanía global [16].

Otra de las características que concatenan a los docentes de educación básica es la capacidad de autonomía para preparar su clase, brindarle libertad de cátedra para lograr un proceso de actualización de acuerdo con las necesidades de la institución en la cual colabora; cabe notar que para que todo lo anterior sea ejecutado, es imperante que la institución educativa dé un seguimiento a dicha actualización. Precisamente, en este sentido, se apuesta por un aprendizaje constante para responder a los requerimientos de los educandos.

Así pues, existen otras características que deben considerarse como propias de un docente de primaria, a saber: actitud positiva, en constante búsqueda de conocimiento y con intereses por saber más sobre distintos aspectos o factores relacionados con su área de enseñanza. Del mismo modo, al profesorado de educación básica se le define como un grupo de personas organizadas que se orientan por técnicas activas y participativas y refuerzan de manera constante el aprendizaje del alumnado y trabaja en los procesos de enseñanza; además, tienen y fomentan el trabajo en equipo y así desarrollan la cordialidad [17].

Las principales características personales de quienes se desempeñan en la labor educativa se relacionan por diversas cuestiones, entre ellas, las relaciones humanas y el trato entre pares o con otros grupos de interés; por ejemplo, potencializan la actitud positiva del estudiantado y, gracias a la constante capacitación se pueden satisfacer las necesidades educativas; lo antes mencionado hace que el profesorado se convierta en un sector que busca la perfección en su trabajo. Como consecuencia de lo anterior, el profesorado de este nivel educativo valora la planificación de sus procesos de enseñanza y aprendizaje, esto les permite inferir algunos objetivos para que su labor se oriente hacia la consecución de éstos. Asimismo, la organización de sus actividades les facilita el control de estas, y prevé cierta incertidumbre laboral.

El profesorado, sin importar el nivel educativo en el cual imparte clases, debe poseer una serie de competencias para que su labor sea más sólida y los procesos de enseñanza y aprendizaje se vean robustecidos; existen cuatro dimensiones principales para todo docente [18]:

- Conocimiento de la materia a impartir y de la cultura actual.
- Competencias pedagógicas, reflejadas en ciertas habilidades didácticas, construcción de tutorías, y uso de técnicas de investigación, así como diversos conocimientos psicológicos y sociales; es decir, resolución de conflictos y trabajo en equipo.
- Habilidades instrumentales y conocimiento distintos lenguajes: manejo de TIC, lenguaje audiovisual y de textos -en sus distintas variantes.
- Elementos humanos: seguridad, empatía, madurez, inteligencia y equilibrio emocional y autoestima.

 ISSN: 2007 8102

Para que una institución educativa tenga un cuerpo académico robusto, el profesorado actual debe caracterizarse por su compromiso con la capacitación y superación permanente. Finalmente, para que el estudiantado tenga una enseñanza de calidad, claustro académico necesita ostentar cualidades como: responsabilidad, flexibilidad, preocupación, compasión, cooperativismo, creatividad, dedicación, decisión y con la capacidad de cautivar a su audiencia [18]. Una vez que se tocan los temas esenciales que circundan a este análisis, se cree prudente hacer una breve mención al contexto en el cual se enmarca la escuela con la cual se hace el estudio presentado.

Contexto del instituto educativo analizado

Por cuestiones de privacidad y confidencialidad de la propia institución, se ha decidido omitir el nombre de la escuela; sin embargo, es posible compartir información general sobre la misma; en este sentido, se encuentra ubicada en la ciudad de Puebla, en México; tiene más de 40 años ininterrumpidos funcionado, y aunque ha cambiado dos veces de instalaciones, el logotipo, el slogan, identidad corporativa y nombre oficial se mantiene; lo anterior, le ayuda a seguir vigente entre el público.

Dicha escuela es privada/de paga, y abarca desde maternal hasta preparatoria; se divide en dos planteles, en uno, está Maternal y los seis grados que componen la educación primaria, y en otras instalaciones -ubicado a unos metros de éste-, se encuentra la secundaria y la preparatoria. Se dirige a la clase social media y media baja. En total, la institución tiene una matrícula vigente de 160 personas en el nivel básico que incluye el alumnado de Kínder y Primaria. El instituto educativo se organiza en cuatro áreas medulares: coordinación de inglés, coordinación de kínder, coordinación de primaria y el personal administrativo e intendencia. De manera específica, se muestran las distintas áreas que forman parte del plantel que integra el nivel de educación básica. Cada coordinación, incluye el profesorado que le corresponde según a las materias que se imparten. De manera concreta, la institución está conformada por 33 personas; 31 son mujeres, y dos son hombres, el profesor de educación física y el encargado de la seguridad.

Metodología

El estudio presentado se realizó bajo un enfoque cuantitativo; es decir, se creó un instrumento de medición con ocho reactivos con respuestas dicotómicas. Dicho cuestionario se compartió entre todo el personal que colabora en la escuela. Este análisis es transversal y descriptivo pues se abordó un instituto educativo de nivel básico que sirve como estudio de caso. Al ser una Primaria con pocas colaboradoras no se realizó fórmula estadística para determinar la muestra poblacional; es decir, se encuestó a las 33 personas que forman parte de dicho espacio. Cabe notar que previo a la aplicación final, se hicieron ocho pruebas piloto del cuestionario para tener certeza que los reactivos fuesen claros y los suficientes. En este sentido, se realizan tres modificaciones al instrumento inicial, en donde se reducen ítems y se mejora la redacción de estos para que su entendimiento fuese el idóneo; una vez que se tiene claridad en cada uno de los reactivos, el cuestionario se realiza en Google Forms, y después, se comparte por correo electrónico a la población analizada.

Instrumento de medición

Para tener una idea más precisa del análisis que se realiza, se presenta el instrumento de medición que se aplicó al personal que labora en el instituto educativo. Este cuestionario se obtiene a partir de lo estudiado a nivel teórico y de las propias necesidades que se detectan en la escuela; por ello, el cuestionario incluye solo ocho reactivos con respuestas dicotómicas, pues a partir de estos breves, pero concisos cuestionamientos, se puede realizar el análisis idóneo. Cabe notar que previo al establecimiento de este cuestionario, se realizaron 4 pruebas piloto, donde se fueron anexando o eliminando algunas preguntas según fue necesario. Así, y después de dicho proceso se logró crear un instrumento cuantitativo que se ajusta al objetivo perseguido en este estudio, el cual se muestra en la figura 1.

 ISSN: 2007 8102

Estimada/estimado participante, con el afán de realizar un análisis a esta institución educativa, realicé este cuestionario, mismo que me gustaría que contestaras con total honestidad. Recuerda que tus respuestas son anónimas y pertenecen a una investigación académica.

- Años trabajando en el instituto:

1) ¿Crees que la actualización es esencial para realizar tus actividades?
A) Sí B) No
2) ¿Tienes tiempo para actualizarte en tu profesión?
A) Sí B) No
3) ¿Hace cuánto asististe a un curso de profesionalización/actualización?
A) 1 a 3 meses B) 3 a 6 meses C) 1 año o más
4) ¿Esta institución fomenta la actualización docente?
A) Sí B) No
5) ¿Tus actividades cotidianas te permiten actualizarte constantemente?
A) Sí B) No
6) ¿Cuál es tu principal fuente de actualización?
Experiencias Personales B) Cursos fomentados por esta escuela C) Los busco por mi parte
7) ¿Crees que la actualización docente tiene impacto en tu alumnado?
A) Sí B) No
8) ¿La preparación y actualización es responsabilidad de la escuela en la cual colaboras?
A) Sí B) No

Comentarios adicionales:

Figura 1. Cuestionario elaborado

Resultados y discusión

Una vez que se aplican los instrumentos de medición, es posible presentar los datos que se rescatan a partir del análisis. Para tener un espectro más claro de las características de las respondientes, primero se busca conocer el tiempo que el personal lleva colaborando en la escuela donde se realiza este estudio.

En este sentido, las personas tienen más de 25 años trabajando en esta institución, lo cual refleja dos aspectos fundamentales; por un lado, la lealtad que se le tiene a la organización; por otro, que la vocación hacia esta labor de docencia es notoria. Sin embargo, esta clase de datos arrojan algunas cuestiones negativas. Por ejemplo, el personal se encuentra en una zona de confort, y ha desarrollado las mismas actividades durante mucho tiempo, lo cual conlleva a que no se tenga apertura al cambio y se desarrollan barreras de aprendizaje generacional. Es interesante señalar que solo seis de las 33 personas que integran este instituto colaboran en este desde hace cinco años, lo cual, una vez más, señala el problema generacional del personal que ahí colabora, pues en su mayoría, el personal tiene un promedio de 50 años.

Si bien el estudio realizado fue cuantitativo, se decide prescindir de la exposición de las gráficas y con párrafos informativos se muestran los resultados a los cuales se llegaron en cada uno de los reactivos.

Así, para la primer pregunta: ¿Crees que la actualización es esencial para realizar tus actividades? El 93% de las encuestadas consideran que la profesionalización en materia de pedagogía y otras áreas afines a sus intereses laborales es necesaria para que puedan realizar sus actividades con mejores resultados. Cabe notar que solo el 7% menciona que la actualización no es esencial para su trabajo cotidiano, y esto se presenta, en particular, en el personal administrativo.

En cuanto a la segunda pregunta: ¿Tienes tiempo para actualizarte en tu profesión? Un preocupante 80%, afirma no tener tiempo, pues la mayoría de su tiempo, lo dispone para cuestiones que la propia institución educativa requiere, y solo se toman cursos cuando la Secretaría de Educación Pública -SEP-, lo solicita.

Este aspecto se vuelve preocupante, pues la profesionalización del profesorado es esencial para fomentar sesiones adecuadas, dinámicas y con la capacidad para despertar el interés del alumnado. Por otro lado, se tiene que solo el 15% de quienes fueron parte de este estudio, cuenta con las horas necesarias al día para capacitarse en distintas áreas; sin embargo, una vez más, se afirma que dichos cursos son aquellos que el sistema educativo oferta como obligatorios.

Para la tercera pregunta: ¿Hace cuánto tiempo asististe a un curso de profesionalización/actualización? En este sentido, el 72% de las encuestadas responde que hace más de un año que no se capacitan más allá de lo que se establece como obligatorio. Mientras que muy por debajo de dicho porcentaje, el 15% afirma haber tomado algún curso en los últimos tres a seis meses; y solo el 13%, afirma que tomó un curso entre enero y marzo de este año 2021. Es importante hacer la correlación que dicha capacitación no se presenta por los aspectos antes mencionados: tiempo, oferta e interés.

 ISSN: 2007 8102

Conocer la postura en cuanto a la actualización docente es un tema que despierta interés, sobre todo, a partir de las respuestas que ya se han presentado; en este sentido, para la cuarta pregunta: ¿Esta institución fomenta la actualización docente?, se obtiene un resultado es interesante, pues la mitad de las encuestadas mencionan que el instituto sí promueve dicha profesionalización, mientras que la otra mitad, afirma que la postura de la escuela es negativa o neutral, pues solo se ciñe a la capacitación que la SEP establece.

El reactivo despierta mayor interés para este estudio, pues el que exactamente 50% de las respondientes piense una cosa, y el otro 50% responda lo contrario, muestra que hay polarización en el personal, falta de comunicación entre el personal y algunos errores de logística y entendimiento a nivel jerárquico al interior de dicho instituto.

En la quinta pregunta: ¿Tus actividades cotidianas te permiten actualizarte constantemente se encontró que el 75% de las respondientes comentan que el ritmo de vida que llevan les impide la actualización; dicha situación no debe presentarse, pues cabe recordar que la constante preparación ayuda a que la actividad pedagógica sea más enriquecedora; aspecto que, en este caso, no se ve reflejado, debido a las respuestas dadas.

Ahora bien, un 25% de las encuestadas menciona que a pesar de tener múltiples actividades día a día, pueden equilibrarlas con algunas capacitaciones; sin embargo, las respondientes mencionaban que si bien, sus actividades laborales y personales les permitían hacer este balance, desgraciadamente, no se tenía la oferta necesaria de cursos para una capacitación idónea.

Los estilos de preparación y/o actualización, como ya se ha mencionado, tienen diversas fuentes, por ello, la sexta pregunta - ¿Cuál es tu principal fuente de actualización?-, busca conocer cuál es la fuente de profesionalización que las encuestadas tienen. En este sentido, 41% de las respondientes afirman que la actualización proviene de cursos que ellas encuentran en otras instituciones, organismos, en portales de internet, o que entre amistades se comparten.

El 35% asegura que el instituto donde laboran es el principal proveedor de cursos para actualizarse; cabe notar que dichos programas son establecidos por la SEP y no por la propia institución en la cual colaboran. Finalmente, el 24% de las respondientes menciona que su actualización proviene de experiencias propias, de conocidos, amistades, y demás grupos cercanos que les rodean.

Estas respuestas indican que la preparación de las profesoras proviene de distintas fuentes; sin embargo, es la propia escuela quien debe apoyar a su personal en materia de crecimiento profesional y personal, esto, para crear clases más activas y alumnado más participativo, entre otros efectos positivos.

Para la séptima pregunta: ¿Crees que la actualización docente tiene impacto en tu alumnado? El 87% de las encuestadas afirma que existe una relación directa entre la posible actualización y el efecto en sus sesiones; de hecho, están conscientes que la preparación constante debe ser una de las características de un docente comprometido, efectivo y con miras a formar un buen alumnado. Sin embargo, es el propio ritmo laboral y de vida cotidiana, que, como ya se ha mencionado impide que esta actividad se lleve a cabo.

Por otro lado, el 13% de las respondientes, afirman que la relación entre actualización e impacto en el estudiantado no tiene una correlación proporcional; en este sentido, mencionan que de acuerdo con la experiencia que han logrado adquirir, una profesora puede estar actualizada y preparada, sin embargo, no se tiene el impacto deseado.

En la octava, y última pregunta: ¿La preparación y actualización es responsabilidad de la escuela en la cual colaboras? el 90% de las respondientes asegura que la actualización del docente recae en la propia institución educativa en la cual colabora; sin embargo, están conscientes que debido a la enorme carga laboral es complicado tener cursos diseñados por la propia escuela, además, informan que muchas veces con los cursos instaurados por la SEP es más que suficiente.

Por otro lado, el 10% de las encuestadas comentan que la responsabilidad de su actualización no es responsabilidad de la institución; en este sentido comentan que la actitud debe ir en dos vías, y que ellas, como profesoras deben tener la apertura y capacidad detener otro tipo de cursos más allá de los considerados como obligatorios por el sistema educativo.

El cuestionario tiene un espacio para que los sujetos de estudio vertieran algunos comentarios adicionales; es decir, el instrumento cuenta con un reactivo de corte “cualitativo”, no dicotómico para que las profesoras tuvieran un espacio para realizar comentarios sobre temas relacionados con la capacitación que tienen. En general, las profesoras mencionan que, por cuestiones de tiempo, dinero, carga laboral y falta de personal externo, la escuela primaria fomenta -en su mayoría-, la profesionalización que la SEP ofrece; las profesoras no reciben otro tipo de actualización. La mayoría de las encuestadas laboran en la escuela analizada desde que ésta es inaugurada e inicia actividades formalmente en el año de 1980.

Del mismo modo, señalan que en ocasiones el tener un trabajo seguro, con cierta comodidad y con muchos años de relación entre colaboradoras y la propia dueña de la escuela ha ocasionado un exceso de confianza. Las profesoras saben que debe existir un equilibrio entre el autoaprendizaje que cada una de ellas puede tener a través de distintos medios o plataformas y la actualización que el propio instituto educativo ofrece.

 ISSN: 2007 8102

En general, los comentarios coinciden en que la actualización es necesaria, pero no suele haber tiempo y se carecen de recursos internos para buscar otro tipo de cursos con organismos externos; las entrevistadas comentan que es necesario que se tengan organizaciones externas que ofrezcan actualización docente en diversos temas de interés general. Finalmente, el personal tiene un gran compromiso con el instituto educativo en el cual laboran, sin embargo, reconocen que dicha escuela no brinda la actualización necesaria.

Es necesario señalar que la actualización no solo es necesaria para diseñar mejores sesiones, involucrar al alumnado o estar en contacto con distintos recursos pedagógicos, sino para que en casos atípicos (como puede ser una pandemia) y se tenga que replantear el sistema educativo, se cuenten con toda clase de herramientas para que se puedan mitigar las emergencias, los problemas sean menores y no se esté en peligro de desaparecer. En este caso, el instituto analizado, a partir de la emergencia sanitaria, tuvo que prescindir de personal, la matrícula disminuyó y si bien estas vicisitudes no son consecuencia exclusivamente de la poca actualización, las profesoras, y el personal administrativo admite que sí hay una relación entre estos temas. Así, se puede tener como resultado primario el que el personal optó por una actualización básica y un tanto obligada, lo cual es contradictorio, pues la mayoría de las encuestadas afirmaba que la profesionalización continua es necesaria, sin embargo, pocas, la ponen en marcha.

Trabajo a futuro

En este caso, se realiza el estudio a una escuela Primaria con ciertas características, por ende, el caso es considerablemente focalizado. Por ello, esta clase de análisis puede situarse en otro estilo de instituciones educativas, de diferentes zonas, de distintos tamaños y con profesorado de distintos grados escolares. Incluso, este tipo de instrumentos pueden ser replicados en universidades o escuelas técnicas, donde se pueda evaluar el grado de actualización y profesionalización que tiene el claustro docente; para a partir de ello, subsanar las áreas de oportunidad que se tengan. Sumado a lo anterior, se puede realizar un análisis en el que se compare la percepción que tiene el alumnado en relación con la tecnología que utiliza el profesorado en el aula, la implementación de nuevas técnicas pedagógicas e incluso detectar en dónde están las áreas fuertes y débiles del profesorado; todo en aras de crear un proceso de enseñanza y aprendizaje más dinámico y que motive al alumnado.

Conclusiones

Tras realizar este estudio se comprueba que la profesionalización docente es necesaria en cualquier nivel académico. Además, se puede comprobar que la falta de actualización conlleva errores tanto en la institución educativa como en el profesorado. Lo anterior desgraciadamente se refleja en el rendimiento del estudiantado, y en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Existen características personales y profesionales que pueden ayudar u obstaculizar un comportamiento innovador al momento de diseñar e impartir clases. El análisis que aquí se presenta, se convierte en un estudio de caso donde se comprueba que la profesionalización docente debe ser un factor inherente en todos los institutos educativos para que en caso de emergencias no se tengan consecuencias negativas.

Por otro lado, no puede inferirse que el alumnado tiene una mejor preparación si las y los docentes no tienen una acertada actualización y profesionalización constante. Cabe notar que la innovación educativa, como consecuencia de la capacitación, es necesaria y esto ayuda a mantener al alumnado más atento a las sesiones; por otro lado, como consecuencia de la actualización, las sesiones se vuelven más atractivas, a ello, claro se le debe sumar la vocación, la actitud ante el alumnado y demás cuestiones que van de la mano de la práctica docente; lo anterior se puede reflejar en la forma en la que las clases son diseñadas e impartidas.

Finalmente, en este estudio se identifican las necesidades que las profesoras de la escuela analizada tienen en materia de profesionalización relacionada con el uso de las Tecnologías de Información y Tecnologías -TIC-, particularmente de los distintos recursos que actualmente se tienen para desarrollar trabajos colaborativos pues el conocimiento que se tiene al respecto es básico e incluso limitado. En síntesis, los centros educativos deben proveer los cursos necesarios para que el cuerpo docente tenga mejores herramientas para impartir clases y logre un estudiantado más activo.

Referencias

[1] F. Imbernón, “Calidad de enseñanza y formación del profesorado: un cambio necesario”, Octaedro, 2021.

[2] E. Gálvez, E. y R. Milla, “Evaluación del desempeño docente: preparación para el aprendizaje de los estudiantes en el marco de buen desempeño docente”, *Propósitos y Representaciones*, vol. 6, no. 2, pp. 407-452. 2018.
[3] M. Baptista, S. Freire, y A.M. Freire, “Science Teachers’ Beliefs and Practices: Collaboration as a Trigger of Change”, *Acta Scientiae*, vol. 22, no. 1, pp. 2-22, 2020.
[4] M. Valle, “La formación inicial del profesorado según la Unión Europea”, *Nueva Revista*, vol. 141, pp. 32-50, 2017.
[5] V. Lang, V, “La professionnalisation des enseignants”, PUF**,** 2019.
[6] C. Marcelo, “Formación del profesorado para el cambio educativo”. Promociones y Publicaciones Universitarias, 2019.
[7] F. Egert, R.G. Fukkink, y A.G. Eckhardt, “Impact of in-service professional development programs for early childhood teachers on quality ratings and child outcomes: A meta-analysis”, *Review of educational research*, vol. 88, no. 3, pp. 401-433, 2018.
[8] A. Romo, B. Barquero, y M. Bosch, “La profesionalización docente en la modalidad online y la implementación de los REI: aciertos y desafíos”, *Educ. Matem. Pesq.,* vol. 22, no. 4, pp. 772-786, 2020.
[9] J. Torres, “Formación del Profesorado y Educación como Proyecto Político e Inclusivo”, *Educação & Realidade,* vol. . 44, no. 3, pp. 1-27, 2019.
[10] J. Sánchez, I. Sánchez, y J. Viloria, “Expectativas de formación avanzada en el campo de la gestión educativa: una lectura desde las voces de directivos docentes en el departamento del Magdalena”, Colombia. En D. Herrera, G. Ramírez & J. Rosas (Eds.), *Diversidad y complejidad organizacional en América Latina* (pp. 21-60), 2017.
[11] A. Schleicher, *“Preparing Teachers and Developing School Leaders for the 21st Century Lessons from around the World”,* OECD, 2022.
[12] C. Aneas, y J. Sánchez, “Valoración de la formación del profesorado: comparativa entre autoformación y formación presencial”, *Nueva Época*, vol. 21, pp. 94-108, 2018.
[13] M. Souto, “Grupos y dispositivos de formación facultad de filosofía y letras”, Novedades Educativas, 2019.
[14] J.M. Escudero, M.T. Cutanda, y J.F. Trillo, “Aprendizaje docente y desarrollo profesional del profesorado”. *Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, vol. 21, no. 3, pp. 83-102, 2017.
[15] J. Bailey, J., y M. Flores, “Procesos formativos durante el ejercicio docente: un estudio desde las creencias de profesores universitarios”, *Propósitos y representaciones,* vol. 8, no. 3, pp. 527-540, 2020.
[16] A. Bolívar, “Formación del profesorado para una educación básica holística”, *Cuadernos de Pedagogía*, vol. 477, pp. 66-69, 2017.
[17] M. Rivas, “Innovación educativa. Teoría, procesos y estrategias*”*, Síntesis, 2020.
[18] EE. Espinoza, W.E. Tinoco, y X.R. Sánchez, “Características del docente del siglo XXI”, *Olimpia*. *Revista de la Facultad de Cultura Física de la Universidad de Granma*, vol. 14, no. 43, pp. 39-53, 2017.

LA INCIDENCIA SOCIAL: ANÁLISIS SOBRE PROYECTOS EDUCATIVOS EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR EN MÉXICO

Suárez Espinosa Brenda Crystal[1], Chávez Esquivel Gilberto[2].
Tecnológico Nacional de México / ITS Uruapan.
Michoacán, México.

LA INCIDENCIA SOCIAL: ANÁLISIS SOBRE PROYECTOS EDUCATIVOS EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR EN MÉXICO

Resumen— Según la literatura consultada sobre estudios bibliométricos para conocer hacia donde se direcciona la innovación en México señala que principalmente se escribe sobre aspectos de salud y algunos conceptos más amplios sobre la innovación, sin embargo, existe escasa escritura sobre el impacto social que tiene la producción científica, por lo que el presente estudio tiene como objetivo conocer la relación que existe entre los proyectos de innovación académicos con la incidencia o impacto social del país, para lo que se plantea realizar una investigación cualitativa de tipo descriptivo a través de consulta en los sitios Scielo y ScienceDirect en un periodo de 2015 a 2023 para realizar un esquema descriptivo que refleje los hallazgos del estudio, los resultados preliminares datan que el eje estratégico relacionado con la incidencia social es el que tiene que ver con la educación, en lo referente a formas organizativas en los procesos de enseñanza aprendizaje, seguridad humana y sistemas socioecológicos así como el aspecto cultural.
Palabras Clave: Incidencia social, innovación, educación superior.

SOCIAL INCIDENCE: ANALYSIS OF EDUCATIONAL PROJECTS IN HIGHER EDUCATION IN MEXICO

Summary— According to the literature consulted on bibliometric studies to know where innovation is heading in Mexico, it indicates that mainly writing is about health aspects and some broader concepts about innovation, however, there is little writing about the social impact that innovation has. scientific production, so the objective of this study is to know the relationship that exists between academic innovation projects with the incidence or social impact of the country, for which it is proposed to carry out a qualitative descriptive research through consultation in the Scielo and ScienceDirect sites in a period from 2015 to 2023 to make a descriptive scheme that reflects the findings of the study, the preliminary results date that the strategic axis related to social incidence is the one that has to do with education, in relation to organizational forms in the teaching-learning processes, human security and socio-ecological systems as well as the cultural aspect.
Keywords: Social impact, innovation, higher education.

INTRODUCCIÓN

La investigación y desarrollo científico y tecnológico son actualmente un tema de interés para impulsar el crecimiento económico y social en México, tal es así que el Consejo de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONACYT) ha establecido los programas nacionales estratégicos (PRONACES) como ejes rectores para el quehacer científico.

El presente protocolo presenta un estudio en el que analiza la literatura y datos estadísticos para conocer la productividad académica relacionada con proyectos de impacto social alineados con alguno o algunos de los PRONACES, para ello, se proporciona un contexto sobre el tema de estudio a través de estudios antecedentes y un marco teórico con las obras más relevantes. Finalmente, se describen mediante un esquema descriptivo, los ejes estratégicos de relacionados a la incidencia social con mayor frecuencia encontrados en el análisis de la literatura.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño de la investigación

Se presenta el desarrollo de una investigación cualitativa de tipo descriptiva en donde se partió del análisis documental de las bases de datos: Scielo y ScienceDirect, donde los motores de búsqueda se basaron en las temáticas centradas en las búsquedas: Incidencia social, desarrollo social, educación superior. A continuación, se desarrolla una clasificación de acuerdo a los resultados de las búsquedas las cuales comprenden periodos de publicación de los años 2015 a 2023.

[1] Brenda Crystal Suárez Espinosa, brendasuarez@tecuruapan.edu.mx . Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Uruapan.
[2] Gilberto Chávez Esquivel, gilbertochavez@tecuruapan.edu.mx Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan.

Descripción del problema

Según la agenda 2030 de la ONU, se plantearon diez y siete objetivos de desarrollo sostenible, mismos que han de marcar la pauta en las estrategias nacionales de los países que conforman este organismo, en México, la máxima institución de ciencia y tecnología CONAHCYT, ha planeado también diez programas nacionales estratégicos (PRONACES) los cuales reflejan las áreas sociales prioritarias para el país (*Agentes tóxicos y procesos contaminantes, agua, cultura, educación, energía y cambio climático, salud, seguridad humana, sistemas socio ecológicos, soberanía alimentaria y vivienda*), es por ello que actualmente los lineamientos para la realización de proyectos de investigación e innovación científica y desarrollo tecnológico han de alinearse a éstos sectores prioritarios.

El presente proyecto se enmarca en uno de estos ejes prioritarios, específicamente en el eje "Educación" y al realizar una búsqueda preliminar de los antecedentes del objetivo del estudio, se encontró que existe escaza literatura que identifique o permita conocer la cantidad y/o tipos de productos académicos sobre innovación con impacto en la incidencia social relacionados específicamente a la atención e impulso o mejoramiento del eje "educación" de los PRONACES.

Antecedentes

Como principal antecedente del estudio se tiene la obra de Zaragoza, Merigó y Alfaro [15], quienes utilizaron técnicas bibliométricas para identificar hacia donde se direcciona la innovación en México, destacando que en México la mayor cantidad de investigaciones se encuentran en el área de la salud, la adopción de conceptos sobre innovación y el idioma como limitante para realizar colaboraciones, otro hallazgo importante en el estudio citado es que la universidad pública con mayor número de artículos publicados sobre innovación durante el periodo del estudio fue la UNAM (institución pública), seguida del Tecnológico de Monterrey (Institución privada), otra obra considerada como antecedente importante para el presente estudio es el caso de Méndez, quien analizó la pertinencia e incidencia social en las investigaciones de tesis de un postgrado profesional en desarrollo en México, quien identificó el reto de promover competencias de lecto escritura en lenguas maternas y extranjeras, encontrando también que el programa contiene propuestas concretas sobre incidencia social en función de la necesidad nacional, regional o local.

Por su parte Valdés y Saavedra [13] analizaron problemas sociales en el Estado como la pobreza, el desempleo, difícil acceso a la educación y a los servicios de salud, entre otros, poniendo en manifiesto el emprendimiento social como eje impulsor de apoyo ante las problemáticas sociales con déficit de atención. Si bien las citadas fuentes son una referencia, se realizará un análisis de literatura más a fondo que permita identificar el estado del arte sobre la temática del proyecto, así mismo, estudios recientes denotan la importancia de proyectos de desarrollo social en México para lograr una mejora calidad de vida de sus ciudadanos, como lo señalan González, Maya, Zubieta, Yarto y Barbosa [3], en su estudio "Gestión de proyectos de diseño de alto impacto en comunidades marginadas urbanas y rurales en México", donde proponen una metodología de vinculación con órganos gubernamentales y organizacionales de la sociedad civil para lograr una exitosa intervención de la academia con las comunidades para la realización de proyectos de impacto social.

Desarrollo

A continuación de describe, a partir del motor de búsqueda en Scielo y ScienceDirect, los principales hallazgos:

Martínez, Gil y Macías [6], hacen referencia a la Responsabilidad Social Universitaria (RSU), donde se menciona que ésta constituye una línea de acción que se requiere por las universidades para generar iniciativas de comprensión y resolución de problemas de los desafíos globales que enfrenta la sociedad, así mismo, en este mismo estudio se señala que los estudiantes deben estar preparados para hacer frente a soluciones concretas y comprometidas con la sociedad.

En el caso de Goodman (2015), el autor hace mención del personal académico señalando que éste se considera un núcleo detrás de todos los intelectuales públicos de una sociedad y que, a su vez los convierte en una voz de la transformación política. Por su parte, Huerta [7], al realizar su estudio sobre la evolución que ha tenido el gasto federal ejercido de 2008 a 2016 en México en materia de programas sociales federales asociados a carencias sociales, identificó, que peste gasto ha tenido incidencia en particular en la carencia en alimentación y acceso a servicios de salud, en tanto a las carencias que mostraron disminuir se encontraron la de rezago educativo y la de acceso a la seguridad social.

En cuanto a Nosiglia y Mulle [8], se establece que la inclusión de actores externos a la universidad, es una disposición que ha tenido gran impacto en México en el plano normativo, por lo que el modo predominante en que se realiza es mediante la creación de consejos sociales, se hace mención a la Ley General de Educación Superior, además, considera que en el plano externo a las universidades, la gobernabilidad supone el manejo de las relaciones de la universidad con el medio social, es decir, la capacidad para establecer acuerdos con agencias de Estado y entidades privadas e incorporarse a redes de producción y transmisión de conocimientos, articulando los sistema de gobierno de la institución con aquellos más generales que regulan las relaciones de los conjuntos organizacionales, es decir, que las diversas políticas implementadas desde el Estado guardan relación entre el Estado, la sociedad y las universidades. Vázquez, Rodríguez y González [14] mencionan que actualmente el sector universitario ha puesto especial énfasis en la búsqueda de la eficiencia, la equidad y la calidad de los servicios prestados a la sociedad, debido al mayor rendimiento que exige la cada vez más competitiva sociedad del conocimiento, Ruiz y López [10] colocan a la universidad como una comunidad en la cual profesores y estudiantes cambian y se mueven y que el paso más allá que se debe recuperar la

responsabilidad de toda universidad de liderar la gestión de conocimiento, la destreza de valores para afrontar los problemas sociales, económicos, ambientales. Vázquez, Rodríguez y González [14] refieren que las universidades públicas estatales en México reflejan una eficiencia relativa promedio de 80%, en los años 2010 y 2015, con la diferencia de que la evaluación separa la docencia y la investigación. Labraña y Brunner [5] determinaron que en su lugar parece emerger, en una reformulación de la noción de la universidad comprometida socialmente clásica de la reflexión intelectual latinoamericana, el arquetipo de la universidad con foco en la sustentabilidad que contribuye, a partir de sus actividades de docencia e investigación, a resolver los problemas económicos y sociales de los territorios donde está inserta. Otros autores como Rubio, Peña, Moncaleano y Sepúlveda [12] identificaron las variables que determina el impacto que genera la responsabilidad social en los estudiantes de una universidad colombiana y encontraron que las variables que la determinan están dadas en función de la decisión que asuma la institución universitaria para afrontar los cambios que ha traído consigo la modernidad y la evolución educativa. González y Ochoa [2] identificaron algunas experiencias de Aprendizaje Servicio (ApS), diseñadas desde universidades de España y México, que respondan a las dimensiones que se proponen y tiendan a los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS), para conocerlas, analizarlas, compararlas y valorarlas. Las experiencias son aplicadas por estudiantes universitarios, con el apoyo de organismos en red, como servicio a la comunidad, en sectores sociales vulnerables de infancia, adolescencia y juventud, de comunidades indígenas, mujer.

En tanto, Olarte y Ríos [9], en su obra, describen las tendencias que en la responsabilidad social universitaria, están implementando las instituciones de educación superior tanto públicas como privadas en distintas partes del mundo, las principales acciones conciernen a la orientación profesional del estudiante la cual está sometida a una reflexión ética del deber ser, de formarse integralmente para convertirse en protagonista del desarrollo de su comunidad, expresan también los autores que se requiere que el estudiante se dote de capacidades para realizar aviones de filantropía, voluntariado, trabajo con la comunidad y con la misma institución. Arechavala y Sánchez [1], en su artículo "Las universidades públicas mexicanas: los retos de las transformaciones institucionales hacia la investigación y la transferencia del conocimiento", identificaron que la mayoría de las universidades públicas en México tienen un reconocimiento jurídico como organismos descentralizados que obedece a la necesidad inherente de ser gobernada por pares, por otra parte, mencionan que para que una universidad contribuya a una labor colectiva en la comunidad internacional de investigación, se requiere mucho más que tener una planta académico con posición significativa de profesores con posgrado, por lo que consideran que cada universidad debe desarrollar incentivos y sistemas efectivos para que el tiempo de los académicos pueda enfocarse a la investigación.

Núñez [4], señala en su obra, que la Comisión Europea recientemente señaló al sector de las universidades como clave en la identidad europea y señalando también que Europa necesita más que nunca la contribución de las universidades a su desarrollo en un mundo cambiante con grandes retos como el cambio climático, transformación digital, periodos de grandes crisis económicas o sanitarias, por lo que señala como necesario el desarrollar una agenda a través de las áreas de educación e investigación con sistemas y redes alineados con los intereses comunes, valores propios, respeto a la ley y a los derechos humanos, así como a las normas y estándares internacionales, para lo cual las universidades pueden ayudar a enfrentar esos grandes desafíos sociales. En tanto, Santillán, Oliver, Grigorian, Climent y Melchor [11], proponen una oficina parlamentaria de asesoramiento científico y tecnológico en las Cortes Generales en España, la cual estaría encargada de favorecer espacios de confluencia entre el conocimiento científico y las políticas públicas y fomentar el debate entre políticos expertos y la sociedad en general, iniciativa que de establecerla en México, ayudaría al impulso de las políticas públicas para potencializar la investigación y desarrollo alineado a los ejes estratégicos de las áreas de atención prioritarias en el país. En la siguiente tabla 1 se presenta de forma resumida, el enfoque de cada investigación, así como su vinculación y/o relación con algún eje de incidencia social en México.

Tabla 1
Producción científica relacionada con aspectos de incidencia social en México

Año, autor	Nombre del artículo	Enfoque	Relación con ejes de incidencia social en México (Pronaces Conahcyt)
Arechavala y Sánchez (2017)	Las universidades públicas mexicanas: los retos de las transformaciones institucionales hacia la investigación y la transferencia de conocimiento	Incentivos y sistemas efectivos para que el tiempo de los académicos pueda enfocarse a la investigación.	Fomento a la investigación con enfoque a la incidencia social. *Eje*: **Educación**
González y Ochoa (2022)	Aprendizaje servicio en educación superior entre España y México. Hacia los ODS	Identificación de experiencias de Aprendizaje Servicio (ApS) aplicadas por estudiantes que respondan a los ODS con apoyo e organismos en red	Como servicio a la comunidad, en sectores sociales vulnerables de infancia, adolescencia y juventud, de comunidades indígenas, mujer. *Eje* (s):

 ISSN: 2007 8102

			seguridad humana, sistemas socio ecológicos
González, Maya, Zubieta, Yarto y Barbosa (2020)	Gestión de proyectos de diseño de alto impacto en comunidades marginadas urbanas y rurales en México	Gestión de proyectos académicos en vinculación con instancias gubernamentales que se consideran involucradas con comunidades en situación de pobreza y marginación, así como otras organizaciones de la sociedad civil.	Proyectos académicos en comunidades en situación de pobreza y marginación. *Eje (s):* **seguridad humana, sistemas socio ecológicos, soberanía alimentaria y vivienda**
Núñez (2022)	Estrategia europea para las universidades	Necesidad de desarrollo de una agenda educativa y de investigación con sistemas y redes alineados con los intereses comunes, valores propios, respeto a la ley y a los derechos humanos, así como a las normas y estándares internacionales	Fomento a la investigación con enfoque a la incidencia social y creación de sistemas alineados con valores e intereses comunes. *Eje (s)***: Educación, cultura.**
Labraña y Brunner (2023)	Transformación de la educación superior latinoamericana y su impacto en la idea de la universidad: Del acceso de élite a la masificación y universalización del acceso	Noción universitaria socialmente clásica y con foco en la sustentabilidad la cual contribuya a resolución de problemas económicos y sociales en los territorios en los cuales se inserta.	Formación universitaria con contribución a la resolución de problemas sociales. *Eje (s):* **Educación, sistemas socio ecológicos**
Martínez, Gil y Macías (2023)	Revisión sistemática de Responsabilidad Social Universitaria y Aprendizaje Servicio. Análisis para su institucionalización	Responsabilidad Social Universitaria constituye una línea de acción que se requiere a las universidades para generar iniciativas de comprensión y resolución de problemas	Desafíos globales que enfrenta la sociedad, los estudiantes deben estar preparados para hacer frente a soluciones concretas y comprometidas con la sociedad. *Eje (s).* **Educación, sistemas socio ecológicos**
Huerta (2016)	Carencias Sociales: una visión desde el Proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación 2016	Presupuesto federal destinado a programas que atienden a las carencias sociales para medir la pobreza por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval): Alimentación, rezago educativo, acceso a la seguridad social, calidad y espacios de la vivienda y/o de servicios básicos de la vivienda.	Carencia en alimentación y acceso a servicios de salud, *Eje (s).* **Salud, soberanía alimentaria**
Nosiglia y Mulle (2015)	El gobierno de las instituciones universitarias a partir de la Ley de Educación Superior: Un análisis de los Estatutos	Universidades con capacidad para incorporarse a redes de producción y transmisión de conocimientos en articulación con los sistemas de gobierno.	Manejo de las relaciones de la universidad con el medio social. *Eje (s).* **Educación.**
Olarte y Ríos (2015)	Enfoques y estrategias de responsabilidad social implementadas en instituciones de Educación Superior. Una revisión sistemática	Enfoques y estrategias de responsabilidad social en la educación universitaria	Estrategias de responsabilidad social. *Eje (s).* **Educación.**
Ruiz y López (2019)	La misión de la universidad en el siglo XXI: comprender su origen para proyectar su futuro	La universidad como actor para la gestión de conocimiento, la destreza de valores para afrontar los problemas sociales, económicos, ambientales	Estrategia centrada en la formación de valores para afrontar problemas sociales. *Eje (s).* **Cultura y Educación.**

 ISSN: 2007 8102

Santillán, Oliver, Grigorian, Climent y Melchor (2020)	Ciencia en el Parlamento: la necesidad de una oficina parlamentaria de asesoramiento en ciencia y tecnología	Asesoramiento científico y tecnológico, favorecer la confluencia entre el conocimiento científico y las políticas públicas.	Potencializar la investigación y desarrollo alineado a los ejes estratégicos de las áreas de atención prioritarias en el país. *Eje (s):* **Educación**.
Rubio, Peña, Moncaleano y Sepúlveda (2022)	Variables que determinan el impacto de la responsabilidad social en estudiantes de educación superior. Formación universitaria	Variables que determina el impacto que genera la responsabilidad social en los estudiantes universitarios	Decisiones que asume la institución universitaria para con la responsabilidad social determinan el impacto que se genere en proyectos académicos de incidencia social. *Eje (s):* **cultura, educación**
Valdés y Saavedra (2019)	Análisis crítico sobre el uso del SROI en la evaluación del impacto social en iniciativas de emprendimiento social: caso México	Emprendimiento social como eje impulsor de apoyo ante los servicios de salud problemáticas sociales con déficit de atención	Problemas sociales en el Estado como la pobreza, el desempleo, difícil acceso a la educación. *Eje (s:)* **educación, seguridad humana**
Vázquez, Rodríguez y González (2020)	Determinando la eficiencia en docencia e investigación en las universidades mexicanas	Búsqueda de la eficiencia, la equidad y la calidad de los servicios prestados a la sociedad, debido al mayor rendimiento que exige la sociedad del conocimiento en el sector universitario.	Sector universitario en búsqueda de la eficiencia, equidad y calidad. *Eje (s:)* **educación, seguridad humana**
Zaragoza, Merigó y Alfaro (2021)	Bibliometric analysis of innovation in Mexico	Innovación en las universidades destacando el área de la salud con mayor cantidad de publicaciones científicas.	Uso de técnicas bibliométricas para identificar hacia donde se direcciona la innovación en México, destacando en ello el área de la salud. *Eje (s):* **Salud**

Nota. La tabla muestra la relación de la producción científica con los ejes de incidencia social en México en un periodo de 2015 a 2023.

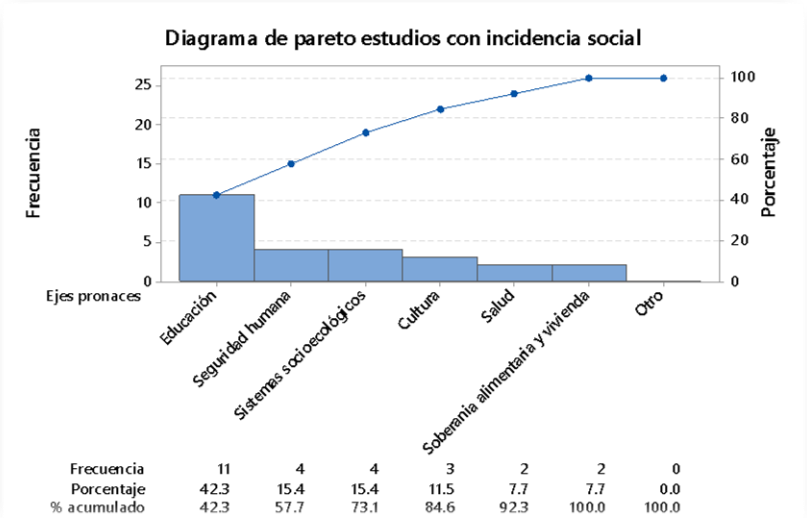
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados preliminares del estudio permiten identificar que el tema de la incidencia social es un término que se tiene como eje en el desarrollo de la ciencia y tecnología en el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología en México, ya que de a cuerdo al motor de búsqueda del presente estudio, este término solo lo relacionan con estrategias organizacionales en las instituciones de educación superior tanto en México como en países latinoamericanos. En este sentido, las principales líneas de trabajo encontradas en la búsqueda se encuentran:

1.- Iniciativas para enfrentar los desafíos globales
2.- Necesidad de inclusión de actores externos en la universidad
3.- Relaciones de la universidad con el medio social
4.- Búsqueda de la eficiencia, la equidad y la calidad de los servicios prestados a la sociedad
5.- servicios prestados a la sociedad, debido al mayor rendimiento que exige la cada vez más competitiva sociedad del conocimiento. Así mismo, en la siguiente ilustración 1 se representa la frecuencia de estudios con el eje temático “incidencia social o desarrollo social” relacionados con algún o alguno de los programas nacionales estratégicos (pronaces) de Conahcyt, de destacando que el eje con mayor frecuencia es el de Educación, seguido por el de seguridad humana y sistemas socioecológicos en la segunda posición y cultura como tercer eje con mayor frecuencia.

Ilustración 1
Frecuencia de los estudios consultados sobre incidencia social relacionados con los pronaces de Conahcyt

 ISSN: 2007 8102



Nota. La Ilustración describe mediante un Diagrama de Pareto, la frecuencia de los estudios consultados cuyos contenidos se encuentran relacionados con algún o algunos de los pronaces de Conahcyt. Fuente: Autoría propia

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados preliminares del estudio se concluye que de acuerdo a los diez programas nacionales estratégicos del Consejo de Humanidades, Ciencia y Tecnología en México específicamente el eje “Educación” y la relación que éste guarda con la “incidencia social”, sólo se limita a iniciativas, necesidades de estrechar vínculos, mejoramiento de la cultura e implementación de prácticas de responsabilidad social, sin embargo, en esta primer etapa de aproximación a productos derivados de investigación científica en cuanto a innovación con impacto a la incidencia social, aún no se ha reflejado a un nivel más claro y contundente con proyectos de impacto social enlistados en las bases de datos de consulta.

REFERENCIAS

[1] ARECHAVALA VARGAS, Ricardo; SANCHEZ CERVANTES, Claudia Fabiola. Las universidades públicas mexicanas: los retos de las transformaciones institucionales hacia la investigación y la transferencia de conocimiento. Rev. educ. sup, Ciudad de México , v. 46, n. 184, p. 21-37, dic. 2017 . Disponible en <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-27602017000400021&lng=es&nrm=iso>. accedido en 11 sept. 2023. https://doi.org/10.1016/j.resu.2017.09.001.

[2] González-Alonso, Fernando, Ochoa-Cervantes, Azucena, & Guzón-Nestar, José Luis. Aprendizaje servicio en educación superior entre España y México. Hacia los ODS. ALTERIDAD. Revista de Educación, 17(1), 76-88, 2022. Disponible en: https://doi.org/10.17163/alt.v17n1.2022.06

[3] González, A., Maya, L., Zubieta, R., Yarto, M. y Barbosa, S. Gestión de proyectos de diseño de alto impacto en comunidades marginadas urbanas y rurales en México. 2020. 24th International Congress on Project Management and Engineering Alcoi, 7th – 10th July 2020

[4] Núñez-Cortés, J. M. Estrategia europea para las universidades. Educac Médica. 23 (6), 2022. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.edumed.2022.100779.

[5] Labraña, Julio, & Brunner, José Joaquín. Transformación de la educación superior latinoamericana y su impacto en la idea de la universidad: Del acceso de élite a la masificación y universalización del acceso. *Perfiles educativos*, *44*(176), 138-151, 2022. Epub 17 de abril de 2023.https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2022.176.60539

[6] Martínez-Usarralde, María-Jesús, Gil-Salom, Daniela, & Macías-Mendoza, Doris. Revisión sistemática de Responsabilidad Social Universitaria y Aprendizaje Servicio. Análisis para su institucionalización. Revista mexicana de investigación educativa, 24(80), 149-172. 2019. Recuperado en 29 de junio de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662019000100149&lng=es&tlng=es.

[7] Huerta-Pineda, Alejandra. Carencias Sociales: una visión desde el Proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación 2016.Economía Informa,Volume 399. 2016.Pages 77-87. ISSN 0185-0849. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.ecin.2016.08.006.

[8] Nosiglia, María-Catalina, & Mulle, Verónica. El gobierno de las instituciones universitarias a partir de la Ley de Educación Superior 24.521: Un análisis de los Estatutos Universitarios. *Revista iberoamericana de educación superior*, *6*(15), 72-89. 2015. Recuperado en 30 de junio de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-28722015000100004&lng=es&tlng=es.

[9] D. Olarte-Mejía y L. Ríos-Osorio, "Enfoques y estrategias de responsabilidad social implementadas en instituciones de Educación Superior. Una revisión sistemática", RESU, vol. 44, n.º 175, pp. 19-40, jul. 2015.

[10] Ruiz-Corbella, Marta, & López-Gómez, Ernesto. La misión de la universidad en el siglo XXI: comprender su origen para proyectar su futuro. *Revista de la educación superior*, *48*(189), 1-19, 2019. Epub 24 de diciembre de 2019. Recuperado en 30 de junio de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-27602019000100001&lng=es&tlng=es.

[11] Santillán-García, A., Oliver, E., Climent, AM, & Melchor, L. CienciaenelParlamento: la necesidad de una oficina parlamentaria de asesoramiento en ciencia y tecnología. *Gaceta Sanitaria* , *35* (3), 293-297, 2020.

[12] Rubio-Rodríguez, Gustavo A., Peña, María I., Moncaleano, Angélica M., & Sepúlveda, Lizeth Y. Variables que determinan el impacto de la responsabilidad social en estudiantes de educación superior. Formación universitaria, 2022. 15(3), 3-10. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062022000300003

[13] VALDÉS-MEDINA, FILIBERTO ENRIQUE & SAAVEDRA-GARCÍA, MARÍA LUISA. ANÁLISIS CRÍTICO SOBRE EL USO DEL SROI EN LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIAL EN INICIATIVAS DE EMPRENDIMIENTO SOCIAL: CASO MÉXICO. 2019. AD-ministro, (35), 53-76. https://doi.org/10.17230/ad-minister.35.2

[14] Vázquez Rojas, Angélica María, Rodríguez Juárez, Eduardo, & González Cadena, Maribel. Determinando la eficiencia en docencia e investigación en las universidades mexicanas. 2020. *Revista de la educación superior*, *49*(196), 57-79. Epub 02 de marzo de 2021. Disponible en: https://doi.org/10.36857/resu.2020.196.1407

[15] Zaragoza-Ibarra, A., Merigó Lindahl, J. M., & Alfaro-Calderón, G. G. Bibliometric analysis of innovation in Mexico.2021. Inquietud Empresarial, 21(1), 75-101.

 ISSN: 2007 8102

Nivel de satisfacción en los estudiantes de una IES del Estado de México

A. Gorostizaga Herrera[1], L. Beltrán Castillo[1.]*
[1] Subdirección de Posgrado e Investigación, Estudios Superiores de Chimalhuacán, Primavera s/n, Col. Santa María Nativitas, C.P. 56330, Chimalhuacán, Estado de México
*arelygorostizaga@teschi.edu.mx

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen
El presente trabajo tiene como objetivo principal la identificación de la satisfacción de los estudiantes del TecNM Campus Chimalhuacán con referencia a calidad académica, servicios e instalaciones, vida en el campus y satisfacción en general. El método de estudio es descriptivo, con enfoque cuantitativo y muestreo aleatorio de una población de 4336 y una muestra de 1474 estudiantes. Se utilizó un con una escala tipo Lickert, analizando los datos con el programa SPSS con un nivel de confianza de 95% y un rango de error del 5%. La investigación permitió hacer visibles las áreas de oportunidad que pudo atenderse para incrementar la satisfacción de los estudiantes con referencia a los aspectos abordados. Recomendando el uso del instrumento a la población completa, con la finalidad de poder mejorar su adaptación a las diferentes condiciones de la IES y tomar decisiones acertadas para la mejora.

***Palabras clave**: Satisfacción, IES, estudiantes*

Abstract
The main objective of this work is to identify the satisfaction of the students of the TecNM Campus Chimalhuacán with reference to academic quality, services and facilities, life on campus and satisfaction in general. The study method is descriptive, with a quantitative approach and a random sample of a population of 4,336 and a sample of 1,474 students. A questionnaire with a Likert-type scale was obtained, analyzing the datawith the SPSS program with a confidence level of 95% and an error range of 5%. The research allowed visibleareas of opportunity that could be addressed to increase student satisfaction with reference to the aspects addressed. Recommending the use of the instrument to the entire population, in order to be able to improve its adaptation to the different conditions of the IES and make the right decisions for improvement.

***Key words**: Satisfaction, IES, students*

Introducción
El nivel de satisfacción de los servicios en una Institución de Educación Superior (IES), es uno de los indicadores más importantes desde la inscripción del estudiante hasta el término de la carrera profesional, de acuerdo con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 4. Se pretende que la educación sea inclusiva y equitativa y que esta promueva oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos [1]. Por lo que la calidad educativa debe ser prioritaria en cada uno de los diferentes niveles de formación académica, desde la perspectiva de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y como parte de los tres principios generales se enuncia como punto de referencia; "*la necesidad de la relevancia, de la equidad de acceso y resultados y de un cumplimiento adecuado de los derechos individuales" [2]. E*ste organismo internacional también considera 5 dimensiones de las cuales el apartado 3 denominado *Insumos capacitadores* menciona que la estructura física, las instalaciones y el recurso humano son elemento clave para poder ofrecer calidad en la educación y los indicadores de insumos permiten controlar la forma en la cual se llevan a cabo los procesos.

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), se deben producir indicadores para el monitoreo constante de las acciones encaminadas al logro del ODS 4, entre los que destacan; Datos "administrativos" educativos que son la información recopilada en la gestión del sistema educativo y/o implementación de sistemas de información educativa. Producidos por ministerios de educación para propósitos de administración y planificación y estadística, y Datos administrativos Financieros y de Gastos Educativos mismos que provienen de los reportes de ejercicio del gasto como son la construcción y el mantenimiento de las escuelas, los salarios de los docentes, incluidos los suministros, el transporte y

 ISSN: 2007 8102

otros costos [3].

Para México desde hace ya varios años, la mejora en la calidad educativa se ha convertido en una prioridad política y social, debido a las altas tasas de pobreza, la fuerte desigualdad y el aumento de la criminalidad que se ha dado en los diferentes estados de la república. En un estudio realizado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) [4], en el país se encuentra bien establecida la planificación estratégica de la educación superior. Y es a través de los Planes Nacional y Sectorial que se visualiza una ruta de trabajo. Sin embargo, este organismo refiere que: varias de las IES de educación técnica son pequeñas y con poca conexión entre ellas lo que crea riesgos para la calidad. Menciona que, si bien la afiliación al Tecnológico Nacional de México ha permitido a los institutos tecnológicos tener acceso a valiosos recursos compartidos en apoyo al aprendizaje, estas instituciones carecen de flexibilidad para adaptar su trabajo a las circunstancias locales.

La satisfacción en servicios educativos se puede evaluar a través de indicadores que permiten identificar el nivel de calidad de la IES, y de acuerdo con enfoque al cliente o consumidor, esta se puede visualizar a través de diferentes instrumentos desde un sencillo cuestionario de satisfacción o insatisfacción [5], o indicadores más complejos.

El Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán (TESCHI), es una institución de educación superior que forma parte del Tecnológico Nacional de México (TecNM), siendo creado como un Organismo Público Descentralizado de carácter estatal [6].

En los últimos años ha aumentado la matrícula de ingreso al TESCHI y según datos proporcionados en el informe anual de actividades había 4004 estudiantes en 2017, 4629 estudiantes en 2018, 4692 estudiantes en 2019, 4551 estudiantes en 2020, 4924 estudiantes en 2021, 5008 estudiantes en 2022. [7,8,9,10,11,12] y para el periodo 2023-1 una matrícula de 4678, por lo que muchas veces las áreas, departamentos y direcciones presentan problemáticas de diferente índole dada la cantidad de estudiantes que muchas veces rebasa la capacidad del recurso humano con el que se cuenta, ocasionando con ello que la percepción de atención y servicio al estudiante se vea afectado aunado a una disminución de la satisfacción del mismo.

El objetivo para esta investigación es identificar la percepción del nivel de satisfacción de los estudiantes de las diferentes carreras del TESCHI, con referencia a calidad académica, servicios e instalaciones, vida en el campus y satisfacción en general.

Metodología

El presente trabajo expone los resultados obtenidos de una investigación descriptiva en la que se aplicó un cuestionario a estudiantes de las diferentes carreras y semestres que oferta el TecNM Campus Chimalhuacán, se seleccionaron de esta manera para que la información que se presente sea lo más objetiva posible. Se seleccionaron diferentes grupos de cada especialidad, los cuales son representativos de la población estudiantil para el semestre 2022-1 (febrero-julio 2022).

Se diseñó un cuestionario adaptado de Benassini (2009), que consta de 4 variables y 17 ítems, donde el primer bloque evalúa la calidad académica (calidad y reputación, experiencia académica, consejo académico, capacidad y motivación del estudiante y accesibilidad al profesorado, costo de la asistencia académica), el segundo bloque evalúa los servicios e instalaciones del campus (servicios, registro académico, becas, estado físico del campus, instalaciones en clase y laboratorio, biblioteca, accesibilidad/estacionamiento, residencias de estudiantes, comidas: calidad e instalaciones), el tercer bloque evalúa la vida en el campus (instalaciones deportivas, deportes al aire libre, clubes y organizaciones, diversidad de estudiantes, seguridad en el campus, actividades y extra escolares) y el último bloque evalúa la satisfacción en general, mediante una escala Lickert. El cuestionario fue aplicado a cada grupo por parte de equipo de investigación y la información fue procesada mediante el software SPSS.

La población estudiantil para el periodo 2021-1 en el TESCHI fue de 4336 estudiantes, para determinar el tamaño de muestra se consideraron las diferentes carreras de licenciatura en administración y gastronomía y las ingenierías de mecatrónica, sistemas, química y animación y efectos visuales del

 ISSN: 2007 8102

TESCHI las respuestas las otorgaron hombres y mujeres de entre 18 y 27 años que se encuentran cursando de 3ro a 9vo semestre de la carrera. Se tomó una muestra representativa aleatoria de 1474 estudiantes. En un segundo momento de la investigación se ampliará el tamaño de muestra.

Tabla 1. Número de estudiantes por carrera

	Ingenierías/Licenciaturas	Población	Muestra
1	Lic. Administración	807	260
2	Lic. Gastronomía	902	269
3	Ing. Mecatrónica	268	121
4	Ing. Química	467	212
6	Ing. Animación y efectos visuales	770	387
7	Ingeniería en sistemas	605	225
8	Ingeniería Industrial *	379	0
	Total de estudiantes	4336	1474

Para explicar el trabajo investigado el equipo solicito datos al Departamento de Control Escolar mismo que proporciono el número de matrícula por carrera para poder definir el tamaño de muestra, una vez definido el tamaño de muestra se aplicó el cuestionario entre marzo y abril del 2022-1, lo que permito conformar la base de datos e identificar en nivel de satisfacción de los estudiantes obteniendo un panorama general y poder realizar el análisis cuantitativo mediante un análisis de estadística descriptiva apoyado en el programa SSPS, aplicado a1474 estudiantes hombres y mujeres de semestres de 3ro a 9vo con una edad de entre 18 y 27 años.

Análisis estadístico de los datos este apartado de la metodología se llevó a cabo el análisis mediante estadística descriptiva, utilizando el programa SSPS, con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, lo que permitió identificar cuáles son los indicadores significativos en el nivel de satisfacción en relación con; calidad académica, servicios e instalaciones del Campus, la vida en el Campus y la satisfacción en general. Mediante tablas, graficas de frecuencias y las medidas de tendencia central.

Resultados y discusión

El 17.6% de la muestra correspondió a la licenciatura en administración, el 14.4% a ingeniería química, el 8.2% a ingeniería en mecatrónica, el 18.2% a la licenciatura en gastronomía, el 15.3% a ingeniería en sistemas computacionales, y el 26.3% de ingeniería en animación y efectos visuales, cabe mencionar que estos datos van variando según el semestre, las bajas, las deserciones etc., que se presenten en el campus.

Tabla 2. Porcentaje de estudiantes por carrera

Carrera	Frecuencia	Porcentaje
Licenciatura en Administración	260	17.6
Ingeniería Química	212	14.4
Ingeniería Meca trónica	121	8.2
Licenciatura en Gastronomía	269	18.2
Ingeniería en Sistemas Computacionales	225	15.3
Ingeniería en Animación Digital y Efectos Visuales	387	26.3
Total	1474	100.0

La medida de tendencia central respecto a la *calidad académica* la percepción de los estudiantes en general está por encima de 3, destacando la media más alta en accesibilidad de profesorado con un 3.52 y experiencia académica con un 3.54, con referencia a la mediana la percepción del estudiante está en 4.0 para la mayoría de los ítems considerados, disminuyendo a 3.0 en consejo académico y costo de asistencia académica. Por su parte la varianza muestra una variabilidad en torno a la media de 0.912, 0.914, 0.858, 0.939, 0.954, 0.987.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 3. Medidas de tendencia central de satisfacción estudiantes respecto a calidad académica

	Calidad y reputación	Experiencia académica	Consejo académico	Capacidad y motivación del estudiante	Accesibilidad al profesorado	Costo de la asistencia académica
Media	3.45	3.54	3.31	3.47	3.52	3.28
Mediana	4.00	4.00	3.00	4.00	4.00	3.00
Moda	4	4	3	4	4	3
Desv. típ.	.912	.914	.858	.939	.954	.987
Varianza	.832	.836	.736	.882	.910	.973

La tendencia central respecto a la *satisfacción de los servicios e instalaciones del campus* la percepción de los estudiantes en general está por encima de 3, destacando la media más alta en estado físico del campus con 3.63 y accesibilidad/estacionamiento con 3,58, con referencia a la mediana la percepción del estudiante está en 4.0 en 4 de los 7 ítems considerados, disminuyendo a 3.0 en registro académico/becas y servicio de comida.

Tabla 4. Medidas de tendencia central de satisfacción estudiantes respecto a servicios e instalacionesdel campus.

	Servicios, registro académico, becas	Estado físico del campus	instalaciones en clase y laboratorio	Biblioteca	Accesibilidad/ estacionamiento	Residencias de estudiantes	Comidas: calidad e instalaciones
Media	2.91	3.63	3.54	3.57	3.58	3.45	3.13
Mediana	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00
Moda	3	4	4	4	4	3	3

La tendencia central respecto a la *satisfacción de la vida en el campus,* la percepción de los estudiantes en general está por encima de 3, destacando la media más alta en diversidad de estudiantes con 3.62 e instalaciones deportivas con 3.54, con referencia a la mediana la percepción del estudiante está en 4.0 en 7 de los 7 ítems considerados.

Tabla 5. Medidas de tendencia central de satisfacción estudiantes respecto a la vida en el campus.

	Instalaciones deportivas	Deportes al aire libre	Clubes y organizaciones	Diversidad de estudiantes	Seguridad en el campus	Actividades extra escolares
Media	3.54	3.52	3.53	3.62	3.41	3.45
Mediana	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Moda	4	4	4	4	4	4

Segundos resultados

La percepción de satisfacción de los estudiantes respecto a *calidad académica*, en cuanto a la calidad y reputación el 4% se encuentra muy insatisfecho, el 9% insatisfecho, el 35.0 % neutral, el 43% satisfecho y el 9.0% de los estudiantes muy satisfecho. El nivel de satisfacción con referencia a experiencia académica, la cual expresa que el 3 % de los estudiantes se encuentran muy insatisfechos, el 8% insatisfechos, el 30% neutrales, el 48% satisfechos y el 11% muy satisfechos.

 ISSN: 2007 8102

Gráfica 1. Calidad y reputación



La percepción de satisfacción de los estudiantes respecto a *calidad académica*, en cuanto al consejo académico el 4% se encuentra muy insatisfecho, el 9% insatisfecho, el 45% neutral, el 36% satisfecho y el 6% de los estudiantes muy satisfecho. El nivel de satisfacción con referencia a costos de la asistencia académica, la cual expresa que el 10% de los estudiantes se encuentra muy insatisfecho, el 11% insatisfecho, el 41% neutral, el 32% satisfecho y el 10% muy satisfecho.

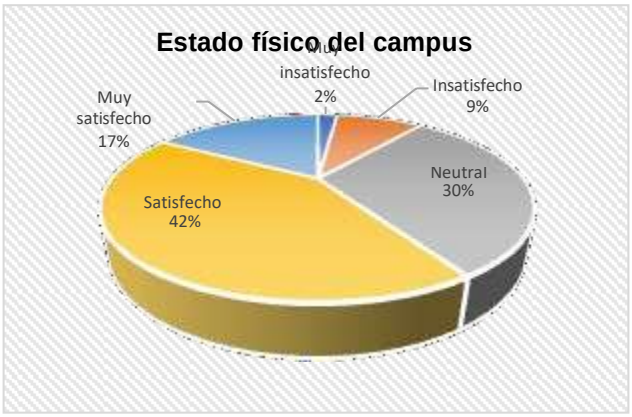
Gráfica 2. Costos de la asistencia académica



De acuerdo la percepción de satisfacción de los estudiantes respecto a servicios e instalaciones del campus, en cuanto al estado físico del campus el 2% se encuentra muy insatisfecho, el 9% insatisfecho, el 30 % neutral, el 42% satisfecho y el 17% de los estudiantes muy satisfecho. Por otro lado, el nivel de satisfacción con respecto a la biblioteca, la cual expresa que el 4% de los estudiantes se encuentran muy insatisfechos, el 7% insatisfechos, el 34% neutrales, el 40% satisfechos y el 15% muy satisfechos.

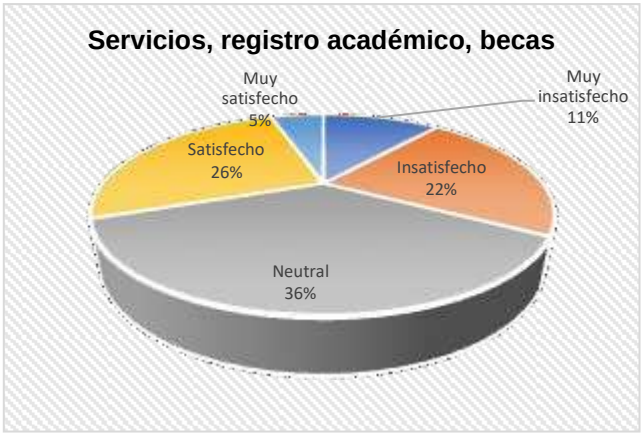
 ISSN: 2007 8102

Gráfica 3. Estado físico del campus



De acuerdo con lo mostrado en la gráfica 4 la percepción de satisfacción de los estudiantes respecto a serviciose instalaciones del campus, en cuanto a servicios, registro académico, becas el 11% se encuentra muy insatisfecho, el 22% insatisfecho, el 36% neutral, el 26% satisfecho y el 5% de los estudiantes muy satisfecho. En el nivel de satisfacción con respecto la comida o cafetería del campus, la cual expresa que el 10% de los estudiantes se encuentran muy insatisfechos, el 15% insatisfechos, el 38% neutrales, el 28% satisfechos y el 9% muy satisfechos.

Gráfica 4. Servicios, registro académico, becas



La percepción de satisfacción de los estudiantes respecto a la vida en el campus, en cuanto a la diversidad de estudiantes el 3% se encuentra muy insatisfecho, el 6% insatisfecho, el 33% neutral, el 43% satisfecho y el 15% de los estudiantes muy satisfecho. El nivel de satisfacción con respecto a las instalaciones deportivas, la cual expresa que el 3% de los estudiantes se encuentran muy insatisfechos, el 9% insatisfechos, el 31% neutrales, el 44% satisfechos y el 13% muy satisfechos.

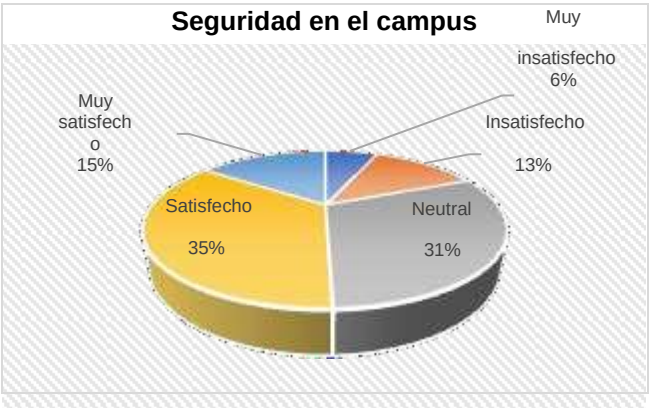
 ISSN: 2007 8102

Figuras 9 y 10. Diversidad de estudiantes e Instalaciones deportivas



La percepción de satisfacción de los estudiantes respecto a la vida en el campus, en cuanto a la seguridad en elcampus el 6% se encuentra muy insatisfecho, el 13% insatisfecho, el 31% neutral, el 35% satisfecho y el 15% de los estudiantes muy satisfecho. Tanto que el nivel de satisfacción con respecto a las actividades extraescolares, la cual expresa que el 6% de los estudiantes se encuentran muy insatisfechos, el 8% insatisfechos, el 34% neutrales, el 39% satisfechos y el 13% muy satisfechos.

Gráfica 5. Seguridad en el campus y actividades extraescolares



Trabajo a futuro

Para el seguimiento de la investigación presentada se considera:

- Dar continuidad al nivel de satisfacción a todas las carreras que conforman al TESCHI, incluyendo la Maestría en Administración y los estudiantes de Sistema Abierto e Ingeniería Industrial, puesto que quedaron fuera de esta primera etapa de la investigación.
- Ampliar el tamaño de muestra.
- Revisar cuales son los indicadores que demostraron estar por debajo de la media para poder proponer estrategias de solución que permitan aumentar el mismo.

Conclusiones

En el presente trabajo se revisaron indicadores relacionados con; calidad académica, servicios e instalaciones del campus, vida en el campus y satisfacción en general en una Institución de Educación Superior ubicada en el Estado de México. El TESCHI como joven institución va avanzando a la consolidación de cada una de sus áreas, departamentos y direcciones, en la búsqueda de mejora constante, siendo los estudiantes uno de los indicadores más importantes que permiten hacer visibles las áreas de oportunidad para que puedan atenderse de manera estratégica.

Los datos obtenidos con base en el instrumento utilizado resaltaron que la *calidad académica* presenta áreas de oportunidad específicamente en consejo académico o la cercanía con autoridades de rango de

jefes de Área o Departamento, los estudiantes refieren lo mismo con respecto al costo de asistencia académica principalmente en los precios que se manejan en cuanto a historiales, constancias o papelería estudiantil.

El indicador de *servicios e instalaciones* a reflejo en la percepción un nivel de satisfacción superior a 3, ninguno alcanzo un 4 como media en general, siendo baja en; registro académico, becas, por lo que en un determinado momento el área correspondiente podría considerar generar estrategias que minimicen dicho nivel de insatisfacción, para la *calidad e instalaciones* de la cafetería la percepción estudiantil refirió que debe haber una mayor calidad.

Esta primera etapa de la investigación arrojó datos para poder recomendar estrategias que permitan minimizar el impacto en los ítems que presentaron medidas de tendencia por debajo de la media. Recomendándose también el uso del instrumento a una muestra más amplia con la finalidad de identificar de manera especifica si las áreas de oportunidad presentadas se perciben en la mayor parte de la población estudiantil.

Referencias

[1] Educación de Calidad, ODS 4, https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/education/, 2022
[2] UNESCO, Definición de Calidad, https://learningportal.iiep.unesco.org/es/fichas-praticas/monitorear-el-aprendizaje/indicadores-de-calidad-y-aprendizaje, 2022.
[3] CEPAL, Indicadores no monetarios de pobreza: avances y desafíos para su medición Memoria del seminario regional realizado en Santiago, los días 15 y 16 de mayo de 2017, CEPAL - Serie Seminariosy Conferencias N° 87, pp. 83-87, https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44087/S1701175_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y 2017.
[4] OCDE, El futuro de la educación superior en México: promoviendo calidad y equidad, 2019 https://www.oecd-ilibrary.org/sites/005689e0-es/1/1/1/index.html?itemId=/content/publication/005689e0-es&_csp_=1c6ecdb48734b63a4d746808b42e3596&itemIGO=oecd&itemContentType=book#componen t-d1e13947
[5] Alves, Raposo, La medición de la satisfacción de la enseñanza universitaria, [https://econwpa.ub.uni-muenchen.de/econ-wp/hew/papers/0511/0511004.pdf], s/f
[6] Decreto de creación Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán https://www.teschi.edu.mx/acerca_del_tecnologico/marco_juridico/PDF/decreto_de_creacion.pdf, 2022
[7] Informe anual de actividades 2017, Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán https://www.teschi.edu.mx/acerca_del_tecnologico/informe_actividades/PDF/InformeAnual%20%20de%20Actividades%202017.pdf
[8] Informe anual de actividades 2018, Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán https://www.teschi.edu.mx/acerca_del_tecnologico/informe_actividades/PDF/informe2018.pdf
[9] Informe anual de actividades 2019, Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán https://www.teschi.edu.mx/acerca_del_tecnologico/informe_actividades/PDF/Informeanual2019.pdf
[10] Informe anual de actividades 2020, Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán https://www.teschi.edu.mx/acerca_del_tecnologico/informe_actividades/PDF/informe2020.pdf
[11] Informe anual de actividades 2021, Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán https://www.teschi.edu.mx/acerca_del_tecnologico/informe_actividades/PDF/informe2021.pdf
[12] Informe anual de actividades 2022, Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán https://www.teschi.edu.mx/acerca_del_tecnologico/informe_actividades/PDF/informe2022.pdf
[13] J.-H. Cao, B.-K. Zhu, G.-L. Ji, and Y.-Y. Xu, "Preparation and characterization of PVDF–HFP microporous flat membranes by supercritical CO2 induced phase separation," *Journal of MembraneScience,* vol. 266, no. 1, pp. 102-109, 2005/12/01/ 2005.
[14] E. Reverchon, S. Cardea, and C. Rapuano, "Formation of poly-vinyl-alcohol structures by supercriticalCO2," *Journal of Applied Polymer Science,* vol. 104, no. 5, pp. 3151-3160, 2007.
[15] E. Reverchon, E. S. Rappo, and S. Cardea, "Flexible supercritical CO2-assisted process for poly(methylmethacrylate) structure formation," *Polymer Engineering & Science,* vol. 46, no. 2, pp. 188-197, 2006.
[16] I. Tsivintzelis, E. Pavlidou, and C. Panayiotou, "Porous scaffolds prepared by phase inversion using supercritical CO2 as antisolvent: I. Poly(l-lactic acid)," *The Journal of Supercritical Fluids,* vol. 40, no. 2,pp. 317-322, 2007/03/01/ 2007.

 ISSN: 2007 8102

Orientaciones para evaluar formativamente y mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje

Willian Orlando Vargas Paredes, José Andrés Castillo Hernández
Universidad Americana de Europa (UNADE), wvargasparedes@yahoo.es https://orcid.org/0000-0002-4510-5645*; Padrón Veracruzano de Investigadores,* doctor_andres_castillo@acta.es
https://orcid.org/0000-0001-9403-8605

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

El crecimiento se da cuando se evalúa formativamente el aprendizaje, la propuesta es interiorizada en las comunidades educativas, que las alienta a participar en los procesos de evaluación para determinar qué se hace bien, qué áreas mejorar, cómo se usa la información que ofrecen las evidencias para lograr los aprendizajes esperados. El propósito del artículo es proporcionar pautas para el empleo de la evaluación formativa con el fin de favorecer la enseñanza y el aprendizaje, generando conciencia en los estudiantes no sólo de lo que aprenden, sino también de cómo lo aprenden y cómo lo usan al interactuar con sus pares y docentes. Evaluar formativamente requiere que docentes y estudiantes tengan claro qué desean lograr en términos de aprendizaje y desarrollo de competencias, su potencial está en el trabajo colaborativo de sus participantes, la comunicación en función de objetivos, criterios y el uso de la información para avanzar.

***Palabras clave**: Evaluación formativa, aprendizaje, mejoramiento*

Abstract

There will be no opportunity for growth if learning is not formatively evaluated. This idea is being internalized in educational communities, which encourages them to participate in evaluation processes to determine what is being done well, what areas need improvement, and how the information provided by the evidence is used to achieve the expected learning. The intention of the article is to offer guidelines for the use of formative assessment in order to favor teaching and learning, generating awareness in students not only of what they learn, but also of how they learn it and how they use it when interacting with their peers and teachers while learning. Formative evaluation requires that teachers and students are clear about what they want to achieve in terms of learning and development of competencies; its potential lies in the collaborative work of its participants, communication in terms of objectives and criteria, and the use of information to move forward.

***Key words**: Formative assessment, learning, improvement*

Introducción

Evaluar es un elemento clave en el proceso educativo, ya que proporciona información valiosa a los educadores sobre la efectividad de sus clases y el aprendizaje de los estudiantes, además, la información que provee les permite ajustar y adaptar su enfoque pedagógico, identificar estrategias de enseñanza más efectivas y abordar las necesidades individuales de los estudiantes.

Desde la conformación del Plan Decenal de Educación 2006-2016 los colombianos manifestaron la necesidad de revisar a profundidad las formas de evaluar que se desarrollan en el aula, superando su relación con procesos de calificación, promoción, reprobación y certificación, por otro que esté interesado en obtener información que describa y permita comprender cómo se está desarrollando el aprendizaje en los estudiantes, identificando dónde se requiere explicar, corregir, profundizar para seguir avanzando frente a los aprendizajes esperados [1, pp. 9-10].

De esta manera se materializó el decreto 1290 de 2009, el cual establece principios y lineamientos para evaluar a los estudiantes en los ciclos escolares de básica y media y otorga facultades a los establecimientos educativos para definir su Sistema Institucional de Evaluación de Estudiantes (SIEE), con el objetivo de promover

una evaluación integral que favorezca el mejoramiento de la calidad educativa, la formación de los estudiantes y la equidad en la educación, teniendo en cuenta los referentes emitidos por el Ministerio de Educación Nacional [1, p. 58]. Además, convoca a participar de forma activa a padres de familia y estudiantes en la toma de decisiones sobre aspectos académicos y formativos, enriqueciendo las miradas hacia el aprendizaje [1. P. 64].

El SIEE es un conjunto de pautas, protocolos e instrumentos utilizados por los centros educativos para evaluar las capacidades cognitivas y socioemocionales de los alumnos. Su propósito es recopilar información precisa y confiable sobre el progreso de los estudiantes, su nivel de logro en relación con los objetivos educativos establecidos, las habilidades, competencias adquiridas y tomar decisiones informadas para la mejora continua. Tiene en cuenta ámbitos, propósitos y alcances de las diferentes pruebas y valoraciones que hoy se aplican y desarrollan en el sector educativo. Los ámbitos considerados son: la evaluación externa (nacional e internacional) y la evaluación interna (evaluación en el aula); los propósitos: identificar características personales para valorar avances, generar información para orientar procesos educativos, implementar estrategias de apoyo a estudiantes con dificultades o actividades de profundización a los estudiantes con desempeños superiores, decidir sobre el avance de los estudiantes y ofrecer datos para el mejoramiento institucional [1, p. 74].

Teniendo en cuenta lo anterior, uno de los retos que hay que enfrentar es la brecha existente entre enseñanza, aprendizaje y evaluación que provoca incomunicación e irreflexión entre estas actividades vitales en la formación del ser humano. Esta ruptura le permite al docente eludir su responsabilidad frente al aprendizaje de sus estudiantes, al considerar que su tarea es enseñar y al estudiante le corresponde la de aprender y demostrarlo en el momento de la evaluación, destruyendo la coherencia y la lógica del proceso.

Esta situación ha despertado un interés especial por la evaluación a tal punto que se ha convertido en la principal razón para estudiar, dicho de otra manera, los estudiantes estudian para pasar y no para aprender, comprometiéndolos con memorizar información más que comprometerlos con su propio proceso de formación, convirtiéndolos en seres pasivos, que no logran movilizar lo que saben para resolver problemas cotidianos, pues el modelo de evaluación aplicado esta más interesado en lograr respuestas correctas que en desarrollar procesos de pensamiento [2. P. 15-16].

Lo anterior puede explicar las razones por las cuales el país no cuenta con buenos resultados en las pruebas externas a nivel nacional como internacional. Al analizar los resultados de la evaluación internacional de alumnos (PISA) del año 2018 [3, p.1] se concluye que: “los participantes colombianos obtuvieron promedios inferiores a la media de la OCDE, lectura crítica 412 puntos, matemáticas 391 puntos y ciencias 413”. Además, el 50% de los estudiantes se ubicaron al menos en el nivel 2 (en una escala de 6 niveles) en lectura y ciencias, mientras que en matemáticas solo el 35% logro ubicarse en este mismo nivel. El 40% de los participantes obtuvieron bajo nivel de logro en las tres áreas evaluadas. Las chicas superaron en 10 puntos los resultados de los chicos, pero se conserva la diferencia a favor de los chicos en matemáticas y ciencias [3, pp. 1-4].

Adicional a esto, en [4, p. 3] indicó: “el descenso en el promedio del puntaje global de los estudiantes de grado once, calendario A, de 255 en 2014 a 250 en el 2021”. En una escala de 0 a 500 puntos. Estos resultados dejan en evidencia las dificultades que tienen los estudiantes del país en el desarrollo de los aprendizajes esperados de acuerdo con los referentes de calidad y la falta de uso de la información que arroja el Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES) para realizar ajustes a nivel curricular y práctica pedagógica al interior de las aulas escolares.

Los resultados de las pruebas externas ponen en evidencia las dificultades que tienen las instituciones educativas del país para alcanzar los aprendizajes esperados, adicional a esto, la importancia de los resultados conlleva a que los docentes dediquen su esfuerzo a preparar a los estudiantes para las pruebas estandarizadas, generando problemas en el aula y en el ambiente de aprendizaje, ya que el docente es quien explica los principios fundamentales de las disciplinas y centra la evaluación en exámenes y calificaciones.

Contrarrestar esta situación requiere la aplicación consciente de la evaluación formativa centrada en la mejora de los aprendizajes y la corresponsabilidad de los participantes. La evaluación con enfoque formativo promueve comprender que enseñar y evaluar forman un componente de la misma actividad; el docente enseña y paralelamente evalúa, es así, que va observando qué actitud asumen los estudiantes frente a la clase, cómo abordan un problema para solucionarlo, cómo se involucra con el desarrollo de la actividad, orientando los ajustes a la enseñanza en respuesta a los retos de aprendizaje que ponen en evidencia los discentes en el desarrollo de actividades [5, p. 17].

Como lo menciona Anijovich y Cappelletti [6, p. 14] la evaluación formativa busca corregir errores a tiempo para mejorar los aprendizajes, convoca a los estudiantes a ser más conscientes de lo que aprenden, identificando las estrategias cognitivas utilizadas y cuáles de ellas facilitan o limitan su aprendizaje, logrando ser cada vez más eficientes al enfrentar una tarea. Se busca poner la evaluación al servicio del aprendizaje, logrando identificar su avance y contar con información confiable que permita generar oportunidades pertinentes para que cada estudiante logre aprender mejor.

Resulta cuestionable el proceso de evaluación que llevan a cabo los establecimientos educativos del país, toda vez que sus Sistemas de Evaluación de Estudiantes (SIEE) están estructurados sobre las bases de evaluación formativa, sin embargo, la información que genera el proceso, no es tenida en cuenta para mejorar el aprendizaje y el desarrollo de competencias que ayuden al estudiante a asumir con éxito su proyecto de vida. En este sentido se hace necesario abordar estos problemas y buscar alternativas para desarrollar un proceso de evaluación equilibrada, auténtica y contextualizada que utilice variedad de técnicas e instrumentos para valorar la diversidad de los estudiantes y sus experiencias individuales. Al abordar estos desafíos, podemos mejorar la calidad y la equidad de la evaluación en el ámbito educativo.

Se requiere entonces realizar una evaluación formativa de forma sistemática y sostenida en el tiempo con el propósito de fomentar reflexión, comprensión y aprendizaje y no solamente identificar el dominio conceptual o la capacidad de reproducción que hace el estudiante de la explicación que hace el docente en clase [7, p. 129]. Como también exhortar a los estudiantes a valorar y reflexionar sobre su propio trabajo y el de sus compañeros, movilizando su comprensión al emitir juicios de valor que hacen visible su aprendizaje, ya que su punto de vista es importante en la construcción del saber, esta voz adicionalmente le permite al docente revisar y ajustar el método de enseñanza.

En este sentido, el objetivo del artículo es: proporcionar pautas para el uso de la evaluación formativa con el fin de mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje, comprendiendo que la evaluación ya no responde a un conocimiento declarativo, donde se observa un resultado para decidir sobre la promoción, ahora al evaluar formativamente se busca que los estudiantes tomen conciencia sobre cómo aprenden, convirtiéndolos en actores centrales y activos del proceso enseñanza aprendizaje.

Metodología

Se realizó revisión sistemática de información con nivel descriptivo partiendo de los estudios potencialmente relevantes sobre la aplicación de la evaluación en un proceso formativo. Se efectuó una búsqueda exhaustiva de publicaciones desde enero de 2018 a enero de 2023 en español, en las bases de datos Google académico, Scielo, Dialnet, utilizando las palabras clave: “evaluación formativa y aprendizaje”, “evaluación para el aprendizaje”. Las publicaciones analizadas se seleccionaron con base en los siguientes criterios de inclusión: revistas relacionadas con educación, estudios sobre evaluación para el aprendizaje en el aula de clase o procesos para evaluar formativamente, aplicación de evaluación formativa por docentes de básica secundaria y docentes universitarios.

La ruta metodológica para organizar el trabajo siguió estos pasos: se estableció el tema de estudio -evaluación formativa y aprendizaje-, búsqueda en la bibliografía especializada, recopilación de datos de algunas publicaciones, análisis de la bibliografía pertinente, discusión de resultados y elaboración de conclusiones.

Resultados y discusión

En la actualidad la evaluación es un tema sensible y estructural para lograr aprendizajes significativos. Los docentes estaban acostumbrados a realizar su proceso de enseñanza, asignar actividades para que el estudiante aprendiera y después verificar con la evaluación qué se logró. La rutina de los procesos, los hacía creer que todo estaba bien, sin darse cuenta que pasaban por alto muchos de los elementos fundamentales. Ahora se busca desarrollar los tres procesos paralelamente (enseñar, aprender y evaluar) promoviendo la participación del estudiante como centro del proceso de aprendizaje.

Es necesario erradicar las prácticas tradicionales de enseñanza aprendizaje, ya que son ineficientes en términos de aprendizaje y desarrollo de competencias, se hace necesario abandonar la trasmisión de información e incorporar actividades en el aula que promuevan la indagación, reflexión y participación de los estudiantes, promoviendo comunicación de ideas, el uso del conocimiento previo y experiencia de vida para argumentar alternativas de solución a diversos problemas cotidianos, intercambiar puntos de vista con los docentes y pares en procura de negociar significados y construir nuevos escenarios de aprendizaje donde el estudiante logre darse cuenta de sus avances y dificultades y establezca alternativas de mejoramiento para seguir avanzando en su proceso de formación. Una educación que no se dedique a evaluar únicamente conocimientos, sino que, de apertura a las destrezas y actitudes, generando una evaluación integral del estudiante.

Desde esta perspectiva, se requiere darle vida a los SIEE de las instituciones educativas, contando con el apoyo y participación de las comunidades, en especial los órganos del gobierno escolar, para analizar el contexto educativo, los documentos institucionales y garantizar una coherencia entre el enfoque de enseñanza y el enfoque de evaluación. No se trata de elaborar documentos para dar cumplimiento a las normas educativas o elaborar enunciados sofisticados sin ningún impacto en las prácticas que se desarrollan en el aula de clase, se requiere todo lo contrario, una apuesta que represente el consenso de la comunidad para garantizar la formación

ética y responsable de los estudiantes, que ofrezca oportunidades de aprendizaje a todos los que participan en ella.

Se requiere entonces, un trabajo articulado entre docentes y estudiantes de forma crítica y constructiva, donde cada participante deba tener presente ¿qué desea lograr?, ¿qué avances se reflejan en el trabajo? y ¿qué decisiones y elementos se deben introducir para conseguir la meta propuesta? Este ejercicio reflexivo ofrece al estudiante la oportunidad de desarrollar autonomía y autorregulación para afrontar las tareas futuras con éxito, y al docente, profundizar su conocimiento disciplinar, reconocer las características y oportunidades que ofrece su estrategia metodológica, evaluativa y comunicativa, para seguir perfeccionándolas con base en la información que ofrecen los estudiantes [8, p. 85].

Además, es necesario verificar en distintos momentos y con instrumentos variados la forma en que se dan los aprendizajes, la manera efectiva de realizar la retroalimentación de las actividades, el desarrollo de la autoevaluación, coevaluación y heteroevaluación con base en criterios acordados, reconociendo la diversidad del aula y favoreciendo el crecimiento del estudiante, del docente y la vinculación de actividades que fomenten experiencias significativas y situadas.

El espacio de interacción, retroalimentación, sesión de preguntas respuestas, diálogo entre docente y estudiantes son la estrategia eficaz para validar la comprensión que poseen los participantes [8]. Por tanto, se deben tener en cuenta experiencias reales y contextuales en el aula de clase, además de movilizar las experiencias de los estudiantes para promover la participación de los mismos en los procesos de formación.

Pautas para el uso de la evaluación formativa

De acuerdo con Hortigüera, Pérez y González [9, pp. 15-17] son cinco las razones por las cuales se debe evaluar formativamente la producción del estudiante: primera, permite el desarrollo de conciencia sobre el trabajo escolar al acordar de forma anticipada el objetivo y criterios de evaluación, beneficiando el aprendizaje; segunda, promueve la autorregulación en el estudiante, desarrollando una cultura de organización, persistencia, capacidad para establecer tiempos, estrategias, roles, equipos de trabajo y asumir con responsabilidad acuerdos con base en sus potencialidades; tercera, transforma capacidades en competencias, no busca validar el dominio conceptual del estudiante, sino lo que es capaz de hacer con lo que aprendió, para identificar, prevenir y/o solucionar problemas solo o en grupo, haciendo visible sus fortalezas y debilidades; cuarta, diversidad en la retroalimentación, todos los integrantes del aula, pueden ofrecer información para mejorar el trabajo, dándole sentido a la estrategia metodológica e incentivando la participación y la interacción; y por último, mejora la práctica docente.

La mayor limitante que tienen los estudiantes en su aprendizaje es no comprender qué es lo que deben aprender, ya que la información que les ofrece el docente está relacionada con los temas a tratar, pasando por alto la necesidad imperiosa de dejar claro cuál es la meta de aprendizaje [7, p. 139]. No se trata de escribir en el tablero el objetivo de aprendizaje o leerlo durante el primer encuentro, ya que esto es lo que ocurre en la cotidianidad del aula de clase, los estudiantes no comprenden el objetivo de aprendizaje, ni el docente lo utiliza para direccionar su trabajo, no se encuentra ninguna relación entre este y la retroalimentación que ofrece o en muchos casos con las actividades que propone. Por tal razón urge la necesidad de ayudar al estudiante a comprender qué se espera de ellos en términos de aprendizaje, explicando, discutiendo, mostrando evidencias de cursos anteriores que permitan diferenciar productos buenos de los regulares, socializando los criterios de evaluación que orienten objetivamente el trabajo del estudiante.

Es fundamental la participación de tres actores: el profesor, los estudiantes y los compañeros, así como tres procesos cruciales: establecer y definir objetivos de aprendizaje (hacia dónde debemos ir), generar datos que demuestren el aprendizaje de los estudiantes (dónde estamos) y dar retroalimentación que permita a cada estudiante modificar su enfoque para mejorar (cómo estamos progresando). Cuando se combinan actores y acciones se producen cinco estrategias fundamentales para la evaluación formativa: compartir, esquematizar y comprender el objetivo de aprendizaje y los criterios de evaluación; crear actividades que demuestren el aprendizaje de los estudiantes; proporcionar retroalimentación oportuna y eficaz para asegurar el progreso de quien aprende; motivar a los estudiantes como fuente de aprendizaje entre pares; y fomentar la corresponsabilidad en el aprendizaje de los estudiantes [7, p. 137].

Se hace necesario incluir al estudiante en el proceso de aprendizaje y darle cierto grado de control directo sobre su educación. Nadie aprende hasta que se apropia de su propio aprendizaje, por lo que esto es crucial. Por tanto, debemos, por un lado, ayudar a los alumnos a comprender y apropiarse de los objetivos educativos y, por otro, fomentar su capacidad para reconocer y supervisar sus propios estilos de aprendizaje.

En este mismo sentido, Asiú [10, pp. 134-138] indica que desarrollar evaluación formativa en el aula, requiere la participación del profesor y estudiantes en el proceso de aprendizaje. Para que los alumnos se desarrollen plenamente, esta comunicación es esencial. De acuerdo con el autor, los elementos clave se refieren

a un proceso reflexivo, metódico, organizado y de retroalimentación que el profesor, actuando como facilitador, anticipa mientras crea actividades de aprendizaje. Resalta que la provisión de retroalimentación a lo largo del proceso de enseñanza es un elemento crucial que potencia el aprendizaje y mejora la relación de interacción entre los participantes.

Para aprovechar al máximo el potencial de los alumnos como fuente de retroalimentación pertinente para sus compañeros, hay que crear entornos y actividades. Las actividades de coevaluación, o aquellas en las que los alumnos evalúan y contribuyen a las actuaciones o trabajos de sus compañeros, pueden ayudar a desarrollar este potencial fomentando la cohesión del grupo, motivando a los alumnos y aportando nuevas perspectivas al trabajo realizado en el aula.

De modo similar, León [11, pp. 563-569] informa que las devoluciones que realiza el docente son elementos fundamentales de la evaluación formativa para el desarrollo del pensamiento crítico. Los resultados muestran que la retroalimentación formativa, que se estructura como una actividad mediada por el profesor y construida sobre una comunicación educativa dialógica horizontal con la reflexión y la visión compartida del aprendizaje como ejes primordiales, favorece el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes. El aprendizaje efectivo se basa en que los estudiantes sean capaces de evaluar sus logros, retos y desarrollo, así como de participar activamente en las decisiones sobre su propio aprendizaje.

Por su parte, Ortiz y Santamaría [12, p. 173] relacionaron técnicas e instrumentos para valorar las tareas del alumno y del docente mientras realizaban actividades de aprendizaje en lengua castellana y literatura. La propuesta de evaluación tuvo en cuenta el portafolio de evidencias, donde el estudiante registraba todas sus producciones, que incluían: comprensión lectora, producción escrita, socialización de productos, coevaluación y autoevaluación, el docente realizaba la retroalimentación efectiva, resaltando las fortalezas e indicando posibles alternativas para superar las dificultades identificadas, le correspondía al estudiante analizar la información, realizar las correcciones y volver a cargar la tarea en el portafolio y al docente registrar los progresos en función de los criterios de evaluación acordados en su registro anecdótico. En otro momento, se socializaba el desarrollo de talleres, espacio de preguntas y respuestas entre estudiantes, evaluación entre pares y nuevamente se registraba los hechos relevantes en el anecdotario del docente, la calificación se obtenía sumando los puntos logrados en cada una de las dimensiones acordadas bajo la información que otorgaban los instrumentos. La propuesta contempla instrumentos interconectados que implicaban a los estudiantes en su proceso de aprendizaje, además promovía la reflexión de los participantes y uso del conocimiento en la valoración del trabajo propio y el de sus compañeros.

Las reflexiones sobre la evaluación demuestran su importancia en el crecimiento de las personas, donde los procedimientos evaluativos se preocupan más por comprender el aprendizaje y la mejora de las capacidades de los alumnos que por medir logros o valorar conocimientos.

Evaluar formativamente requiere desarrollar un proceso continuo y sistemático para obtener evidencia sobre lo que aprenden los estudiantes, esta información se usa para identificar el nivel real del alumno, ofrecer retroalimentación oportuna, ajustar la clase para ayudar en la superación de las dificultades y la consecución de las metas con participación e implicación del estudiante no solo en el proceso de enseñanza, también en la evaluación, por tanto es crucial su voz en el trabajo de clase y el dialogo con sus pares en la construcción de saberes [5, pp. 36-46].

Realizar evaluación mientras se aprende es una herramienta potente para el aprendizaje, ya que convoca a los actores importantes (docente y estudiantes) a reflexionar sobre su actuación mientras aprenden, buscando interpretar de la mejor manera los datos que arrojan las evidencias, determinando en qué lugar se encuentran frente a las metas establecidas y qué deben hacer para mejorar y alcanzarlas, es decir, la evaluación insta a los participantes a reflexionar sobres sus acciones, estimulando la autorregulación, la toma de decisiones informada y la motivación para persistir en la tarea hasta lograrla.

Trabajo a futuro

A futuro se requiere realizar investigación que permita triangular el uso que hace el docente de la información que recoge de las evidencias de aprendizaje de los estudiantes para apoyar la superación de dificultades y avanzar hacia el logro de las metas establecidas (retroalimentación), cómo analiza y decodifica esta información en términos de mejoramiento de su praxis pedagógica para hacerla más eficiente. Además, se requiere indagar cómo el estudiante valora consciente y reflexivamente su estrategia para enfrentar con éxito el desarrollo de las actividades (metacognición), qué ajustes realiza con base en la retroalimentación y cómo se regula para persistir y garantizar aprendizajes significativos. De esta manera será posible comprender cómo este binomio fundamental reflexiona sobre su papel (facilitador/aprendiz) y hace uso de la información que ofrece la evaluación formativa de forma colaborativa y corresponsable para aprender más y mejor, como lo refiere Bizarro, Paucar y Chambi [13, p. 783] evaluar formativamente motiva al estudiante a reflexionar sobre sus aciertos y

 ISSN: 2007 8102

desaciertos, desarrollando autonomía y al docente a identificar tareas auténticas, mejorar el nivel de comprensión con ayuda de estrategias metodológicas y comunicativas en función de las necesidades identificadas.

Por otro lado, identificar las técnicas e instrumentos que faciliten la recolección de información en función de los objetivos, estilos y ritmos de aprendizaje, que faciliten la reflexión, comprensión y uso del conocimiento en la solución de situaciones cotidianas, además, aquellas que permitan conocer la experiencia que viven los estudiantes y docentes durante el desarrollo de los encuentros pedagógicos y evaluativos con el ánimo promover cambios en las prácticas de aula que favorezcan el aprendizaje y el avance en el desarrollo de pensamiento del estudiante.

Conclusiones

La evaluación formativa es un enfoque de la evaluación educativa que se utiliza para hacer seguimiento y mejorar tanto la enseñanza como el aprendizaje, por tanto, se realiza de forma continua y sistemática mientras se aprende, con el propósito de fomentar reflexión, comprensión y aprendizaje a través de la interacción consciente y constante de los participantes. Esta apuesta contrarresta el fraccionamiento del proceso formativo en diferentes actividades: enseñanza, aprendizaje, evaluación, promoviendo su desarrollo paralelo que permite observar y buscar información para comprender cómo están aprendiendo los estudiantes, qué dificultades existen, qué acciones se plantean para superarlas hasta alcanzar los objetivos de aprendizaje acordados.

Es necesario revisar la forma en que se analiza, define y socializa el SIEE en las instituciones educativas del país, verificando si los acuerdos establecidos se están llevando a cabo en las aulas escolares, si hay compromiso y corresponsabilidad en los actores educativos y con base en los resultados, convocar a la comunidad educativa nuevamente y replantear la estrategia para consolidar prácticas escolares que garanticen aprendizajes significativos en los estudiantes al promover el desarrollo de conocimientos, habilidades, actitudes que informan los referentes de calidad.

Al evaluar formativamente, se garantiza información que tiene como propósito mejorar el aprendizaje y la práctica docente, por tal motivo, requiere que el docente acuerde con sus estudiantes la meta de aprendizaje, las actividades a desarrollar, el tipo y características de las competencias asociadas y los criterios de evaluación para valorar los productos, elementos orientadores del proceso enseñanza aprendizaje que a su vez, promueven la autorregulación, convocando al estudiante a desarrollar una cultura de organización y asumir con responsabilidad los acuerdos establecidos, mejorando su disposición y participación. Estos acuerdos orientan el seguimiento y retroalimentación del trabajo escolar tanto a docentes como a estudiantes transformando capacidades en competencias, haciendo visible lo que es capaz de hacer con lo que aprende al enfrentar problemas cotidianos, como también, lo que hace falta superar con apoyo del docente y compañeros de clase para continuar aprendiendo y perfeccionando la estrategia de enseñanza.

Sin duda alguna la participación de los actores educativos es fundamental en el desarrollo del aprendizaje, por tanto, se requiere generar el espacio democrático para acordar junto a los estudiantes el objetivo y la determinación de criterios de evaluación, que los compromete con el trabajo escolar, ya que le permiten tener conciencia de lo que está aprendiendo, saber dónde se encuentra frente al objetivo de aprendizaje y decidir que falta por realizar para lograrlo, generando capacidad de autorregular tiempo, estrategias cognitivas, uso de herramientas y roles dentro del equipo de trabajo, que lo capacitan para aprender de forma autónoma y significativa, superando de esta forma la trasmisión de información, la pasividad del estudiante y la ausencia de corresponsabilidad en la formación que caracterizaba las prácticas tradicionales de aula.

Teniendo claro el objetivo y los criterios de evaluación (hacia donde vamos), se deben establecer las actividades de aprendizaje, espacios de diálogo, presentación de preguntas, actividades que brinden la oportunidad de hacer inferencias, generalizaciones, toma de posturas, interacción entre estudiantes, es decir, vincular actividades que generen la participación reflexiva de los estudiantes para que ellos y el docente se den cuenta de la comprensión lograda con el trabajo, dando la oportunidad de identificar errores, hacer nuevas preguntas para profundizar el dominio de la situación y avanzar en el aprendizaje, siempre teniendo presente la importancia de los aportes que ofrece el docente y los compañeros de clase.

En este punto es importante resaltar el diálogo entre pares y docentes en la construcción del conocimiento, es allí donde el estudiante vive la experiencia de usar lo aprendido para valorar consciente y objetivamente el trabajo realizado por sí mismo (autoevaluación) y el de sus compañeros (coevaluación) siguiendo una rubrica de evaluación o lista de chequeo que le indica con claridad los elementos esenciales de la actividad.

Evaluar formativamente requiere del diálogo y la reflexión permanente entre el docente y los estudiantes para dar cuenta objetivamente del desarrollo de competencias, habilidades, destrezas, actitudes, aptitudes y valores mientras realizan diferentes acciones, identificando fortalezas, debilidades y apoyando al estudiante en la toma de decisiones para seguir avanzando, realizar ajustes en la práctica pedagógica en función de las

necesidades de los estudiantes hasta alcanzar los aprendizajes esperados. En este sentido, se debe comprender que la enseñanza y la evaluación están al servicio del aprendizaje, ya que se evalúa para aprender más y mejor.

Otro elemento estructural es la retroalimentación que ofrece el docente y sus compañeros de clase, al trabajo realizado por el estudiante. Esta información valora las evidencias de aprendizaje no la persona que desarrolló el trabajo, otorgándole a la estrategia una visión técnica, democrática, ajustada a criterios que orientan el proceso para avanzar en la construcción de significados y aprendizaje significativo. Una buena retroalimentación ofrece información específica, relevante y oportuna sobre el progreso del estudiante, sus fortalezas y áreas en las que necesita mejorar. Estas orientaciones ayudan al estudiante a tomar decisiones y reorientar el enfoque de estudio concentrándose en los aspectos que requieren mayor atención, motiva a los estudiantes a reconocer sus logros y esfuerzos, a reflexionar sobre su propio aprendizaje, evaluar su desempeño y comprender como puede mejorar. Adicionalmente beneficia al docente, al exhortarlo a realizar ajustes en su estrategia de enseñanza en función de las necesidades de los estudiantes, perfeccionando su práctica pedagógica en función de las características del contexto.

Referencias

[1] H. Castro, E. Martinez, y Y. Figueroa, “Documento No. 11, *Fundamentaciones y orientaciones para la implementación del decreto 1290 de 2009*”, Ministerio de Educación Nacional, Revolución Educativa Colombia aprende, 2009. Disponible: https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-213769_archivo_pdf_evaluacion.pdf

[2] T. Moreno-Olivos, “Evaluación del aprendizaje y para el aprendizaje” en *Evaluación del aprendizaje y para el aprendizaje: reinventar la evaluación en el aula*, Universidad Autónoma Metropolitana, México, 2016, cap. 1, pp. 25-95. ISBN 978-607-28-0762-4. Disponible: http://repositorio.minedu.gob.pe/handle/20.500.12799/5958

[3] A. Echazarra y M. Schwabe, “Programme for international student assesment (PISA) Results from PISA 2018. Colombia-Contry Note-Pisa 2018 Results*”, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OECD*. (2019). [En línea]. Disponible: https://www.oecd.org/pisa/publications/PISA2018_CN_COL_ESP.pdf

[4] “Boletín Saber 11”, *Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación ICFES, mayo 2022*, [En línea]. Disponible: Boletín_digital_Saber11_2021_27_05_2022.pdf (icfes.gov.co)

[5] G. A. Clavijo-Clavijo, “Evaluación del y para el aprendizaje*”, Institute for the future of Education. Tecnológico de Monterrey*, 2021. Disponible: https://drive.google.com/file/d/19-QCWSJC_aizMeW0SUK2fJYXgBwExzZO/view

[6] R. Anijovich y G. Capelletti, *La evaluación como oportunidad*, Buenos Aires, Argentina, Editorial Paidos 2017, ISBN 978-950-12-9496-5.

[7] P. Ravela, B. Picaroni, y G. Loureiro, “Evaluación formativa” en *¿Como mejorar la evaluación en el aula?*, Montevideo, Uruguay, Grupo Magro Editores (2da Edición), 2019, cap. 4, pp. 122-184. ISBN 978-9974-8725-1-6.

[8] J. Murillo-Garnica, “Repensar la evaluación formativa como parte de los procesos de aprendizaje”, *Revista Caribeña de Investigación Educativa (RECIE)*,2019, 3(1), pp. 82-94. Disponible: https://revistas.isfodosu.edu.do/index.php/recie/article/view/143/144

[9] D. Hortigüela, Á. Pérez-Pueyo, y, G. González-Calvo, “Pero… ¿A qué nos Referimos Realmente con la Evaluación Formativa y Compartida?: Confusiones Habituales y Reflexiones Prácticas*”, Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 12(1), pp. 13–27, 2019, doi: https://doi.org/10.15366/riee2019.12.1.001 [En línea]. Disponible: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6908770

[10] L. E. Asiú-Corrales, A. M. Asiú-Corrales, y, O. A. Barboza-Díaz, “Evaluación formativa en la práctica pedagógica: una revisión bibliográfica*”, Revista Conrado*, 17(78), pp. 134-139, 2021 Disponible: http://scielo.sld.cu/pdf/rc/v17n78/1990-8644-rc-17-78-134.pdf

[11] M. León-Warthon, “Evaluación formativa: el papel de retroalimentación en el desarrollo del pensamiento crítico*”, Maestro y Sociedad,* 18(2), pp. 563-571, 2021, Universidad César Vallejo, Lima, Perú, ISSN 1815-4867, 18(2) 2021. Disponible: https://maestroysociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/5359/4978

[12] R. Ortiz-de-Santos, y N. Santamaría-Cárdaba, “Diseño de un sistema de evaluación formativa en el área de lengua castellana y literatura*”, Infancia, Educación y Aprendizaje (IEYA)*, vol. 5, no. 2 (edición especial), pp. 171-177, 2021, ISSN: 0719-6202. Disponible: https://revistas.uv.cl/index.php/IEYA/article/view/1510/1744

[13] W. Bizarro-Flores, E. Chambi-Mescco, y, P. Paucar-Miranda, “Evaluación formativa: una revisión sistemática de estudios en aula*”, Horizontes. Revista de Investigación en Ciencias de la Educación, vol. 5, no. 19, pp. 872-891, 2021,* ISSN: 2616-7964. Disponible: https://revistahorizontes.org/index.php/revistahorizontes/article/view/265/614

 ISSN: 2007 8102

Propuesta educativa medida por tecnología desde una metodología activa: Modelo de aula invertida Microsoft

Elfer Isaías, Clemente Camacho [1], Juan Carlos Niños Torres [2], María Guadalupe Monjarás Velasco [1], Brenda Lizet Pérez Chacón [1], María Delina Culebro Farrera [1]*
[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez Departamento de Sistemas y Computación
[2] Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez Departamento de Metal-Mecánica*
juan.nt@tuxtla.tecnm.mx

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

El objetivo de este proyecto es presentar la iniciativa de emplear una metodología activa para mejorar y potenciar el quehacer docente con respecto de las clases virtuales en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. La investigación tiene un diseño experimental. Para la recolección de información se trabajó de manera documental, para generar el modelo titulado “Aula Invertida Microsoft” (AIM), y se trabajó con jóvenes de octavo semestre de Ingeniería en Gestión Empresarial. Los resultados de la propuesta muestran que la implementación de esta metodología es totalmente viable y puede ser replicada en cualquier institución para innovar y fortalecer su proceso de enseñanza-aprendizaje, independiente de su presupuesto para inversión en tecnología. En conclusión, este planteamiento mejora la interacción entre docente y estudiante y potencia la experiencia áulica en el proceso de enseñanza aprendizaje.

***Palabras clave**: Tecnología, propuesta, educación, invertida.*

Abstract

The objective of this paper is to present a work proposal using an active methodology to improve and enhance the teaching practices with respect to virtual classes at the Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. The research has an experimental design. For the collection of information, we worked in a documentary way to generate the proposal entitled "Aula Invertida Microsoft" (AIM), and we worked with young people in the eighth semester of Engineering in Business Management. The results of the proposal show that the implementation of this methodology is totally viable and can be replicated in any institution to innovate and strengthen its teaching-learning process, regardless of its budget for investment in technology. In conclusion, this proposal improves the interaction between teacher and student and enhances the classroom experience in the teaching-learning process.

***Key words**: Technology, proposal, education, flipped.*

Introducción

La finalidad de esta investigación es de incrementar el aprendizaje autónomo del estudiante para que a futuro pueda enfrentar a situaciones reales en lo académico y profesional, así como, también incentivar actitudes positivas para la adquisición de nuevos conocimientos [1].

Con la implementación del aula invertida "flipped classroom" el resultado esperado es invertir el modelo tradicional, en el que los maestros desarrollen materiales en el aula, dejen tareas y las actividades fuera del aula y lo transfieran a un modelo que, apoyado por las TIC, los docentes desarrollen materiales digitales y los estudiantes fuera del aula realicen determinados procesos de aprendizaje para que los docentes en el aula intervengan como facilitadores, para potenciar y promover los procesos de adquisición y práctica de conocimientos; de esta manera, se fomenta la participación de los estudiantes y el cambio de paradigma del docente.

 ISSN: 2007 8102

Desde esta perspectiva, se pretende exponer una iniciativa tecnológica destinada a la propuesta e implementación de un Aula Invertida, como método pedagógico en materias de formación en el nivel de educación superior. Este modelo para aula invertida tiene su sustento pedagógico en el plan realizado [2], (Modelo pedagógico Flipped Classroom), en el cual el aprendizaje es el centro del proceso educativo, lo que es consistente con un modelo basado en competencias, teniendo el estudiante un rol protagónico y el docente como facilitador del proceso de aprendizaje, que promuevan la integración de los distintos saberes del estudiantado y el desarrollo de sus habilidades cognitivas [3].

Es por lo que, se presenta un soporte tecnológico para facilitar la implementación del aula invertida denominada AIM, utilizando de las herramientas disponibles de Microsoft 365 dado a uso masivo y gratuito, que permitan adaptar este planteamiento de modelo a cualquier campo disciplinario de la educación superior independientemente la asignatura y en distintos contextos educativos.

Metodología

El documento propone un modelo tecnológico para Clase Invertida, denominada AIM (Aula Invertida con Microsoft) con el propósito de dar un soporte mediado por las TIC a cualquier nivel educativo. Es importante que el personal docente tenga en cuenta la revisión de los temas, los resultados de aprendizaje esperados y la planificación pedagógica adecuada al incorporar recursos tecnológicos en el contexto curricular. De esta manera, se garantiza su uso efectivo.

Con lo anteriormente expuesto en la introducción, la propuesta consiste en el uso de las aplicaciones de Microsoft 365 como recurso tecnológico para la implementación del aula invertida. Dentro las aplicaciones a usar están: Word, Excel, Power (en sus versiones online o de escritorio), Stream, Microsoft Teams, One Drive, Meet, Forms, Sway, etc., como se observa en la Figura 1. Como toda la suite es gratuita en su versión estudiantil, la implementación no necesita ninguna inversión adicional, solamente se debe contar con una conexión a internet y un dispositivo móvil.

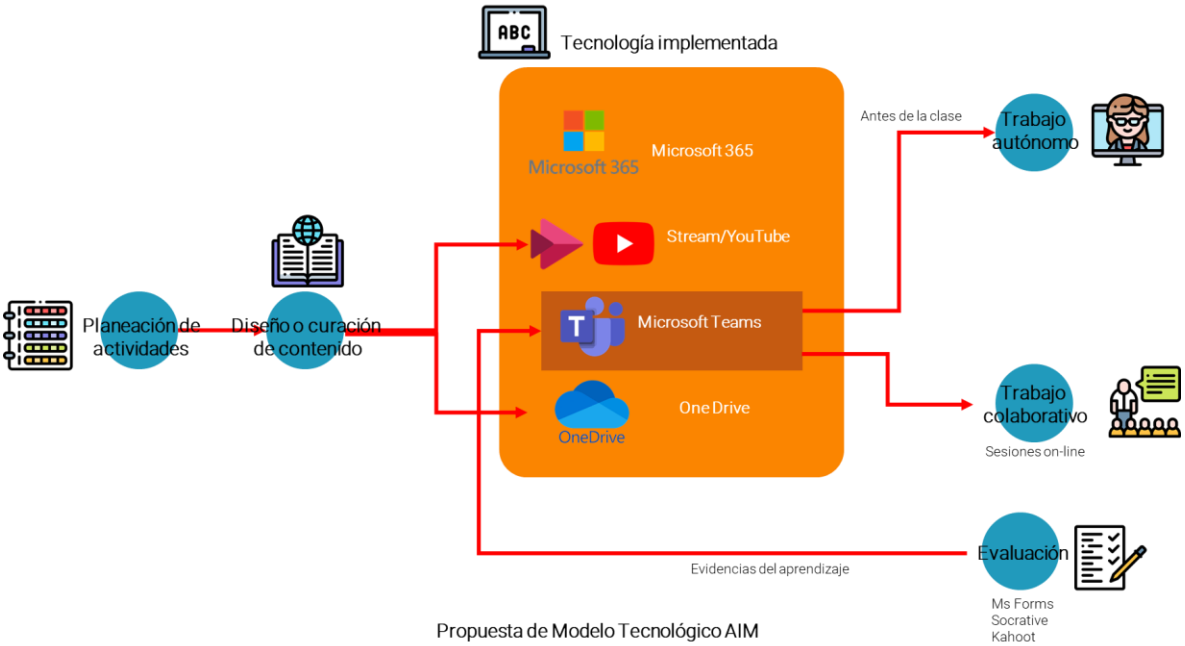


Figura 1. Propuesta de Modelo Tecnológico AIM.
Nota: elaboración propia de los autores.

Uso de las aplicaciones tecnológicas.

Portal de Office (documento, hoja de cálculo y presentaciones): se utilizarán para fomentar la colaboración y aprendizaje significativo, así como para la gestión del conocimiento en el contexto educativo; estás herramientas de ofimática serán empleadas para la creación y modificación de documentos escritos y presentaciones.

Stream (repositorio de videos): se podrá subir material audiovisual a un espacio propio de la asignatura, elaborado por el docente o aplicando curación de contenido obtenido de otros repositorios como Youtube o Vimeo y que estarán compartidos en para los alumnos en la plataforma de Microsoft Teams.

Microsoft Teams (la plataforma): será el espacio virtual designado para la o las asignaturas, en el cual se podrá acceder a todo el material o recurso pedagógico necesario para desarrollar las actividades de aprendizaje. Este espacio incluirá recursos audiovisuales y documentos digitales (PDFs, presentaciones, documentos de texto) que servirán como apoyo para el ambiente colaborativo y autónomo de los estudiantes. Pudiendo registrar las actividades realizadas, evidencias, logros y calificaciones de los alumnos.

Microsoft Teams (la sesión virtual): se utilizará esta aplicación como medio de comunicación síncrona con los alumnos para profundizar en lo aprendido, retroalimentación, actividades sinérgicas, activo y colaborativo, con la posibilidad de grabar la sesión y dejarla disponible para su uso posterior.

One Drive (el USB virtual): funcionara como un espacio de repositorio de los documentos necesarios para los alumnos y almacenamiento de los archivos digitales que a los participantes se les soliciten en dado caso que sea demasiado pesado el archivo para subirlo a la plataforma
.
El modelo propuesto tiene 5 etapas, con base en las referencias vistas:

1. **Planificación de las actividades.**

Durante esta etapa, el docente realiza una planificación cuidadosa, basada en los resultados de aprendizaje que se esperan de la asignatura, con el objetivo de seleccionar el conjunto adecuado de materiales didácticos educativos para las actividades a implementar. Deben considerarse tanto los recursos para el desarrollo autónomo de los estudiantes (como videos, notas, guías de ejercicios, entre otros) como para las actividades dentro del aula (como actividades de aprendizaje activo). La creación de los contenidos (como videos, infografías, presentaciones) debe tener en cuenta cómo se relacionan con las actividades de aula, lo que conduce a una comprensión más profunda de los temas tratados.

Pretendiendo tener la programación del curso que incorpora no solo los contenidos y resultados de aprendizaje, sino también las metodologías, actividades, recursos, y las estrategias evaluativas que permitan monitorear los avances y logros alcanzados de los estudiantes [4].

2. **Diseño de los recursos para Stream.**

El docente procede a grabar los videos con los temas antes seleccionados o lo que su planeación indique de acuerdo a los tiempos. Se propone el uso Screencast (gratuito) o Camtasia 9 (versión de paga), entre otros.

Es importante, seleccionar de manera concreta el recurso digital (archivos de texto, artículos científicos, imágenes, mapas, diapositivas, apuntes, guías) que el docente crea conveniente y adecuados con los temas establecidos y que serán de en el aprendizaje autónomo del estudiante.
Buscando tener en esta fase un espacio para almacenar todos los recursos audiovisuales generados en un espacio propio y un repositorio de las actividades, planeaciones didácticas y los recursos proporcionados por el docente, que podrán guardarse en One Drive.

3. **Aula virtual.**

Aquí es donde el estudiante debe revisar el material puesto en la plataforma (Microsoft Teams), ver Figura 2. Según la metodología del Aula Invertida, se concede una importancia crucial al papel del estudiante, quien tiene

la tarea principal de revisar los recursos educativos disponibles en línea, ya sea material de lectura, mapas, diapositivas, videos o infografías. Antes de la realización de las sesiones en Teams, se sugiere crear en el foro en la sección de muro general con preguntas o afirmaciones asociadas al contenido para la reflexión y la metacognición de los estudiantes.

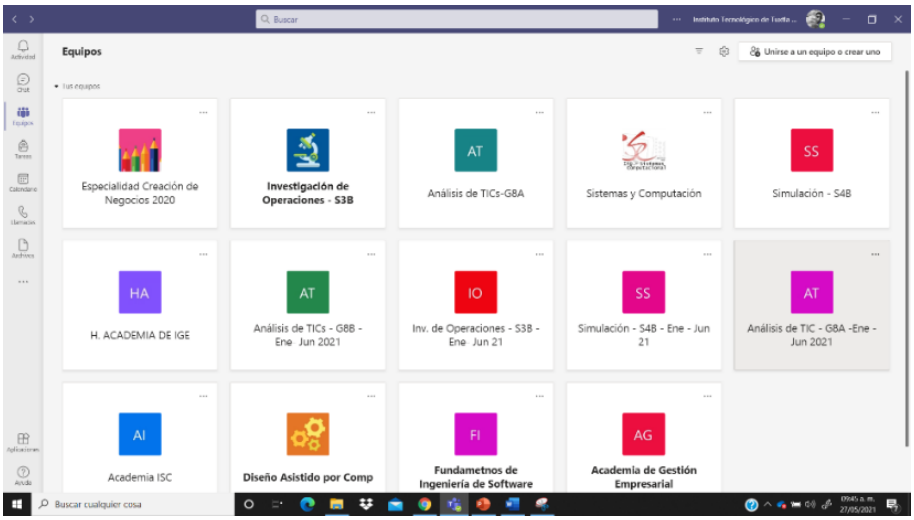


Figura 2. Grupos de trabajo del Método AIM.
Nota: elaboración propia de los autores.

Durante esta etapa, el rol principal del profesor consiste en actuar como guía para fomentar la participación activa del grupo en la revisión del material preparado y en los foros de discusión, así como proporcionar retroalimentación. Las actividades del docente se enfocan principalmente en aspectos técnicos, como la gestión y apoyo del entorno virtual de aprendizaje, y en orientar y asesorar de forma personalizada a los estudiantes, con el objetivo de asegurar el éxito del proceso de enseñanza-aprendizaje.

4. Sesión síncrona.

Será la sesión virtual, donde el estudiante participa actividades de aprendizaje colaborativas que utilizan metodologías activas, las cuales se llevan a cabo en tiempo real a través de Breakout Rooms. Sugiriendo la implementación de una metodología de enseñanza que fomente el aprendizaje significativo en el estudiantado a través de la aplicación de contenidos aprendidos de manera virtual, utilizando los recursos disponibles en la plataforma Microsoft Teams, en colaboración con sus compañeros y con la mediación del docente.

Se recopilan pruebas de las actividades realizadas en equipo (capturas de pantalla, grabaciones de video de la sesión) llevado a cabo en el aula y de los productos creados, que se presentan como documentos digitales cargados en la plataforma o compartidos en One Drive.

En el seguimiento del proceso de aprendizaje del estudiantado, el docente mantendrá un registro de las sesiones realizadas, el progreso de las actividades y el nivel de cumplimiento de las competencias de aprendizaje de los estudiantes, utilizando Insights de Microsoft como herramienta de apoyo, tal como se muestra en la Figura 3.

 ISSN: 2007 8102



Figura 3. Sesiones on line en MS Teams.
Nota: elaboración propia de los autores.

5. **Evaluación.**

Se propone la necesidad de monitorear y documentar el progreso de aprendizaje de los estudiantes durante todo el proceso educativo, con el fin de recopilar pruebas del nivel de desempeño alcanzado en relación a los objetivos de aprendizaje establecidos para la asignatura. Este tipo de evaluación en tiempo real posibilita la reflexión permanente por parte de los alumnos acerca de su proceso formativo y al docente respecto a su práctica, con lo que se propicia la toma de decisiones de ajustes y mejoras, si se necesita [5].

Para pode implementar y desarrollar esta fase se propone el uso de herramientas tecnológicas actuales, dentro de los cuales se podemos la implementar Forms de Microsoft, Kahoot, Socrative, los cuales, a través de sus interfaces móviles dan la oportunidad de la realización de exámenes o evaluaciones como herramientas innovadoras en el proceso evaluativo.

Desarrollo

Conceptos y fundamentos.

En nuestra sociedad, la formación de y capacitación expertos se encuentra reflejada por un constante uso de la información, la interacción con otros entes y la generación de conocimiento, por lo que, las TIC han tomado un rol preponderante, en la sociedad, en el proceso de enseñanza-aprendizaje del estudiantado y, además, en el primordial desarrollo de sus capacidades y competencias digitales.

Autores definen al aula invertida como: Transferir el trabajo de determinados procesos de aprendizaje fuera del aula y utiliza el tiempo de clase, junto con la experiencia del docente, para facilitar y potenciar otros procesos de adquisición y práctica de conocimientos dentro del aula [2].

Cuando los docentes crean, comparten y publican contenido en línea, pueden liberar el tiempo en el aula para fomentar la participación activa de los estudiantes mediante la formulación de preguntas, discusiones y actividades que incentivan el análisis, la articulación y la aplicación de ideas.

Para [6] Flipped classroom (FC) no es otra cosa que “clases invertidas”, entendiendo, por esto, que lo que tradicionalmente se enseñaba dentro del salón de clases hoy en día se aprende fuera de ella, lo que implica únicamente a una reestructuración de las actividades en relación del lugar donde se llevan a cabo. No obstante, investigaciones recientes consideran al aula invertida como un modelo pedagógico que incluye actividades de aprendizaje interactivas y grupales dentro del aula, ya que, utilizan este tiempo para potenciar procesos de

 ISSN: 2007 8102

adquisición y práctica de conocimientos teóricos, y transferir las actividades individuales de aprendizaje fuera del aula [7][2].

Según [7] la enseñanza invertida se enfoca en una combinación de métodos de instrucción directa y constructivistas, lo que permite que los estudiantes comprendan, analicen y apliquen la información, lo que contribuye al desarrollo y mejora de sus habilidades cognitivas.

Este último aspecto resalta la importancia que tiene el diseño de actividades que fomenten el autoaprendizaje o enfocadas en la autnomía de los estudiantes, ya que, promueves competencias de naturaleza metacognitiva [8].

A raíz de múltiples investigaciones que respaldan los beneficios del uso del modelo de aula invertida en la educación, el Reporte del Observatorio de Innovación Educativa del Tecnológico de Monterrey ofrece experiencias y resultados de su profesorado. Según este informe, la implementación del aula invertida en el aula se traduce en un entorno de aprendizaje más enriquecedor, la realización de actividades más significativas, una mayor motivación por parte del alumnado y un compromiso mayor con su proceso formativo.

La motivación de los estudiantes y su rendimiento en relación al uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en su proceso de aprendizaje no son uniformes y deben ser evaluados para medir el impacto de la aplicación de la metodología del aula invertida. Por tanto, estos aspectos deben ser tomados en cuenta durante la fase de diseño de la implementación de esta metodología. Aunado a esto, deben incorporarse algunos modelos de aprendizaje que le den soporte teórico al esquema, dentro de los cuales destaca la teoría del constructivismo social de Vygotsky [9], el conectivismo [10] y el modelo FC [2].

Entendiendo esta metodología activa, sabemos que no hay una regla exacta para implementar el aula invertida; se han podido encontrar cuatro bases importantes que deben tomarse en cuenta en su puesta en marcha:

- Ambientes flexibles: los alumnos pueden elegir cuándo y dónde aprenden, es decir, el aprendizaje no está limitado a un horario y a un espacio físico determinado (aprendizaje ubicuo) [11].
- Ambiente de aprendizaje: se fundamenta en un enfoque educativo centrado en el estudiante, que enfatiza en la utilización del tiempo en el salón de clases para realizar actividades interactivas que fomenten el aprendizaje en profundidad. Además, se considera altamente valiosa la retroalimentación continua y puntual por parte de los docentes.
- Contenido: es fundamental definir los objetivos de aprendizaje que se desean alcanzar para crear un plan de estudio que incluya los temas a tratar y las actividades a llevar a cabo en clase o de manera autónoma por parte del estudiante.
- Docente comprometido y capacitado: Se necesita un docente altamente capacitado que esté dispuesto a mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje actuando como guía y facilitador y que sea flexible y planificado en su enfoque. Esto implica seleccionar cuidadosamente los recursos y metodologías de trabajo en función de los resultados de aprendizaje esperados, el tiempo disponible para las distintas actividades ya sea en el aula o fuera de ella, y el tipo de herramientas evaluativas que permitan evaluar los resultados o logros del estudiantado. Al hacerlo, se logrará una práctica docente más efectiva y eficiente.

Según [9], el proceso de aprendizaje individual y de construcción del conocimiento se basa en la internalización del individuo de los aprendizajes desarrollados a partir de la interacción con otros. En este sentido, el constructivismo social, considera el conocimiento como el resultado de la relación entre el individuo y su medio sociocultural [12].

La corriente conectivista valora la relevancia de las TIC y las relaciones que surgen a partir de su utilización. Por tanto, se ha propuesto un nuevo enfoque de aprendizaje en línea conocido como teoría conectivista, que considera el aprendizaje como un proceso en red y sostiene que el conocimiento se encuentra en las relaciones e interconexiones entre las personas. Según esta teoría, el aprendizaje se produce cuando se cruzan estas conexiones, tal como se muestra en la Figura 4. No sólo es reunir información disponible en la red, sino también la capacidad de saber qué hacer con esa información.

 ISSN: 2007 8102

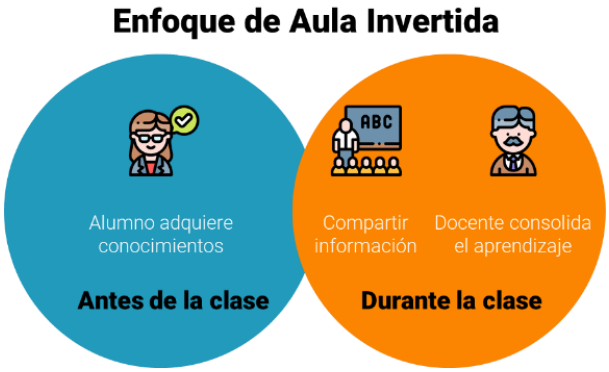


Figura 4. Enfoque de aula invertida.
Nota: elaboración propia de los autores.

Resultados y discusión

De lo implementado en las diversas etapas de la iniciativa del modelo Metodológico AIM, puntualizamos los siguientes resultados.

Se implementó Microsoft Teams como herramienta para fomentar y estimular la autonomía y la colaboración entre los estudiantes, proporcionando acceso al material pedagógico necesario para el desarrollo de las actividades de aprendizaje y a recursos audiovisuales y documentos digitales como apoyo. Las sesiones síncronas se utilizaron como evidencia los grupos de trabajo además de la colaboración grupal, y se registraron en forma de screenshots o videograbaciones de la sesión, así como también se guardaron los productos desarrollados en la plataforma.

Después de la fase de evaluación, se creará un portafolio de evidencias en la plataforma de Microsoft Teams con el propósito de registrar la trayectoria de aprendizaje de cada estudiante. Este portafolio incluirá reportes de desempeño proporcionados por aplicaciones de evaluación, así como el porcentaje de participación y relevancia de las contribuciones en los foros y el material producido durante las sesiones sincrónicas en Teams. La Figura 5 muestra un ejemplo de estos registros.

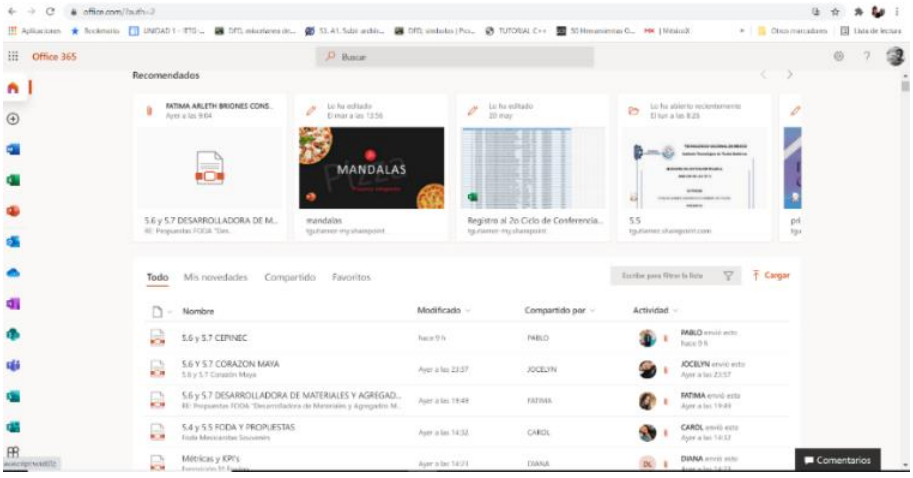


Figura 5. Actividades y resultado del trabajo colaborativo.
Nota: elaboración propia de los autores.

ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

Debido a la importancia que ha tenido la educación y la implementación de metodologías activas en estos últimos años y al tipo de investigación que realizó, se abren un considerable número de futuras líneas de investigación que pueden agruparse bajo el siguiente orden:

i. Implementación de diversas metodologías activas en el aula (ABP, Gamificación, Aprendizaje basado en retos, problemas, trabajo colaborativo, entre otros)
ii. Utilización de herramientas digitales en los cursos de la carrera de ingeniería en gestión empresarial.
iii. Metodologías tecnopedagógicas para mejorar la calidad de enseñanza en los docentes.
iv. Análisis del impacto académico en los estudiantes de ingeniería en gestión empresarial utilizando tecnología en el proceso de enseñanza aprendizaje.
v. Implementación de las metodologías basadas en tecnología en otras carreras del instituto.

Conclusiones

Esta propuesta tecnológica para la implementación del Aula invertida es aplicable a diversas materias de diferentes niveles de formación en el nivel educativo superior, basándonos en la incorporación de recursos digitales Microsoft 365, para posibilitar que la experiencia pueda ser replicada en diversas instituciones educativas para potenciar el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante la innovación e implementación de TIC, independiente de su presupuesto para inversión en tecnología.

Incorporando un ambiente flexible de aprendizaje, donde el centro del todo es el estudiante, con una retroalimentación adecuada de los mismos compañeros y del docente, logrando en todo momento monitorear los objetivos alcanzados por los alumnos.

En conclusión, la implementación de un nuevo planteamiento educativo mediada por tecnología desde una metodología activa, como lo es el aula invertida, resulta una alternativa viable para el desarrollo de habilidades y competencias en los estudiantes, así como para la mejora del proceso enseñanza-aprendizaje.

La plataforma Microsoft Teams brinda un entorno virtual de aprendizaje enriquecedor y adaptable a las necesidades del docente y del estudiantado, que permite el acceso a una variedad de recursos didácticos y facilita la autonomía y la colaboración. La evaluación constante del proceso mediante el registro y análisis de evidencias, en conjunto con la retroalimentación adecuada, contribuyen al mejoramiento continuo de la acción formativa y al logro de los objetivos de aprendizaje esperados.

En este sentido, se puede afirmar que la propuesta educativa mediada por tecnología desde una metodología activa, específicamente desde el aula invertida, es una alternativa de valor para el ámbito educativo actual, que permite un enfoque más centrado en el estudiante y un uso eficiente de las tecnologías de la información y la comunicación en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Agradecimientos

En primer lugar, se desea expresar nuestro más sincero agradecimiento al Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez por brindarnos el espacio y los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación. Su apoyo incondicional ha sido fundamental para el desarrollo de este proyecto y para enriquecer nuestro conocimiento en el campo de la educación y la tecnología.

Asimismo, se agradece especialmente a los docentes y estudiantes del octavo semestre de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial, cuya participación activa y entusiasta ha sido vital para el éxito de este proyecto. Su valioso tiempo y esfuerzo invertidos en las sesiones y en la implementación de la metodología activa de aula invertida Microsoft han sido invaluables y han contribuido significativamente a los resultados obtenidos.

No se puede pasar por alto el apoyo emocional recibido por parte de nuestros compañeros y colegas durante el proceso de investigación. Sus palabras de aliento y motivación nos han impulsado a seguir adelante en momentos de desafío, y su presencia ha enriquecido nuestras discusiones y reflexiones sobre el tema.

Por último, queremos expresar nuestro agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron a este proyecto y que, por limitaciones de espacio, no mencionamos aquí. Su valiosa aportación ha dejado una huella significativa en esta iniciativa educativa medida por tecnología desde una metodología activa, y su apoyo ha sido fundamental para el logro de nuestros objetivos.

Esta investigación no habría sido posible sin la colaboración y el apoyo de todas las personas mencionadas anteriormente, y les estamos sinceramente agradecidos por ser parte de esta importante iniciativa. Esperamos que los resultados de este estudio sean de utilidad para la comunidad académica y para aquellos interesados en promover la innovación educativa mediante el uso de tecnología y metodologías activas.

Referencias

[1] López, D., García, C., Bellot, J., Formigós, J., & Maneu, V. (2016). Elaboración de material para la realización de experiencias de clase inversa (flipped classroom). En J. Álvarez, S. Grau y M. Tortosa (Coords.), Innovaciones metodológicas en docencia universitaria: resultados de investigación (pp. 973-984). Universidad de Alicante. https://core.ac.uk/download/pdf/78635476.pdf

[2] D. López, C. García, J. Bellot, J. Formigós, y V. Maneu, "Elaboración de material para la realización de experiencias de clase inversa (flipped classroom)," en J. Álvarez, S. Grau y M. Tortosa (Coords.), Innovaciones metodológicas en docencia universitaria: resultados de investigación, Universidad de Alicante, pp. 973-984, 2016. [En línea]. Disponible en: https://core.ac.uk/download/pdf/78635476.pdf

[3] J. Tourón y R. Santiago, "El modelo flipped learning y el desarrollo del talento en la escuela," Revista de Educación, no. 368, pp. 33-65, 2015. doi: 10.4438/1988-592X-RE-2015-368-288.

[4] M. De Miguel (Dir.), "Modalidades de enseñanza centradas en el desarrollo de competencias. Orientaciones para promover el cambio metodológico en el espacio europeo de educación superior," Ediciones Universidad de Oviedo, 2005. [En línea]. Disponible en: https://www.upc.edu/rima/ca/grups/grapa/bibliografiaevaluacion/publicaciones/modalidades-de-ensenanza/view

[5] O. Jerez, B. Hasbún y S. Rittershaussen, "El diseño de Syllabus en la educación superior. Una propuesta metodológica," Ediciones Universidad de Chile, 2015. [En línea]. Disponible en: http://goo.gl/SgFsc4

[6] E. Barberá, "Aportaciones de la tecnología a la e-Evaluación," RED: Revista de Educación a Distancia, Monograph 6, pp. 1-13, 2006. [En línea]. Disponible en: http://www.um.es/ead/red/M6/barbera.pdf

[7] M. J. Lage, G. J. Platt y M. Treglia, "Inverting the classroom: A gateway to creating an inclusive learning environment," The Journal of Economic Education, vol. 31, no. 1, pp. 30-43, 2000. doi: 10.2307/1183338

[8] J. Bergmann y A. Sams, "Flip your classroom: Reach every student in every class every day," International Society for Technology in Education, United States of America, 2012. [En línea]. Disponible en: https://www.liceopalmieri.gov.it/wp-content/uploads/2016/11/Flip-Your-Classroom.pdf

[9] E. Fernández, A. Bernardo, N. Suárez, R. Cerezo, J. Núñez y P. Rosário, "Predicción del uso de estrategias de autorregulación en educación superior," Anales de Psicología, vol. 29, no. 3, pp. 865-875, 2013. doi: 10.6018/analesps.29.3.139341

[10] Woolfolk, "Psicología educativa," 11ª ed., Pearson, 2010. [En línea]. Disponible en: https://crecerpsi.files.wordpress.com/2014/03/libro-psicologia-educativa.pdf

[11] G. Siemens, "Conectivismo: Una teoría de aprendizaje para la era digital," D. Leal, Trad., (Obra original publicada en 2004). [En línea]. Disponible en: https://skat.ihmc.us/rid=1J134XMRS-1ZNMYT4-

 ISSN: 2007 8102

13CN/George%20Siemens%20-%20Conectivismo-una%20teor%C3%ADa%20de%20aprendizaje%20para%20la%20era%20digital.pdf

[12] N. Burbules, "El aprendizaje ubicuo y el futuro de la enseñanza," Encounters on Education, vol. 13, pp. 3-14, 2012. [En línea]. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/318240

[13] Gutiérrez y C. Rada, "El pensamiento constructivista como ideal en la universidad," Arte & Diseño, vol. 10, no. 2, pp. 23-27, 2012. [En línea]. Disponible en: http://ojs.uac.edu.co/index.php/artediseno/article/view/127/112

 ISSN: 2007 8102

ANÁLISIS DE LA ENSEÑANZA DEL SISTEMA DE REFERENCIA CARTESIANO

Wilmar Epifanio Gómez Moyano[1], José Andrés Castillo Hernández[2]
[1]Universidad Americana de Europa, wilmargomez12@gmail.com, [2]Padrón Veracruzano de Investigadores, doctor_andres_castillo@acta.es

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

Un rastreo de los resultados evaluativos en matemáticas para Colombia según PISA (2018), demuestran que solamente el 1% de los estudiantes, logran un nivel superior y alcanza a representar una situación simple. Es clave analizar en el campo de la enseñanza cómo se desarrollan y enseñan conceptos en relación con los sistemas de referencia, específicamente el cartesiano. El problema se afronta desde la pregunta ¿el sistema de referencia cartesiano que se enseña en secundaria está acorde al desempeño esperado del nivel de competencia que los alumnos deben alcanzar? Se realiza una revisión de literatura teniendo en cuenta tres aspectos: las situaciones en contexto dentro de la didáctica de la matemática; el tipo de competencia matemática y la enseñanza de sistemas de coordenadas. El diseño metodológico parte de una investigación experimental, con hipótesis de investigación y objetivo general.

***Palabras clave**: contexto, cartesiano, competencia, geometría*

Abstract

A tracking of the evaluative results in mathematics for Colombia according to PISA (2018), shows that only 1% of the students achieve a higher level and manage to represent a simple situation. It is key to analyze in the field of teaching how concepts are developed and taught in relation to reference systems, specifically the Cartesian one. The problem is faced from the question: is the Cartesian reference system that is taught in secondary school consistent with the expected performance of the level of competence that students must achieve? A literature review is carried out taking into account three aspects: situations in context within the didactics of mathematics; the type of mathematical competence and the teaching of coordinate systems. The methodological design is based on an experimental investigation, with research hypotheses and general objective.

***Key words**: context, cartesian, competence, geometry*

Introducción

Se puede establecer que existen ciertas problemáticas en la educación actual, que se evidencian en los resultados que provee en Colombia el Instituto para la Evaluación de la Calidad de la Educación (ICFES), y el análisis de los resultados de las pruebas aplicadas por el Programa Internacional de Evaluación de los Alumnos (PISA) durante los periodos 2006, 2009, 2012, 2015 y 2018 donde Colombia obtuvo los promedios más bajos en matemáticas.
La prueba PISA evalúa y mide el desempeño en el nivel de competencia de los alumnos para resolver los problemas con éxito. Para evaluar esto PISA tiene en cuenta tres dimensiones:
-El contenido matemático que el estudiante debe saber para poder solucionar un problema.
-El contexto donde se localiza el problema
-Las competencias o procesos cognitivos que el estudiante necesita para relacionar el contexto del mundo real con los formalismos de las matemáticas y luego dar solución al problema.
Estas dimensiones permiten establecer que hay falencias en torno a cómo el estudiante se apropia de un concepto, de la asimilación de los contenidos matemáticos en el aula, la contextualización y la capacidad de solucionar problemas. En el mismo sentido se registran falencias en el logro del nivel de competencia en matemáticas, estableciendo que los resultados se ubican en el desempeño inferior y no alcanzan los niveles de modelización de problemas [1].
Una visualización de los estándares básicos de competencias para matemáticas, según el Ministerio de Educación Nacional (MEN) permite determinar que dichas competencias necesitan de ambientes de aprendizaje

 ISSN: 2007 8102

en donde predominen las situaciones problema, con carácter significativo y que sean comprendidos para que el estudiante puede avanzar a niveles de mayor complejidad [2].
Es importante analizar desde el campo las metodologías de enseñanza, cómo se desarrolla la competencia matemática y cómo son los rendimientos de los alumnos en los distintos niveles de desempeño. Mostrando mayor interés en los procesos de enseñanza de conceptos relacionados a los sistemas de referencia cartesianos y la forma en la que son problematizados, contextualizados y generalizados en el aula de clases. De igual forma detallar en qué medida se alcanzan estándares de identificación de características cuando se localizan objetos geométricos en distintos sistemas de representación, polares, cartesianos, esféricos y cilíndricos [2].

Revisión de la literatura

Un rastreo temático alrededor de la didáctica en matemáticas permite visualizar relaciones entre el uso de situaciones contextuales en la enseñanza de conceptos o nociones matemáticas y el rendimiento asociado al nivel de desempeño de la competencia en matemáticas, a su vez identificar cómo se involucran los conceptos asociados a los sistemas de coordenadas, para encontrar referentes metodológicos que permitan analizar los resultados.

Didáctica de la matemática en relación con situaciones contextuales

Para Galeano y Gómez, la didáctica de las matemáticas en Colombia, en relación con situaciones del contexto, tiene unos referentes muy marcados dentro de los Lineamientos Curriculares, que mencionan utilizar el contexto cercano del estudiante y también el análisis a los Estándares de Competencia en matemáticas, que se refieren a cómo el ambiente influye en las matemáticas que se enseñan y adquieren sentido para el alumno, las mismas autoras utilizan el método didáctico Ontosemiótico [3].
Los lineamientos del currículo de matemáticas, hacen énfasis en tres tipos de contexto: el contexto inmediato; el escolar y el extraescolar.

Tabla 1. Tipos de contexto según el Ministerio de Educación de Colombia (MEN) [3].

Contexto inmediato	Contexto escolar	Contexto extraescolar
Entorno físico del aula Interacciones sociales Normas de clase Situaciones generadas por el docente.	Distintos escenarios de la institución. Saberes de los estudiantes y docentes. Normas de convivencia y del Proyecto Educativo Institucional	Todo lo existente fuera de la institución educativa. Contexto local, regional, nacional y mundial.

Estos tres tipos de contexto se relacionan entre sí, dependiendo cada uno del otro. El tema del contexto cobra importancia pues implica el desarrollo de competencias que serán necesarias en la vida diaria. También se diferencian dos tipos de contexto en matemáticas, por un lado aquel que implica situar los problemas en un campo donde los objetos matemáticos cobren sentido y la otra definición supone un uso metafóricamente conocido como "ecológico" [3].
En esta misma línea Herazo y De la Hoz Molinares, hablan del contexto como elemento clave para llegar a procesos de modelización, a través de situaciones que provienen de la realidad y ligar esta a un contexto social que se considera el camino donde se da el proceso de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas.
El contexto, dentro de la modelización es fundamental, pues es allí en donde el estudiante encuentra las relaciones con la realidad [4]. En un mundo donde los campos se trasversalizan y donde el auge tecnológico es evidente, las estrategias didácticas deben buscar el desarrollo de estas relaciones entre lo que se enseña y las situaciones del entorno [5].
En cuanto a la enseñanza, Bolaño Muñoz menciona que las nuevas generaciones requieren metodologías que se relacionen con situaciones reales, en donde les permita un desarrollo pleno de la lógica matemática y así dar frente a situaciones del contexto cotidiano.
Desde esta perspectiva, el constructivismo es un anclaje de fundamentación teórica pues como lo afirma Bolaño Muñoz, este hace énfasis en la enseñanza a partir de situaciones contextuales que parten de los conocimientos y experiencias de los alumnos convirtiendo estas dos características en el puente para incorporar nueva información. El autor citando a Vigotsky enfatiza que el contexto o entorno social es importante para los procesos de aprendizaje en los estudiantes pues este permite que la nueva información se incorpore con las experiencias que ellos tienen en su estructura mental. Para Piaget, estos procesos se realizan interiorizando la información producto del entorno y modificando los esquemas previos [6].

 ISSN: 2007 8102

Competencia Matemática

Como se ha mencionado, la importancia de contextualizar los objetos y los contenidos matemáticos, radica en el desarrollo de una serie de competencias dentro del campo de las matemáticas, Vargas, utiliza la definición de las prueba PISA, en donde se entiende la competencia como alfabetización matemática, y tiene que ver con las habilidades que poseen los estudiantes para pensar, analizar y comunicar correctamente procesos en relación a formulación y solución de problemas en distintos contextos [7].

Tipos de competencia matemática

Vargas, identifica las distintas competencias que son viables en un estudio sobre geometría (tabla 2).

Tabla 2. Tipos de competencia matemáticas [7].

Comunicar	Razonar	Plantear y resolver problemas
Se relaciona con la habilidad para entender una idea coherentemente, en relación a los conceptos matemáticos presentes en cierta situación contextual. También implica representar distintas formas describiendo los vínculos matemáticos a través de tablas, gráficas y expresiones descritas en lenguaje natural.	Identificar y usar estrategias y procedimientos para afrontar situaciones problema, formular hipótesis, identificar patrones, formular ejemplos y generalizar propiedades	Utilizar distintos contextos para formular y solucionar problemas, traduciendo la realidad a un modelo matemático e interpretar resultados. Generalizando resultados para resolver situaciones similares en otros escenarios.

Londoño, enfatiza en los procesos vinculados con el pensamiento geométrico-espacial, citando al MEN quien lo define como un conjunto procesos de carácter cognitivo que son claves para manipular y construir objetos en el espacio a través de sus representaciones mentales, describiendo las distintas relaciones y trasformaciones [8]. El pensamiento espacial-geométrico y su desarrollo se evidencia a través de una serie de competencias que evalúa el Ministerio de Educación de Colombia, mientras la prueba ICFES Saber 11, en donde se evalúa el desempeño en tres tipos de competencia: competencia de interpretación y representación; competencia de formulación y ejecución y competencia de razonamiento y argumentación, como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Competencias matemáticas según el MEN Colombia [8].

Competencia de interpretación y representación	Competencia de formulación y ejecución	Competencia de razonamiento y argumentación
Habilidad del estudiante para asimilar información luego de un proceso de comprensión, reproducción y trasformación a partir de un conjunto de datos. A su vez inferir y extraer información estableciendo relaciones, proporciones y razones.	Habilidad que tiene el estudiante para identificar distintas estrategias para resolver problemas en distintos contextos. Evaluar los métodos más eficaces para dar solución a problemas matemáticos y escoger la mejor solución posible.	Habilidad que tiene el estudiante de refutar o argumentar hipótesis, interpretaciones y representaciones de situaciones problema. Esta competencia permite entender procesos matemáticos en forma sistemática utilizando la lógica, los axiomas y los teoremas.

Es importante relacionar las situaciones contextuales dentro de la enseñanza de las matemáticas, con lo que plantea la competencia en matemática, específicamente en la enseñanza del sistema de referencia cartesiano, en la actualidad la enseñanza de los sistemas de coordenadas ha venido acompañada del uso de programas y aplicaciones digitales, de esto da cuenta González, quien diseña una propuesta didáctica con software interactivo para la enseñanza del concepto sistema de coordenada, problematiza la investigación alrededor del privilegio que ha tenido la enseñanza de las coordenadas cartesianas sobre otras como las polares, de esta forma se deja a un lado otro tipo de coordenadas que facilitan la visualización de curvas y la aplicación de diversos campos del conocimiento, como la física, la navegación y los problemas en los que intervienen curvas. Las conclusiones de este trabajo giran alrededor de la importancia del uso de herramientas TIC en el aula para la comprensión de conceptos asociados a coordenadas cartesianas y polares [9].
En el mismo sentido Osorio, da Costa, Peña y Montesinos, utilizan el software interactivo para la modelación de superficies en coordenadas esféricas, este tipo de coordenadas es la generalización de las coordenadas polares en el plano, su importancia radica en la aplicación en la geografía por su similitud con las coordenadas geográficas

y también con el funcionamiento del GPS, además tiene un sentido más práctico para solucionar problemas y entender el comportamiento de las proyecciones de sólidos en calculo con varias variables. Es importante un análisis de cómo el sistema de referencia cartesiano, presentan limitantes para comprender situaciones con simetría esférica, y como los recursos tecnológicos rompen la brecha que se establece para una enseñanza más significativa y que genere mayor comprensión por parte del estudiante [10].

Sánchez y González, realizando un análisis sobre la concepción el desarrollo de la geometría analítica durante el siglo XIX, determinan que dicha rama de la matemática no se concibe sin el uso de un sistema de coordenadas, se determina que la geometría analítica utiliza un sistema de referencia vinculando ecuaciones y es a partir de dichas ecuaciones y su relación con el sistema de referencia como se obtienen las soluciones a los problemas. [11].

Este último planteamiento permite ubicar la investigación dentro del campo de la didáctica de las matemáticas, específicamente la geometría y se vincula con la rama de la geometría analítica. Cabe señalar que a partir de esta última se puede establecer una forma de enseñanza que privilegia el sistema de coordenadas cartesianas sobre otros, Soto, indago si los profesores privilegiaban los ejes cartesianos como el sistema de referencia por excelencia para estudiar las curvas aun sabiendo que se pueden recurrir a otros sistemas de coordenadas como las polares y otros sistemas de representación como las ecuaciones paramétricas. En las conclusiones, el autor afirma que en la formación de los docentes a nivel de pregrado se limita el desarrollo de conceptos que involucren la enseñanza de otros tipos de coordenadas, también se sugiere cambios a nivel curricular que den lugar a visualizar y jerarquizar ciertos contenidos relacionados a geometría analítica, uno de los más importantes el de la enseñanza de los distintos sistemas de referencia [12].

Esta revisión literaria también evidencia un vínculo entre la enseñanza de las matemáticas a partir de situaciones del contexto y el desarrollo de competencias, por ejemplo Vargas [7] y Londoño [8], recurren a las mediciones de la prueba PISA de la OCDE y SABER 11, por parte del Ministerio de Educación (MEN) en Colombia, para demostrar la importancia de vincular el campo de la enseñanza desde una perspectiva de solución de problemas en el contexto cotidiano, ello conlleva a una mayor apropiación de los conceptos como lo menciona Bolaños Muñoz [6], cuya referencia teórica sitúa la enseñanza contextual dentro del constructivismo, el contexto es primordial dentro de los lineamientos a nivel curricular y los distintos estándares dentro de las competencias matemáticas establecidas por el MEN, como lo menciona Galeano y Gómez [3], dichos estándares también dejan ver la necesidad de enseñar otros tipos de sistema de referencia a parte de los cartesianos, pues es evidente que históricamente se ha privilegiado la enseñanza del sistema de referencia cartesiano sobre otros sistemas, de esto dan cuenta las investigaciones de Osorio, da Costa, Peña y Montesinos [10]; Sánchez y González [11] y Soto [12]. Sugiriendo que un análisis de la enseñanza de los sistemas de coordenadas cartesiano pueden dar más elementos para indagar los bajos promedios de los alumnos en las distintas pruebas de carácter externo.

Metodología

Muestra

La muestra está conformada por un total de sujetos (n=42) de 9° de secundaria de un colegio público del departamento de Cundinamarca, Colombia. Los estudiantes se asignan aleatoriamente a dos grupos: el grupo control que está conformado por 21 estudiantes y el grupo intervención que está conformado por 21 estudiantes para asegurar el carácter homogéneo de los datos.

Procedimiento

Los sujetos que fueron seleccionados al grupo control, se les aplico una metodología de enseñanza considerada tradicional que consiste en:

-Exposición por parte del profesor utilizando el recurso del tablero
-Presentación de ejemplos o problemas.
-Aclaración de dudas de ejercicios.
-Resolución de problemas tomados del libro de texto.

Los estudiantes seleccionados en el grupo experimental (intervención) fueron sometidos a un proceso de enseñanza (tratamiento) basado en una metodología de situaciones en contexto (contextuales). Dicha metodología costa de los siguientes pasos:

-El docente presenta la situación a trabajar (situaciones relacionadas con el contexto estudiantil).
-El docente hace uso de alguna herramienta u o aplicación tecnológica para presentar la situación (software interactivo)
-El estudiante interactúa con la herramienta tecnológica para comprender los conceptos y determinar una posible ruta para dar solución a la situación planteada
-Se genera una práctica en la que interviene el uso de la herramienta tecnológica y aparatos de medición.

 ISSN: 2007 8102

-Los estudiantes utilizan la herramienta tecnológica para modelar la situación y enviar las evidencias de trabajo.
Las actividades fueron realizadas en horario de clase dentro del área de matemáticas y se relacionaron con contenidos de geometría, dentro de la temática particular de sistema de referencia cartesiana, estas prácticas se realizaron en un intervalo de tiempo de tres semanas desde que se realizó el pretest hasta que se aplicó el postest.

Instrumentos

La investigación utiliza un cuestionario de 20 preguntas de selección múltiple, en cuyo caso hay cuatro posibles respuestas y una sola correcta. Se utiliza este diseño porque el ICFES en Colombia evalúa de esta forma y garantiza una afinidad entre las pruebas externas y la medición de la investigación.

Pretest y postest

La investigación recurre a esta técnica clásica para evaluar con el pretest los antecedentes que tienen los sujetos participantes en relación con conceptos de sistemas de coordenadas y sus aplicaciones. Luego con el postest se evaluará las diferencias que existan con la intervención metodología sobre el grupo experimental y su relación con el grupo control.

Escenario

El plantel educativo cuenta con aproximadamente 350 estudiantes de los cuales la gran mayoría pertenecen a un nivel socioeconómico medio-bajo pertenecientes al sector rural. La institución s de carácter público (estatal) ofrece el servicio educativo a 13 cursos de 6° a 11°,47 estudiantes están matriculados en grado noveno, cuatro de ellos presentan o están diagnosticados con alguna discapacidad cognitiva, los cuales no fueron seleccionados dentro de la muestra pues algunos de ellos no saben leer.

Diseño de Investigación

Enfoque

Al abordar las variables cuantificables: enseñanza del sistema de referencia cartesiano y competencia matemática, el enfoque para la presente investigación es de enfoque cuantitativo. Se manipula la variable independiente **situaciones contextuales** para analizar su repercusión con la variable dependiente **desempeño de la competencia matemática,** por lo tanto la investigación es de tipo experimental, con un nivel explicativo.

Variables

Definiciones teóricas

Situaciones contextuales: surgen a partir del contexto particular en el que se desenvuelve el estudiante y donde las matemáticas que aprende adquieren un significado. También incluyen distintas variables relacionados con condiciones culturales y sociales de carácter nacional e internacional, también se incluyen los gustos, formas de ver el mundo y el contexto económico donde se vincula la práctica educativa o didáctica [1].
Competencia matemática: conjunto de saberes y habilidades de carácter cognitivo, psicomotores y socioafectivos, que se relacionan conjuntamente para poder enfrentar distintas situaciones en distintos contextos, escogiendo las mejores soluciones ante los retos de la cotidianidad. [2].

Definiciones operacionales

Situaciones contextuales: Nivel de complejidad de las situaciones relacionadas con el sistema de referencia cartesiano. Nivel 1, situaciones relacionadas con el plano cartesiano, ubicación de puntos y propiedades de figuras. Nivel 2, uso de situaciones y problemas del contexto relacionadas con sistemas cartesianos. Nivel 3, relación de los sistemas de coordenadas con otros tipos de coordenadas (polares, esféricas, cilíndricas y geográficas)
Competencia matemática: promedio de puntajes obtenidos en la prueba de competencias matemáticas sobre el uso de sistemas de coordenadas a través del desempeño superior, alto, básico, inferior, bajo una escala de 1 a 10 ubicando el nivel superior de 9 a 10; alto de 7.5 a 8.9; básico de 6 a 7.4; inferior de 0 a 5.9

Hipótesis

La hipótesis de investigación es:

 ISSN: 2007 8102

Los estudiantes que reciben una enseñanza de los sistemas de referencia cartesianos a partir de situaciones contextuales con distinto nivel de complejidad, presentan desempeño más alto en la competencia matemática que aquellos que solo reciben una enseñanza a través de la herramienta del plano cartesiano.

Objetivo general

Analizar de qué forma la estrategia de enseñanza del sistema de referencia cartesiano a partir de situaciones en contexto con distinto nivel de complejidad se relaciona con la adquisición de distintas competencias matemáticas en alumnos de noveno grado.

Objetivos específicos

1) Calcular el porcentaje de la competencia matemática acorde al nivel de desempeño en relación con los sistemas de coordenadas cartesianos.
2) Calcular el porcentaje de la competencia matemática acorde al nivel de desempeño cuando el estudiante aprende a través de situaciones en contexto y distinto nivel de complejidad.
3) Comparar los porcentajes de la competencia matemática acorde al nivel de desempeño cuando el estudiante recibe una enseñanza de los sistemas de coordenadas cartesianas de la manera formal y otra a través de situaciones complejas y contextualizadas.

Resultados

Análisis de confiabilidad del Instrumento

El coeficiente Alfa de Conbrash se utilizó para calcular la consistencia interna. El nivel de confiabilidad global es de 0.68, que de acuerdo a Hernández et al. (1996) el instrumento tiene una confiabilidad aceptable. Para validar el instrumento se utilizaron las variables que contienen la suma de las 20 preguntas en el pretest y postest.

Análisis Descriptivo

De 42 estudiantes que formaron parte del estudio el 50% forma parte del grupo control y el 50% del grupo intervención. Respecto al sexo 52,38% son mujeres y equivalen a 22 y el restante 47,62% son hombres.
Para los resultados del grupo intervención con respecto a las preguntas del pretest, las preguntas que superaron un 60% de aprobación fueron la pregunta 2 la pregunta 3 la pregunta 6 y la pregunta 16. Para el postest se resalta que las 20 preguntas reportan un incremento en las respuestas correctas del 50% .
Los resultados del grupo control se caracterizan así: en el pretest las preguntas con más del 60% fueron 4, la pregunta 2 la pregunta 5 la pregunta 6 y la pregunta 16.para el postest se presenta un incremento en las respuestas correctas exceptuando la pregunta 8.es importante resaltar que 5 preguntas muestran más del 60% de respuestas correctas.

Análisis de asociación

La tabla 6 y 7 (ver apéndice C) muestra la correlación entre las preguntas del instrumento de evaluación en el grupo intervención. No se incluye la pregunta 6 debido a que todos obtuvieron un valor de 1, es decir no hay variabilidad. Los grupos de variables se clasificaron en correlaciones positivas y negativas que se describen a continuación:
Grupo de variables con relaciones positivas: p2-p5 (r=0.447), p2- p12 (r=0.447), p3-p12 (r=0.485), p17-p14 (r=0.586), p16-p18 (r=0.414), p17-p19 (r=0.560), p17-p20 (r=0.408), p19-p20 (r=0.429). Grupo de variables con relaciones positivas: en este grupo se encuentra el par de variables p11-p13 (r=-0.448).
Para el grupo control las correlaciones positivas y negativas según el grupo de variables se presentan así:
Grupo de variables con relaciones positivas: p1-p20 (r=0.411), p2-p11 (r=0.553), p2-p16 (r=0.557), p3-p11 (r=0.553), p3-p15 (r=0.408), p8-p9 (r=0.580), p11-p15 (r=0.484), p12-p14 (r=0.472), p13-p15 (r=0.56, p14-p17 (r=0..47).
Grupo de variables con relaciones negativas: p5-p17 (r=-0.548), p7-p10 (r=-0.509), p13-p14 (r=-0.429), p14-p15 (r=-0.408).

Análisis comparativo

En la figura 1 se comparan los puntajes de prestest y postest respecto a cada grupo y al sexo. La figura 1 muestra el comparativo de los puntajes en el pretest y postest. Para el grupo control los puntajes son similares en los dos momentos de aplicación. En el pretest el puntaje mínimo fue 4 y máximo 11, con un valor de la media de 7,33 y mediana de 8, respecto a la variabilidad de los datos se reportan una desviación estándar de 2.24.
Para el postest en el puntaje mínimo fue 6, máximo 14, la media 8.85 y mediana 9, de acuerdo a la variabilidad, la desviación estándar es de 2.81. Para el grupo intervención se observa un incremento en los puntajes del pretest

 ISSN: 2007 8102

y postest. En el momento de la aplicación pretest, el puntaje mínimo fue 4, máximo 10 la media 6.76 mediana 7 y la desviación estándar 1.81. Para el postest aumenta los puntajes, obteniendo un mínimo de 10, máximo 18, media 13.3 y mediana 12 la desviación estándar es de 2.24.

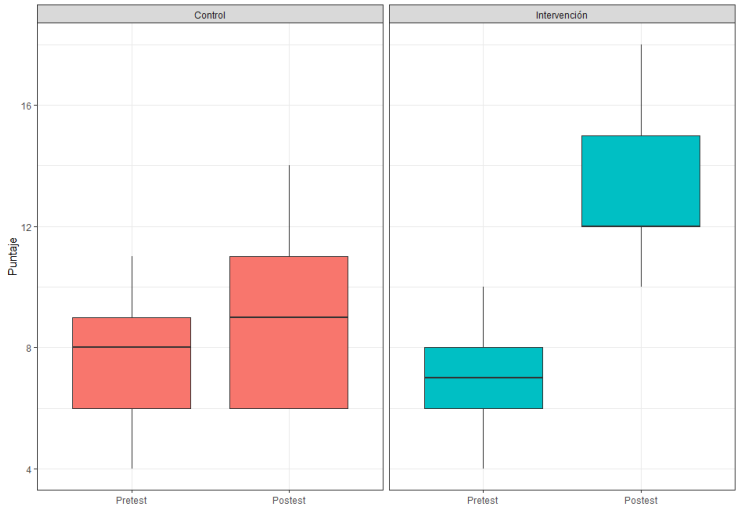


Figura 2. Comparación de los puntajes obtenidos según el momento de aplicación y el grupo.

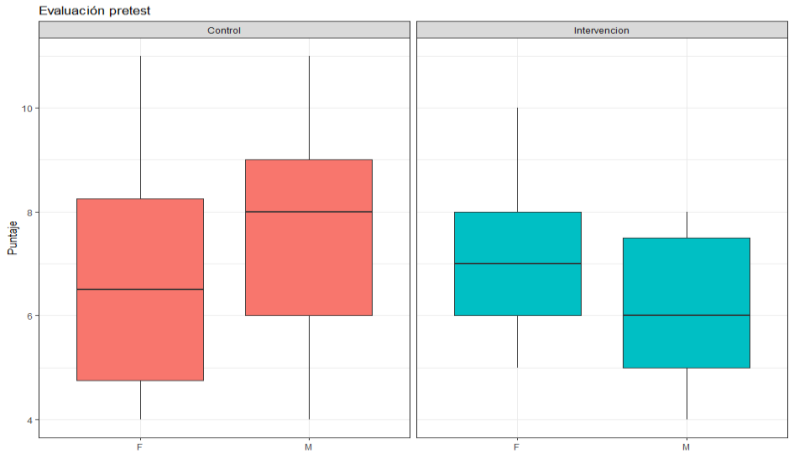
La prueba de hipotesis (t-estudent) para muestras pareadas determinó diferencias de los puntajes de los dos grupos en el pretest y postest considerando un nivel de significancia de 0.05 (ver tabla 8).en ambos grupos los puntajes de los promedios en el protest aumentan, sin embargo para el grupo intervención la diferencia de las medias fue de 6 puntos mientras que el grupo control fue 1.53.

Tabla 4. Prueba de hipótesis para el puntaje obtenido por grupo en el pretest y postest.

Grupo	Pretest	Postest	P
Intervención	6.76±1.60	13.33 ± 2.24	<0.01
Control	7.35 ±2.23	8.85 ±2.88	0.03

Los datos son expresados como media ± desviación estándar.
* Nivel de significancia 0.05

En la figura 2 se muestran los puntajes para hombres y mujeres en el pretest, para el grupo control se presenta mayor variabilidad tantos para hombres como mujeres, para el grupo intervención los puntajes muestran menor variabilidad y son mayores.comparando entre hombres y mujeres el grupo control tiene un mediana mayor en cambio en el grupo intervención la mediana para mujeres es mayor.



 ISSN: 2007 8102

Figura 2. Comparación de los puntajes obtenidos en el pretest según el grupo y sexo.

En el análisis de varianza de la tabla 7 los cambios en los puntajes en el pretest por sexo y grupo no son significativos, reportando un nivel de significancia de 0.05.

Tabla 5. Resultados del análisis de varianza con respecto a los puntajes obtenidos en la evaluación pretest en función del grupo y sexo.

	Gl	CM	F	p
Grupo	1	3.623	0.955	0.334
Sexo	1	0.01	0.01	0.991
Grupo × Sexo	1	8.410	2.21	0.144
Error	38	3.791		

* Nivel de significancia 0.05

Para el grupo control los puntajes son menores y presentan menor variabilidad a comparación de grupo intervención, respetó a la comparación de hombres y mujeres los comportamientos son similares. Para el análisis de la varianza (ver tabla 8) la diferencia en los puntajes entre grupos resulto significativo ($p<0.01$) sin embargo no hay diferencia entre sexo en el grupo intervención ($p=0.742$) y en la interacción de grupo y sexo ($p=0.547$).

Tabla 6. Resultados del análisis de varianza con respecto a los puntajes obtenidos en la evaluación pos test en función del grupo y sexo.

	Gl	CM	F	p
Grupo	1	201.56	29.90	<0.01*
Sexo	1	0.740	0.109	0.742
Grupo × Sexo	1	2.483	0.368	0.547
Error	38	6.739		

Las medias y desviación estándar y los puntajes por grupo y sexo en el postest se presentan en la tabla 11. Para el grupo intervención los puntajes son mayores tanto en hombres como en mujeres comparados con el grupo control.

Tabla 7. Medias del puntaje en el postest con respecto al sexo y grupo

Sexo	Grupo	
	Control	Intervención
Femenino	9.00 ± 3.12	13.07 ± 1.97
Masculino	8.76 ±2.74	13.85 ± 2.79

Discusión

Según el análisis estadístico presentado anteriormente se destacan tres resultados fundamentales que responden a los distintos objetivos planteados en la investigación y permiten a su vez la comprobación de la hipótesis. En primer lugar se puede evidenciar un aumento de los promedios significativo del grupo intervención en comparación con los promedios obtenidos para el grupo control, comprobando por un lado que la variación de la metodología de enseñanza a través de situaciones contextuales permite mejorar el desempeño en relación con la competencia matemática, sobre una metodología formal o tradicional.

Para la comprobación de la hipótesis se realiza manipulación de la variable independiente, también se apoya además en la poca variabilidad que obtuvieron los puntajes tanto para hombres como mujeres del grupo intervención en el postest, demostrando así que el uso de situaciones dentro de la enseñanza del sistema de referencia cartesiana genera una comprensión mayor de los conceptos de coordenadas y el uso de otros sistemas de referencia.

La comparación entre las variables estudiadas y la prueba de hipótesis permite afirmar que los estudiantes que reciben una enseñanza de los sistemas de referencia cartesianos a partir de problemas contextuales con distintos

 ISSN: 2007 8102

niveles de complejidad, presentan desempeño más alto con respecto a aquellos que reciben una enseñanza tradicional.
La validación de los instrumentos asegura la consistencia interna para que los resultados de la investigación puedan ser replicados en contextos educativos similares y utilizarse para otras temáticas relacionadas con la enseñanza de la matemática.
La investigación siguió un diseño experimental asegurando que el tratamiento de los datos fuera lo más objetiva posible para determinar cómo las variaciones en los tipos de enseñanza que hoy se dan los distintos niveles educativos generan espacios para comprender que los bajos rendimientos en pruebas externas como ICFES saber 11 o la prueba PISA, en algunas ocasiones se originan no por contextualizar los contenidos de enseñanza o por tratar de explicar que el bajo desempeño se relaciona únicamente con problemas de aprendizaje.
La metodología de enseñanza a través de situaciones contextuales, permite estudiar el sistema de referencia cartesiano desde distintos niveles, aprovechando el software interactivo y las aplicaciones para móvil como recursos para modelar las situaciones y encontrar posibles soluciones a un problema.
La enseñanza contextual de los sistemas cartesianos permite vincular situaciones aplicadas a otro tipo de sistemas como lo polares, geográficos, cilíndricos y esféricos, que hacen parte de los estándares de competencia en matemáticas pero que su incorporación a los libros de texto y guías metodológicas son casi nulos. Esta investigación genera además una ruta metodológica para la enseñanza de los sistemas de referencia distintos al cartesiano.
Dentro de los niveles de desempeño en matemáticas se evidencian mejores resultados en el grupo sometido a situaciones contextuales, con aumentos significativos pasando de un nivel bajo a un nivel básico y alto durante la intervención, en comparación con el grupo control que mantuvo los niveles bajos en la gran mayoría de los participantes y muy pocos acceden al nivel básico. La diferencia entre los dos grupos va ligado con el desarrollo de las tres competencias que sugiere el MEN (1998), competencias de interpretación y representación, competencias de formulación y ejecución, competencias de razonamiento y argumentación, el desarrollo de esas competencias son más evidentes según los resultados del grupo intervención en el postest, quien utiliza la metodología de enseñanza a partir de situaciones contextuales.

Trabajo a futuro

Es importante investigar las relaciones existentes entre la enseñanza de los sistemas de referencia que usan coordenadas cartesianas con otros tipos de sistemas fundamentados en coordenadas polares, esféricas y cilíndricas, también analizar desde la perspectiva del contexto como distintas competencias matemáticas se desarrollan a mayor profundidad y situar los rezagos en los resultados de pruebas externas dentro de situaciones que merecen ser problematizadas.

Conclusiones

Las situaciones contextuales con distinto nivel de complejidad, para la enseñanza de las matemáticas influye en el nivel de desempeño de la competencia matemática en relación con los sistemas de coordenadas cartesianos en estudiantes de noveno grado de la Institución Educativa Departamental La Victoria del Municipio de El Colegio, Cundinamarca, Colombia. En base a los análisis y resultados obtenidos, se obtienen las siguientes conclusiones.
1. Los estudiantes que recibieron la estrategia de enseñanza basada en situaciones contextuales (grupo intervención) presentaron desempeño más alto que aquellos que recibieron una enseñanza formal (tradicional). El incremento promedio en el puntaje del pretest al postest fue de 6 puntos para el grupo intervención. En el grupo control aun cuando se obtuvo un aumento en la calificación final, el incremento promedio fue de 1.53.
2. El análisis de cada pregunta del instrumento de evaluación muestra que el porcentaje de respuestas correctas en el postest fue mayor al 50% para cada pregunta. En el grupo control el comportamiento fue diferente: en 4 preguntas se reportaron menor del 20% de respuestas correctas, 10 preguntas entre el 20% y 60% de respuestas correctas y solamente 6 preguntas se registró mayor o igual al 60% de respuestas correctas.
3. Se caracterizaron las preguntas del instrumento con base a la correlación (entre las variables, en cuanto a la intensidad se estableció una correlación mayor o igual a 0.40. En el grupo de intervención, se determinaron ocho grupos de variables, de los cuales las variables que influyeron fueron las preguntas p2, p17 y p19. En el grupo control se establecieron 8 grupos de variables con correlaciones positivas y 4 grupos de variables con correlaciones negativas, las variables con mayor presencia fueron p3 y p14.

4. Si bien es cierto que existen distintas causas y variables que influyen en el desempeño de un estudiante, en esta evaluación el sexo no resulta una variable que indique diferencia. Este escenario nos permite centrarnos en la estrategia de enseñanza como un factor clave que promueve en los estudiantes un mejor rendimiento en el tema de sistemas de coordenadas cartesianos.

Referencias

[1] O. Borrero,(2020, May 18), Análisis del nivel de calidad educativo en Colombia, a partir de los resultados de las pruebas PISA en el periodo 2012-2018. *Repositorio Universidad Militar Nueva Granada*. [Online]. Available: http://hdl.handle.net/10654/35718

[2] F. Gómez, "El desarrollo de competencias matemáticas en la institución educativa pedro Vicente Abadía de Guacarí, Colombia," Revista Universidad y Sociedad, vol. 11,no.1, pp. 162-171, 2019.

[3] N.Galeano and F. Gómez, (2018, Jun 15), Las matemáticas vinculadas a situaciones del contexto cotidiano. *Repositorio digital de tesis y trabajos de grado*, [Online]. Available: https://hdl.handle.net/10495/23643

[4] J. Herazo, J. P. Fernández and E. De la Hoz Molinares, "Modelización matemática desde la perspectiva contextualizada," *Boletín Redipe*, vol. 10, no. 8, pp. 463-480, 2021.

[5] V. F. Morales, J. P. Segovia, F. G. Córdova and A. D. Hernández, "Modelado y TICs en la Enseñanza de Ciencias y Matemática," *Revista Dominio de las Ciencias*, vol.7, no.1, pp. 874-884, 2021.

[6] O. E. Bolaño-Muñoz, "El constructivismo: Modelo pedagógico para la enseñanza de las matemáticas," *Revista EDUCARE - UPEL-IPB - Segunda Nueva Etapa 2.0,* vol. 24, no.3, pp. 488–502, 2020.

[7] A. J. Vargas,(2019, Jul 10), Influencia del método de aprendizaje basado en problemas y de los contratos de estudio en el desarrollo de competencias matemáticas de los alumnos de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de Huancavelica, [Online]. Available: http://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/3617

[8] J. S. Londoño, (2020, Sep 12), El desarrollo del pensamiento espacial y sistemas geométricos: estrategias metodológicas en estudiantes de grado séptimo de la Institución Educativa Encimadas, [Online]. Available: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78081

[9] A. F. González, (2019, Oct, 16), Propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de coordenadas, mediante el uso de un software interactivo, *Facultad de Ciencias*, [Online]. Available: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77240

[10] A. I. Osorio, N. M. da Costa, D. A. Peña and L. R. Montesinos, "Modelamiento de Superficies en Coordenadas Esféricas a Través de GeoGebra," *Jornal Internacional de Estudos em Educação Matemática*, vol.13, no.1, pp. 02-05, 2020.

[11] I. M. Sánchez and M. T. González, "Concepciones de la geometría analítica en los libros de texto de secundaria y universidad en España durante el siglo XIX," *Historia De La Educación*, vol. 39, no. 1, pp. 45–65, 2021.

[12] G. R. Soto. "Sobre las concepciones y conocimientos de los profesores de Geometría Analítica y el nuevo modelo educativo de matemáticas". Tesis de Maestría, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Departamento de Matemática Educativa, Mexico, 2019

 ISSN: 2007 8102

Estrategia de aprendizaje práctico durante estadía técnica: Diseño e implementación de redes inalámbricas con radioenlaces.

A. Pérez López[1], S. Martínez Ramos[2], M. Martínez Demetrio[3],O. Luna Santiago[4], J. L. Sebastián Rojas[5]*
[1]División de Ingeniería Informática. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II S/N Aire Libre, C.P. 7380, Teziutlán, Pue. adriana.pl@teziutlan.tecnm.mx
[2]División de Ingeniería Informática Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Perote, Carretera Perote-México, km. 2.5 C.P. 91270 Perote, Ver. doc-095@itsperote.edu.mx
[3]División de Licenciatura en Turismo, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II SN, C.P. 73960 Teziutlán, Pue. magdaleno.md@teziutlan.tecnm.mx
[4]Alumno de Ingeniería Informática. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II S/N Aire Libre, C.P. 7380, Teziutlán, Pue. l20te0420@teziutlan.tecnm.mx
[5]Alumno de Ingeniería Informática. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II S/N Aire Libre, C.P. 7380, Teziutlán, Pue. l20te0472@teziutlan.tecnm.mx

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

El proceso de enseñanza-aprendizaje se ha visto influenciado por el uso de tecnologías, sobre todo, en la formación “en línea”; estrategias que han permitido a muchas carreras cumplir con sus perfiles profesionales; sin embargo, existen disciplinas en las que dichos métodos de aprendizaje no cubren por completo los conocimientos que el estudiante necesitará para desarrollar su profesión. En las áreas de Infraestructura de Telecomunicaciones, no basta con el uso de simuladores, por esta razón, realizar estadías técnicas en empresas o Instituciones donde exista la infraestructura necesaria y el personal capacitado, fortalecerá el aprendizaje a través de la implementación de procesos productivos y/o de desarrollo tecnológico. Por lo que, en este trabajo se presentan las evidencias del logro de una instalación completa de antenas de radio enlaces, que alumnos y docentes de Ingeniería Informática, realizaron en el periodo del doce de junio al catorce de julio del año actual.

***Palabras clave**: Estadía, antenas, alumnos, capacitación*

Abstract

The teaching-learning process has been influenced by the use of technologies, especially in "online" training; strategies that have allowed many careers to meet their professional profiles; however, there are disciplines in which these learning methods do not fully cover the knowledge that the student will need to develop their profession. In the areas of Telecommunications Infrastructure, the use of simulators is not enough, for this reason, carrying out technical stays in companies or Institutions where the necessary infrastructure and trained personnel exist, will strengthen learning through the implementation of production processes and/or or technological development. Therefore, this paper presents the evidence of the achievement of a complete installation of radio link antennas, which students and teachers of Computer Engineering, carried out in the period from June 12 to July 14 of the current year.

***Key words**: Stay, antennas, students, training*

Introducción

En la formación de los Ingenieros Informáticos del Tecnológico Nacional del México (TecNM), existen materias en las áreas de redes y telecomunicaciones, en las que en la mayoría de los casos por falta de la infraestructura real en los Institutos Tecnológicos se hace uso de simuladores para adquirir los conocimientos en la parte de configuración de equipos; sin embargo, existen dentro del mismo programa de estudios, materias en las que es de mucha importancia desarrollar ciertas habilidades en un entorno real; tal es el caso de los conocimientos requeridos para materias como Interconectividad de Redes, [1] parte de la retícula de la citada carrera, o de Redes inalámbricas, como parte de la especialidad del TecNM/Campus Teziutlán.

 ISSN: 2007 8102

Dentro del TecNM, se implementan diferentes estrategias para una mejor formación de docentes y alumnos, tal es el caso de programas como: residencia profesional, dualidad y estadía técnica; el objetivo que busca esta última es: promover la misma, con la finalidad de que el profesorado del Sistema de Institutos Tecnológicos se capacite y actualice en temas relacionados con las asignaturas que imparte y proyectos de investigación realizados, por medio de la experiencia adquirida en procesos productivos, administrativos, tecnológicos y de investigación, en empresas, instituciones y centros de investigación.[2] Dentro de las metas establecidas para la estadía específica que realizara personal del TecNM/Campus Teziutlán, al TecNM/Campus Perote, se propuso la asistencia intermitente de los alumnos Oscar Luna Santiago y Jorge Luis Sebastián Rojas del sexto semestre de Ingeniería Informática, como proceso de capacitación y réplica para los demás alumnos, con apoyo de la docente participante.

El desarrollo de habilidades prácticas en la formación de ingenieros se ha realizado a través de proyectos que cuentan con el respaldo de personal capacitado, certificado y que aplica las normas correspondientes acorde al tipo de actividades desarrolladas; tal es el caso del proyecto de titulación denominado “Instalación y puesta en funcionamiento de una torre de comunicaciones para ofrecer servicios de en la sabana de Bogotá” realizado en la Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, donde se analizó la necesidad de dar conectividad a usuarios de zonas rurales en la Sabana de Bogotá para ayudar a mejorar el servicio de Internet y al mismo tiempo generar utilidades, dado que la zonas rurales alejadas del centro urbano de Bogotá sufren problemas del acceso a internet. [3] La situación en México, no es muy diferente, ya que según datos del INEGI para el año 2020, el uso de internet tuvo mayor penetración en área urbanas, logrando un 78.3% de usuarios y en las zonas rurales, apenas alcanzaron el 50.4%.[4] Por lo anterior y debido a la enorme necesidad de conexión que se vivió durante la pandemia del COVID; se ha percibido la necesidad de reforzar a los profesionistas del TecNM/Campus Teziutlán, en esas habilidades y conocimientos profesionales, ya que el Instituto se encuentra en un punto estratégico de la Sierra Norte de Puebla.

Metodología

Para una adecuada realización del proyecto realizado durante la estadía, se siguió con la metodología de trabajo que se muestra en la figura 1; misma que se describe paso a paso.

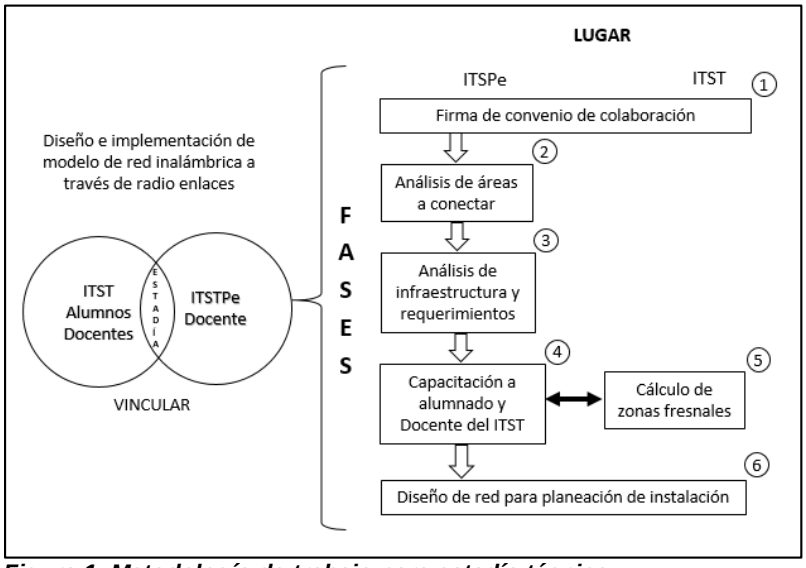


Figura 1. Metodología de trabajo para estadía técnica

1. *Firma del convenio*

Para todo trabajo colaborativo, es importante contar con el respaldo de un convenio que fortalezca las actividades académicas, culturales, deportivas y de cualquier índole que ataña a ambos Institutos. Por lo que, para lograr una formalización del trabajo realizado dentro de la Estadía Técnica, se contó con la visita de personal de ITS de Perote, a las instalaciones del ITS de Teziutlán para llevar a cabo la firma del convenio mencionado, como se

 ISSN: 2007 8102

aprecia en la figura 2; convenio que no sólo fue para la estadía, sino que dejó sentadas las bases para realizar más trabajo académico de forma colaborativa entre ambos tecnológicos.



Figura 2. Firma de Convenio Interinstitucional

2. Análisis de áreas de interconexión

En la primera visita al Instituto Tecnológico Superior de Perote, el Mtro. Samuel Martínez, quien estuvo a cargo del proyecto en las Instalaciones del mismo, brindó un recorrido detallado, como se aprecia en la figura 3; con la intención de conocer todas las áreas que contaban con la necesidad de cobertura inalámbrica, dando prioridad a algunas, por la naturalidad de sus funciones.



Figura 3. Visita guiada a las instalaciones del TecNM/Campus Perote

3. Análisis de infraestructura disponible y requerida para la conexión de los radios enlaces

Una vez recorridas las instalaciones y lugares específicos que requerirán conectividad, se procedió a revisar la infraestructura de montaje con que se contaba y lo que aún hacía falta adquirir, así como equipos (antenas y AP's) para realizar los enlaces inalámbricos. Los edificios B e I tienen ya una torre arriostrada, que es una estructura soportada por tensores o tirantes, éstos son generalmente de acero de alta resistencia, la cantidad de tensores que se colocan deben ser directamente proporcionales a la altura de la torre, se localizan a partir de las 2/3 partes de su altura y son anclados a 3 o 4 soportes ubicados, generalmente, a nivel de la base de la torre. [5]

En dichas torres se realizaría la colocación de las antenas a utilizarse; las cuales son: un par de tipo omnidireccional marca Ubiquiti, una de tipo direccional de la misma marca y una sectorial marca TpLink.

También se retiraron de las torres, aquellas antenas que ya no estaban en servicio y se revisaron a nivel de hardware y software para conocer su grado de funcionalidad y la factibilidad de reusarlas en caso necesario, dichas evidencias se encuentran en la figura 4.

 ISSN: 2007 8102



Figura 4. Revisión de infraestructura en el instituto

4. Capacitación a docente y alumnos acerca del proceso para montaje de antenas en alturas

Para llevar a cabo esta actividad, lo primero que se dio a conocer, por parte del Mtro. Samuel Martínez, fue la NOM-009-STPS-2011, “Condiciones de Seguridad para realizar trabajos en altura”[6], la cual busca prevenir los riesgos laborales para el tipo de actividades que cubre la norma; haciendo hincapié en el análisis de riesgos, plan de formación y capacitación, seguimiento de accidentes laborales, y principalmente que su enfoque administrativo se fundamente en la prevención. Dicha norma establece que el empleador deberá entregar a los trabajadores los equipos necesarios para trabajos en altura, como: andamios tipo torre o estructura, andamios suspendidos, plataformas de elevación, escaleras de mano y redes de seguridad entre los más importantes.[7]

Es importante destacar que la parte fuerte de este trabajo fue la capacitación sobre el correcto proceder del trabajo en alturas; y que, aunque la parte de configuración de antenas y equipos de interconectividad es primordial para lograr el objetivo, que es la interconectividad inalámbrica; esas habilidades pueden ser adquiridas en dispositivos dentro del salón de clases, o en simuladores en línea sino se contara con el equipo en las escuelas.

La primera actividad práctica fue proporcionar al equipo de trabajo, los equipos de seguridad para subir en las torres y explicar el motivo e importancia del uso correcto, dicho equipo constó de: arnés de cuerpo completo de 4 puntos, línea de vida, sistema posicionador, cascos y guantes.

El Mtro. Samuel cuenta con certificaciones acerca de la instalación de antenas en alturas, así como una constante actualización a través de la Secretaría de Infraestructura y Obras Públicas (SIOP) del Estado de Veracruz en dicha área. Por lo cual mostró al equipo de trabajo la forma correcta de colocarse el arnés y posteriormente cada integrante practicó varias veces de forma individual, así mismo apoyar a sus compañeros de trabajo, simulando un escenario en azoteas, donde se requiere de cierta agilidad para la realización de todo el proceso de subida a torres; dichas actividades se muestran en la figura 5.



Figura 5. Instalación correcta de arnés de cuerpo completo

 ISSN: 2007 8102

Para desarrollar la habilidad de la instalación física de las antenas en las torres, así como de identificar la herramienta necesaria para ello, se practicó en un entorno controlado, figura 6, con un tramo de remate (copete SCZ-30-P) para tramo STZ-30 galvanizado electrolítico con opresores para pararrayo[8]; todo lo anterior con la intención de identificar imprevistos que pudieran pasar en alturas y tratar de evitarlas, o conocer el proceso de atenderlas, sin mayor problema. Dicha actividad se practicó con cada uno del equipo, por cada modelo diferente de antena a instalar.



Figura 6. Instalación de antenas en torre, bajo entorno controlado

Otro aspecto indispensable a considerar en las personas que trabajan en altura, es contar con buena salud a la baja presión de oxígeno a la gran altitud; por lo que antes de subir a las azoteas (lugar donde se encuentran las torres donde se instalarían las antenas), se realizó una revisión médica de todos los que integraron el equipo de trabajo, por parte del servicio médico del Tecnológico de Perote, con la intención de conocer que el estado de salud estaba en condiciones de realizar dichas actividades sin contratiempos, como se aprecia en la figura 7.



Figura 7. Revisión médica del equipo de trabajo

Acto seguido y antes de subir a las alturas de las torres, donde en realidad se tenían que colocar las antenas, se realizaron pruebas en dichas torres, iniciando a nivel de piso, hasta llegar a una altura aproximada de 6 metros. Para estas actividades, se hizo uso de arnés, línea de vida y sistema de posicionador, como se puede observar en la figura 8.



Figura 8. Práctica del uso correcto del sistema de seguridad básico

 ISSN: 2007 8102

5. Cálculo de zonas fresnales

La zona de Fresnel es una región elíptica en el espacio que rodea la línea de visión directa entre las antenas en un enlace de radio [9]. Esta zona juega un papel importante en los enlaces de radio porque puede afectar la calidad y la estabilidad de la señal transmitida.

Previo a la instalación, es importante realizar el análisis de la Zona de Fresnel para saber con certeza la efectividad del radioenlace, a modo de planificar las especificaciones exactas de la colocación de las antenas, indicando; la altura, los grados de inclinación, evitar las posibles obstrucciones en línea de vista y en general, determinar la viabilidad del radioenlace.

Para este proyecto se utilizaron 3 programas de cómputo especializados para el cálculo de dichas áreas: LinkPlanner, Radio Mobile y AirLink (UISP Design Center).

A continuación, se muestran ejemplos de algunos de los cálculos de los radioenlaces dentro del Tecnológico de Perote en las figuras 9 y 10.

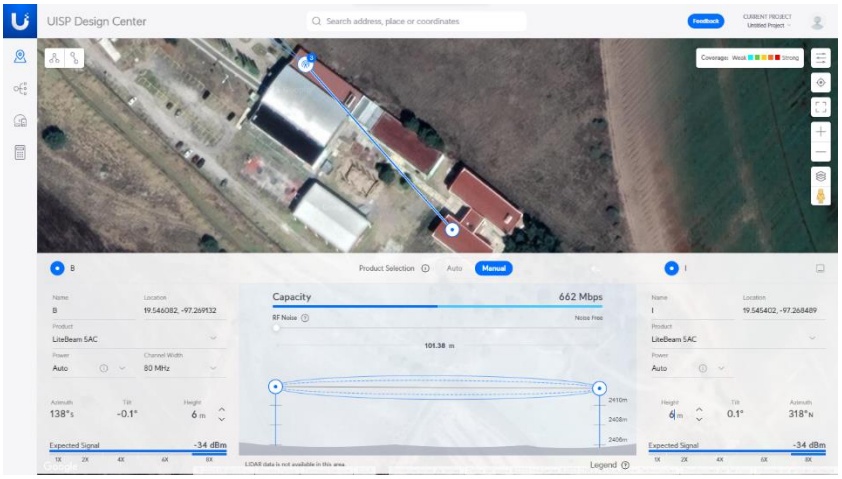


Figura 9. Cálculo entre los edificios B e I, a través de AirLink (UISP Design Center)

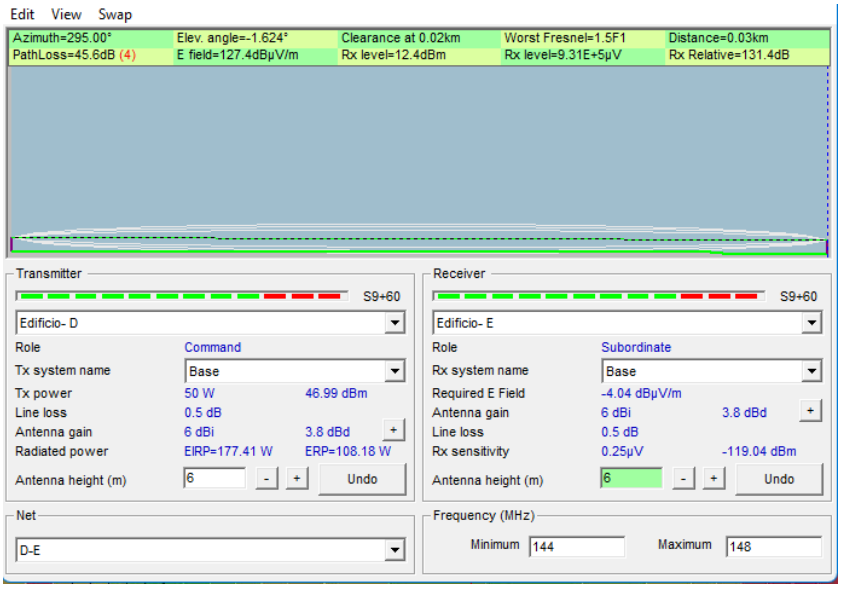


Figura 10. Cálculo entre los edificios D y E, a través del software Radio Mobile

 ISSN: 2007 8102

6. Diseño de red para la instalación de antenas

Cuando de una instalación de varios kilómetros de alcance se trata, es una buena práctica contar con un diseño de red, ya sea con un software especializado, como los usados para el cálculo de zona fresnal o con Google Earth, para conocer la distancia que cubrirá en radioenlace, así como las coordenadas geográficas correspondientes.

En este trabajo, como los radioenlaces son dentro del TecNM/Campus Perote, se hizo uso también de un croquis del Instituto, figura 11, con vista área y se marcaron los puntos a interconectar.[10]

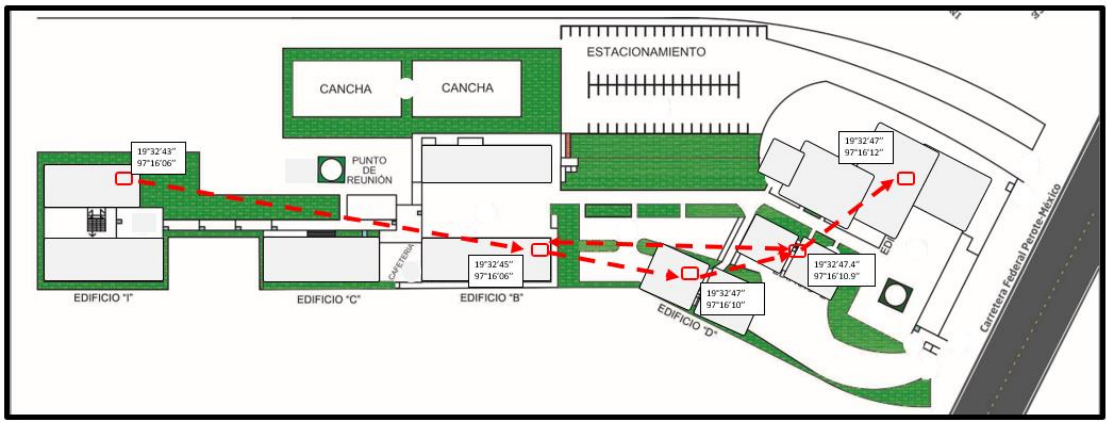


Figura 11. Croquis de las instalaciones del TecNM/Campus Perote

De igual forma y con el apoyo del programa Google Earth, se obtuvo una vista satelital, figura 12, que ratificó las distancias entre los puntos de interconexión, así como los valores de latitud y longitud.



Figura 12. Vista satelital del TecNM/Campus Perote

Resultados y discusión

Configuración e instalación de antenas

Para este proyecto se trabajaron tres tipos de antenas: direccional, omnidireccional y sectorial, de las marcas Ubiquiti, TpLink así como Access Point (AP) Intellinet; a pesar de que la lógica de configuración es igual para las tres, es importante recalcar que cada entorno gráfico y en ocasiones los datos de ingreso al software de las antenas, puede variar.

A continuación, se proporcionan capturas de pantallas de algunas de las configuraciones de los APs y/o antenas; es importante mencionar que, tanto para la antena omnidireccional como para la sectorial, el dispositivo de conexión ideal es un Rocket M5, sin embargo, por la falta de equipos para las 4 antenas, se utilizaron APs

 ISSN: 2007 8102

INTELLINET para la instalación de las omnidireccionales, como se muestra en la figura 13. Para una correcta conectividad, una antena debe estar configurada en modo “Punto de Acceso” y la otra “cliente”. De igual forma se presenta la interfaz gráfica de la antena LiteBeam airMAX M5 CPE de 100 Mbps, 5 GHz (5150 - 5875 MHz) con antena integrada de 23 dBi, en la figura 14.

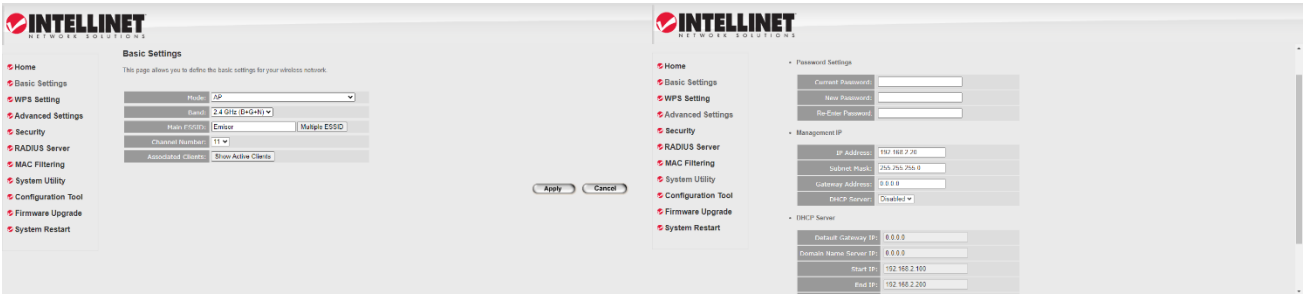


Figura 13. Configuración de AP para antenas Omnidireccionales

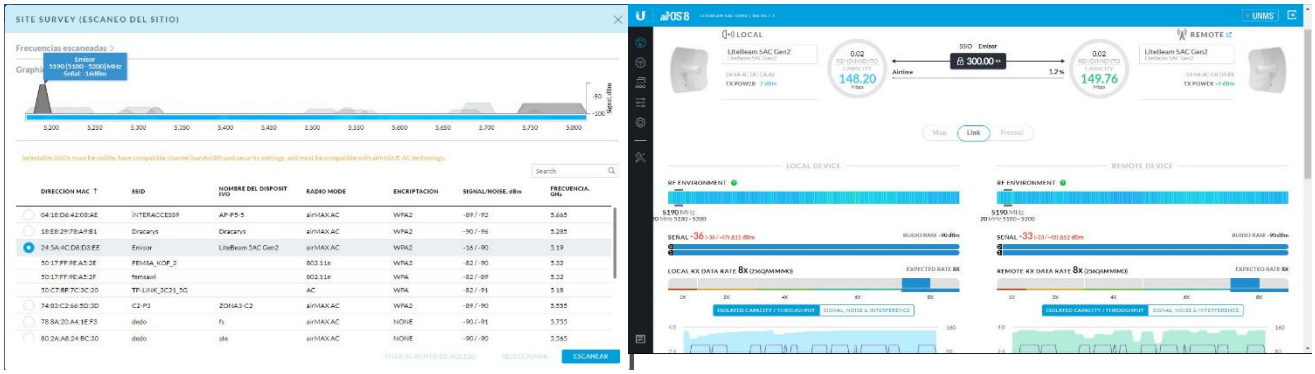


Figura 14. Configuración de cliente para antena Direccional

Al término de haber configuradas las antenas en un entorno controlado, es decir, dentro un salón; se procedió a realizar la subida a azoteas y posteriormente a torres, previo equipamiento de cada uno de los integrantes del equipo que iría subiendo a las torres para colocar las antenas y realizar la instalación y configuración del conector RJ45 del lado de la antena a conectar, así como la sujeción de la misma de forma correcta con ayuda de las herramientas necesarias. En la figura 15 se conjunta la participación de todos los integrantes del equipo, aplicando las medidas de seguridad que marca la Norma Oficial Mexicana correspondiente.



Figura 15. Instalación de antenas en torres arriostrada

 ISSN: 2007 8102

Pruebas de conectividad y ajustes entre edificios

Una vez colocadas las antenas de forma física en las torres, el siguiente paso fue completar la instalación de conector RJ45 del lado donde se bajara la señal en el edificio, para compartir la conectividad con los usuarios finales, previamente se realizaron las medidas correctas de la distancia que debería tener el cable de Red Cat6, desde las torres, hasta el punto final de interconexión, en este caso hacia el inyector POE que alimenta con 12v a cada una de las antenas y finalizando en el switch que brindará el servicio de red e internet.



Figura 16. Terminación de cables de red para conexión a LAN

Una vez concluida la configuración de todos los cables, bajo la norma de cableado estructurado T-568B, se realizó conexión con las computadoras portátiles en los extremos de bajada de cada antena, con la intención de corroborar una conexión eficaz, lo cual se puede apreciar con una prueba basada con el envió de paquetes a través la herramienta ping, mostrada en la figura 17.

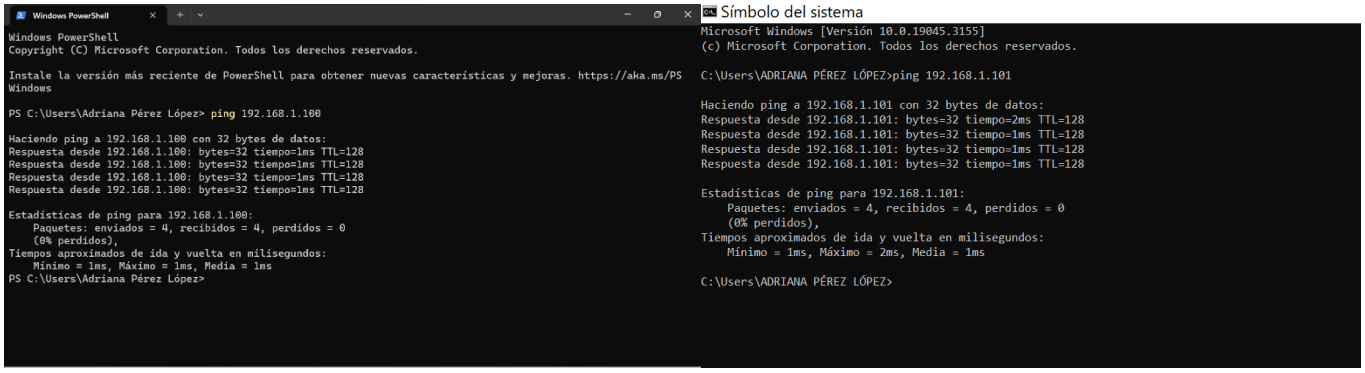


Figura 17. Pruebas de conectividad con ping

Trabajo a futuro

A través de la firma del convenio, se ha recibido la invitación, por parte del TecNMN/Campus Perote, para que este equipo de trabajo que ya incursionó en la instalación de antenas en alturas, participe como asistentes en el mes de agosto de 2023, a uno de los cursos de capacitación que regularmente les proporciona la SIOP, en materia de seguridad para el trabajo en alturas, de igual forma se tiene contemplada la posible participación como apoyo a los docentes de Ingeniería Informática del TecNM/Campus Perote, para la Instalación de Antenas en la Fortaleza de San Carlos, para que el 11 de octubre tenga lugar la conmemoración de la creación del Heroico Colegio Militar en 1823, en dicho museo.

Conclusiones

Al término de la estadía, tanto alumnos como docentes que participaron demostraron, por medio de la instalación y configuración correcta de las antenas sin mayores complicaciones; poseer los conocimientos y seguridad necesarios en cuanto a la habilidad que se buscó desarrollar, reforzando con ello las capacidades de los jóvenes participantes, cuyo compromiso es replicar con sus compañeros las actividades aprendidas. Es fundamental reconocer que, para llevar a cabo un proyecto de ese tipo, se deben considerar otras áreas de importancia, como lo son: obra civil, instalaciones eléctricas y puesta a tierra, licenciamientos si aplicara y proyección financiera, entre las principales.

No existe un dato estadístico preciso acerca de los diversos tipos de vinculación de los estudiantes a empresas y los resultados medibles en éxito o fracaso, sin embargo, el desarrollo de habilidades prácticas en materia de telecomunicaciones brinda al perfil del ingeniero en informática un panorama de aplicación inmediata de soluciones para interconectar más que equipos, personas, llevando el Internet cada vez a una cobertura cada vez mayor, pues se busca que alumnos diversifiquen las opciones profesionales que les esperan en el campo laboral, siendo una área poco explotada en la región de los tecnológicos que intervienen, intentando buscar el interés del alumnado en áreas distintas al desarrollo de software.

Agradecimientos

Esta experiencia de aprendizaje no hubiera sido posible sin el apoyo del personal académico y administrativo del Instituto Tecnológico Superior de Perote, en especial de la carrera de Ingeniería Informática, quienes siempre estuvieron al pendiente de todas las actividades realizadas y los requerimientos necesarios para que se culminara de forma exitosa, en total apego a la normatividad vigente.

Referencias

[1] TecNM, “Retícula Ingeniería Informática,” 2016. https://www.tecnm.mx/dir_escolares/reticulas/Reticula Ingenieria Informatica.pdf
[2] SEP and Dirección General de Institutos Tecnológicos, “Manuales De Vinculacion.”
[3] TELXIUS, “Proyecto técnico de obra para infraestructura de estación base de servicios de telecomunicaciones,” Asturias, 2018.
[4] INEGI, “Comunicado de prensa Núm . 258 / 22 16 de mayo de 2022 Estadísticas a propósito del día mundial del Internet (17 de mayo),” México, pp. 1–7, 2022. [Online]. Available: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2022/EAP_Internet22.pdf
[5] PROMOTEL, “Guía De Infraestructura De Telecomunicaciones,” 2019. [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/483497/Gu_a_Infraestructura_Telecomunicaciones.pdf
[6] STPS, “NORMA Oficial Mexicana NOM-009-STPS-2011, Condiciones de seguridad para realizar trabajos en altura.,” 2011. https://dof.gob.mx/normasOficiales/4377/stps/stps.htm (accessed Jul. 17, 2023).
[7] C. Raga, “¿Qué dice la NOM 009 STPS sobre el trabajo en alturas?,” *SESAME*, 2023. https://www.sesamehr.mx/blog/nom-009-stps/
[8] Syscom, “SYSCOM,” 2023. https://www.syscom.mx/producto/SCZ-30-P-SYSCOM-TOWERS-191561.html
[9] Ubiquiti, “SinCables,” *Alinear Radioenlaces*, 2020. https://www.sincables.net/2020/05/alinear-radioenlaces/
[10] T. Perote, “Instituto Tecnológico Superior de Perote,” 2023. https://www.itsperote.edu.mx/index/img/croquis.jpg (accessed Jul. 24, 2023).

 ISSN: 2007 8102

Análisis comparativo del rendimiento académico en las modalidades educativas impartidas en el TecNM/ITSLP

Ángela Rebeca Garcés Rodríguez[1], María Leonor Rosales Escobar[2], María Eugenia Navarrete Sánchez[3],
[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, angela.gr@slp.tecnm.mx;
[2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, maria.re@slp.tecnm.mx;
*[3]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, *maria.ns@slp.tecnm.mx.*

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

En los últimos años la educación a distancia se ha convertido en tendencia mundial debido a todos los beneficios que ofrece a los estudiantes y a las instituciones educativas. Para el TecNM la modalidad educativa no presencial (a distancia y mixta) tiene sus raíces en el Sistema de Tecnológico Abierto, establecido como mecanismo para abatir el rezago educativo en México, pero hasta el momento la institución no cuenta con un análisis comparativo del rendimiento académico de los estudiantes de las modalidades: presencial y no presencial. El objetivo de este estudio fue realizar un análisis comparativo para conocer si hay diferencias significativas en el rendimiento académico de esas modalidades en los estudiantes del TecNM campus San Luis Potosí. La población analizada fueron los estudiantes de cuatro carreras que ofrecen las dos modalidades. El resultado obtenido fue que no existe diferencia significativa en el rendimiento académico de ambas modalidades.

***Palabras clave**: educación, modalidad presencial, modalidad no presencial, rendimiento académico.*

Abstract

In recent years, distance education has become a global trend due to all the benefits it offers to students and educational institutions. For the TecNM, the non-face-to-face educational modality (distance and mixed) has its roots in the Open Technological System, established as a mechanism to reduce the educational gap in Mexico, but so far the institution does not have a comparative analysis of performance academic of the students of the modalities: face-to-face and non-face-to-face. The objective of this study was to carry out a comparative analysis to find out if there are significant differences in the academic performance of these modalities in the students of the TecNM San Luis Potosí campus. The population analyzed were the students of four careers that offer the two modalities. The result obtained was that there is no significant difference in the academic performance of both modalities.

***Key words**: education, face-to-face modality, distance modality, academic performance.*

Introducción

Debido al desarrollo de forma vertiginosa de las tecnologías de la información y la comunicación que han transformado a nivel global diferentes aspectos de la vida, entre ellos, la forma de adquirir y trasmitir el conocimiento, la educación ha demostrado su capacidad para transformarse y propiciar el cambio y el progreso de la sociedad, a través de las modalidades de enseñanza: presencial y no presencial.

En este contexto, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés),convocó a un grupo de expertos de los países que lo integran a una reunión titulada: Conferencia Mundial en el siglo XXI: Visión y acción. En este documento en el artículo 12 titulado: El potencial y los desafíos de la tecnología, se menciona, en el inciso b: “crear nuevos entornos pedagógicos, que van desde los servicios de educación a distancia hasta los establecimientos y sistemas virtuales de enseñanza superior, capaces de salvar las distancias y establecer sistemas de educación de alta calidad” [1].

En el año 2020, la pandemia del COVID-19 obligó al sistema educativo mundial a tomar acciones de prevención, cerrando las escuelas y propiciando con ello la educación a distancia. Debido a esta contingencia y a la intención de poner en marcha un proceso profundo de transformación en la educación superior, la educación a distancia

se ha convertido en tendencia mundial dados los beneficios que ofrece a los estudiantes y a las instituciones educativas. Así se promovió el uso de la tecnología a través de la conectividad para brindar un aprendizaje formalizado, complementando el sistema educativo tradicional y fortaleciendo el derecho de todas las personas a la educación, por lo que esta transformación de la educación superior no ha sido ajena al Tecnológico Nacional de México (TecNM).

Fundamento Teórico

Las modalidades educativas acordes al tema de investigación de este estudio son dos : la modalidad presencial y la modalidad no presencial (a distancia y mixta). La educación presencial, que es la educación tradicional, se ha impartido durante mucho tiempo en las escuelas, se da en el salón de clase donde el maestro es la figura principal del proceso enseñanza y aprendizaje y los estudiantes se reunen en determinados momentos para oir sus enseñanzas [2].

La modalidad no presencial (a distancia y mixta), según el modelo de educación a distancia del TecNM, es la educación en la cual los estudiantes adquieren una formación sin necesidad de asistir al campo institucional. La educación a distancia es la modalidad educativa cuya principal caracteristica es mantener la comunicación no presencial, debido a que los estudiantes y docentes se encuentran en lugares diferentes y sólo interactúan de manera presencial en algunos momentos determinados. El estudiante tiene acceso a diversos medios de comunicación, lo que facilita la consulta de diferentes fuentes de conocimiento que permiten aprender de manera autodidacta. La educación mixta es la modalidad educativa en la cual los estudiantes adquieren una formación en el campo institucional, pero el número de horas bajo la conducción de un docente es menor a lo establecido para la modalidad escolarizada [3].

En las dos modalidades descritas anteriormente, el cumplimiento de los resultados de aprendizaje se concreta en el rendimiento académico de los estudiantes, el cual es un indicador estratégico para medir la calidad educativa en la educación superior. En [4], se menciona que el rendimiento académico se define como el valor atribuido al logro del estudiante en su desempeño académico, mediante las calificaciones obtenidas. Casi siempre involucra una evaluación cuantitativa del aprovechamiento del estudiante, ya sea satisfactorio o no, e implica deserción o éxito académico.

Modalidades educativas en el TecNM/ITSLP

El TecNM es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaria de Educación Pública (SEP), el cual tiene adscritos a 260 institutos (134 institutos tecnológicos descentralizados y 126 institutos tecnológicos federales). En el artículo 2 del decreto que crea al TecNM se establece que, tendrá por objeto prestar los servicios de educación superior tecnológica, en las modalidades presencial; no presencial (a distancia y mixta); así como de educación continua [5].

El TecNM desarrolló el Modelo de Educación a Distancia (MEaD) para ofrecer una cobertura más amplia de la educación superior tecnológica del país, en las modalidades: presencial y no presencial, coadyuvando así a formar profesionistas que serán un factor determinante en el desarrollo nacional e internacional, con una amplia perspectiva de inclusión, equidad y calidad [6].

En el año 2018 se registró una matrícula en el TecNM en la modalidad no presencial de 18,554 y en el año 2019 de 20,268 estudiantes en el nivel de licenciatura, lo que represento un incremento del 9.24%. Los planes de estudio de nivel licenciatura y posgrado en modalidad no presencial son impartidos por 84 planteles que atienden al 3.3% de la matrícula total del TecNM [7].

Uno de los 260 institutos pertenecientes al TecNM es el Instituto Tecnológico de San Luis Potosí (TecNM/ITSLP), en el que se imparten dos modalidades de educación: presencial, y no presencial (a distancia y mixta). En la modalidad presencial en el periodo enero-junio 2023 se tuvo una matrícula de 5,104 estudiantes en diez programas educativos de licenciatura y dos maestrías [8].

La modalidad no presencial a distancia se ofrece en tres programas y la modalidad mixta se ofrece en cuatro, de los diez programas educativos de licenciatura de modalidad presencial, dando inicio en el semestre enero-junio 2009 con la carrera a distancia de: ingeniería industrial (IND); en enero-junio 2011, de ingeniería en sistemas computacionales (ISC); y en agosto-diciembre 2022, de licenciatura en administración (ADM). La modalidad mixta inició en el semestre agosto-diciembre 2017 con la carrera de ingeniería industrial (IND); en agosto-diciembre 2019 de ingeniería en sistemas computacionales (ISC); en enero-junio 2021 de licenciatura en administración (ADM), la más reciente, es la carrera de ingeniería en gestión empresarial (IGE) que inició en el semestre agosto-diciembre 2022.

La modalidad no presencial a distancia del TecNM/ ITSLP se ofrece en los municipios de Ahualulco, Moctezuma y el Naranjo, pertenecientes al estado de San Luis Potosí. En el semestre enero-junio 2023, se atendió un total de 169 estudiantes [8]. Cada uno de estos municipios cuenta con instalaciones para que los estudiantes se

 ISSN: 2007 8102

conecten con el profesor al TecNM/ITSLP a través de video llamada para recibir clase en forma síncrona o asesoría, si el estudiante está presente en el campus.

La modalidad no presencial mixta del TecNM/ITSLP en el periodo enero-junio 2023 atendió a 241 estudiantes [8]. En esta modalidad, el estudiante desarrolla entre semana actividades académicas a través de la plataforma Moodle y los días sábado asiste a asesoría en sesiones presenciales de dos horas por materia en las instalaciones del instituto. Este programa está diseñado para personas con experiencia laboral dentro de las organizaciones y que no pueden acceder a programas educativos convencionales; la edad mínima para ingresar a esta modalidad, establecida en el instituto, es de 24 años [9].

En el ITSLP, las dos modalidades educativas son impartidas por los mismos docentes, con base en el mismo plan de estudios, manual de lineamientos académico-administrativos, proceso de evaluación y acreditación de asignaturas, y en los mismos períodos; sin embargo, las horas de exposición del profesor son menores en la modalidad no presencial [6]. Para acreditar una asignatura se usan valores numéricos (en el intervalo de 0 a 100), el valor alcanzado representa el indicador para estimar el rendimiento académico y el logro de las competencias desarrolladas para el perfil de egreso de los programas educativos.

La matrícula en ambas modalidades ha ido creciendo; así como el número de carreras que la institución está ofertando, pero hasta el momento, no se cuenta con un análisis comparativo del rendimiento académico de los estudiantes de las dos modalidades: presencial y no presencial; es por ello que el objetivo de este estudio es realizar un análisis comparativo para conocer si existe una diferencia significativa en el rendimiento académico de los estudiantes en las modalidades presencial y no presencial que se imparten en el TecNM/ITSLP. Es decir, se pretende responder la siguiente pregunta de investigación, ¿existe una diferencia significativa en el rendimiento académico, según la modalidad educativa, en el TecNM/ITSLP?

Metodología

El estudio realizado tiene un enfoque mixto, ya que [10] “implica un conjunto de procesos de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio” con alcance descriptivo, debido a que [11] “muestra la forma en que ocurre el problema que se estudia” y transversal; porque [10] recolecta datos en un solo momento, en un tiempo único. Cuantitativamente, se consultó la Base de Datos del Sistema Integral de Información (SII) del ITSLP, cualitativamente, se recabó información por medio de una encuesta realizada en Google Forms a estudiantes de la modalidad mixta. La población estudiada corresponde a la inscripción en los períodos de enero-junio (EJ) y agosto-diciembre (AD) del año 2022, en las carreras de: Licenciatura en Administración (ADM); Ingeniería en Gestión Empresarial (IGE); Ingeniería Industrial (IND) e Ingeniería en Sistemas Computacionales (ISC), que son las cuatro carreras del ITSLP que tienen modalidad no presencial.
El total de estudiantes de la población estudiada es de 6,900, la cual se muestra en la Tabla 1, de acuerdo con la carrera y modalidad presencial y no presencial, en los períodos de EJ y AD de 2022.

Tabla 1. Población de estudio por modalidad y carrera. **Con datos del SII del ITSLP.**

Modalidad/Carrera	ADM	IGE	IND	ISC	Total
Presenciales	1649	1558	2300	747	6254
No Presenciales:	94	10	435	107	646
Totales	1743	1568	2735	854	6900

Las características de la población, respecto a su distribución por carrera y género se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Población de estudio por carrera y género en los períodos de estudio. Con datos del SII del ITSLP.

Lic. Administración (ADM)	Presencial	Distancia	Mixta	Total
Femenino	1228	8	69	1305
Masculino	421	4	13	438
Total	1649	12	82	1743
Ing. Gestión Empresarial (IGE)	Presencial	Distancia	Mixta	Total
Femenino	1130	0	9	1139

 ISSN: 2007 8102

Masculino	428	0	1	429
Total	1558	0	10	1568
Ing. Industrial (IND)	Presencial	Distancia	Mixta	Total
Femenino	976	103	99	1178
Masculino	1324	102	131	1557
Total	2300	205	230	2735
Ing. Sist. Computacionales (ISC)	Presencial	Distancia	Mixta	Total
Femenino	212	42	8	262
Masculino	535	43	14	592
Total	747	85	22	854

En la Figura 1 se muestra la población de estudio clasificada por sexo: femenino y masculino.

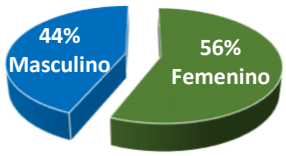


Figura 1. Población de estudio por sexo.

En la Figura 2 se presenta gráficamente el aprovechamiento escolar por carrera y modalidad de estudio en los períodos enero-junio y agosto-diciembre del año 2022, de acuerdo con el registro que se realiza en el certificado de los estudiantes.

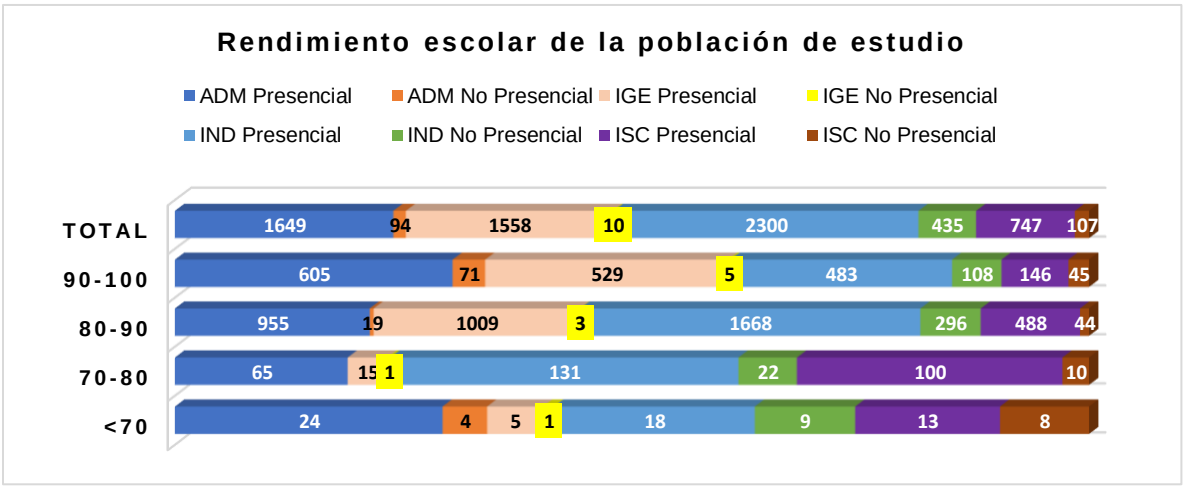


Figura 2. Rendimiento escolar por carrera y modalidad.

Materiales

Para el desarrollo de la parte cuantitativa se obtuvo la base de datos del Sistema Integral de Información (SII) del ITSLP, de los dos períodos enero-junio y agosto-diciembre del 2022 de las cuatro carreras que tienen las dos modalidades de estudio (presencial y no presencial); para la parte cualitativa se elaboró una breve encuesta para los estudiantes de modalidad mixta que cursaban el período enero-junio 2023 a través de Google Forms.
La herramienta aplicada en los estudios estadísticos fue Excel a través del análisis de datos y sus complementos que ofrecen las funciones para obtener la estadística descriptiva; histograma; prueba Z para medias; así como en complementos de Real Statistics, en el Data Analysis Tools, la Chi-square Test for Independence.

ISSN: 2007 8102

Preparación y Desarrollo

Con la información que caracterizan a la población de estudio, se realizó un análisis de datos que contempló: la obtención de la estadística descriptiva, por carrera y modalidad (presencial y no presencial); la prueba de diferencia de medias para determinar si hay diferencia significativa en el promedio de aprovechamiento en cada modalidad y carrera; y la prueba de independencia con chi-cuadrada, con el propósito de conocer qué factores influyen en el promedio de aprovechamiento obtenido por la población de estudio.
Se aplicó una encuesta digital a los estudiantes que cursaban el semestre enero-junio 2023 de las cuatro carreras: ADM, IGE, IND e ISC en la modalidad mixta, para conocer la percepción que tienen de la modalidad mixta y presencial.

Resultados y Discusión

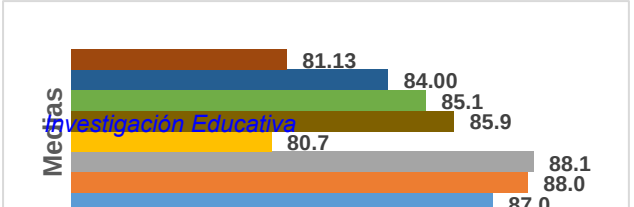
Para observar la tendencia de los datos y describir las características de las variables que intervienen en la investigación de cada carrera y modalidad (P: presencial y NP: no presencial), se obtuvo la estadística descriptiva que se muestra en la Tabla 3.

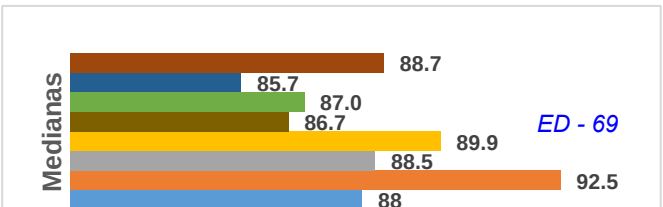
Tabla 3. Estadística descriptiva por carrera y modalidad de estudio. Obtenida en Excel.

Estadística descriptiva								
Carreras	ADM		IGE		IND		ISC	
Promedio Obtenido	*P*	NP	P	NP	P	NP	P	NP
Media	**87.0**	**88.0**	**88.1**	**80.7**	**85.9**	**85.1**	**84.00**	**81.13**
Error típico	0.3	2.0	0.2	9.1	0.2	0.6	0.44	2.29
Mediana	**88.2**	**92.5**	**88.5**	**89.9**	**86.7**	**87.0**	**85.66**	**88.71**
Moda	0.0	92.5	90.0	91.5	0.0	0.0	0.00	0.00
Desviación estándar	**11.5**	**19.0**	**6.1**	**28.9**	**8.7**	**13.1**	**12.05**	**23.74**
Varianza de la muestra	131.4	360.4	37.0	835.2	76.2	171.1	145.25	563.38
Curtosis	45.5	18.0	139.4	9.0	70.6	34.6	38.50	7.84
Coeficiente de asimetría	-6.3	-4.3	-9.8	-2.9	-7.4	-5.7	-5.87	-3.02
Rango	**97.6**	**99.2**	**97.2**	**97.3**	**97.9**	**96.3**	**96.55**	**95.78**
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
Máximo	97.6	99.2	97.2	97.3	97.9	96.3	96.55	95.78

De las características que describen las medidas de tendencia central obtenidas: la media y la mediana, se muestran en la Figura 3, en la que se puede observar un valor superior 92.5 en la mediana de la carrera de ADM no presencial y el menor valor de 85.7 en la mediana de la carrera de ISC presencial. Para la media, se muestran valores menores a la mediana como resultado de promediar los datos de calificaciones obtenidas, el menor valor de 80.7 es en la carrera de IGE no presencial y el mayor de 88.1 se observa en la misma carrera en modalidad presencial.

En cuanto a las características de dispersión o variabilidad, en la Figura 4 se muestran el rango y la desviación estándar por carrera y modalidad. Se puede observar que el rango más alto de 99.2 se da en la carrera de ADM no presencial y el más bajo de 95.8 en la carrera de ISC no presencial. En relación con la medida de dispersión de los datos en torno a la media, se visualiza el valor máximo de 28.9 en la carrera de IGE no presencial; el mínimo valor de esta medida 6.1, está en la misma carrera en modalidad presencial; en general, hay menos dispersión de datos en torno a la media en las carreras de modalidad presencial.





 ISSN: 2007 8102

Figura 3. Las principales medidas de tendencia central de la población de estudio: Media y Medianas.

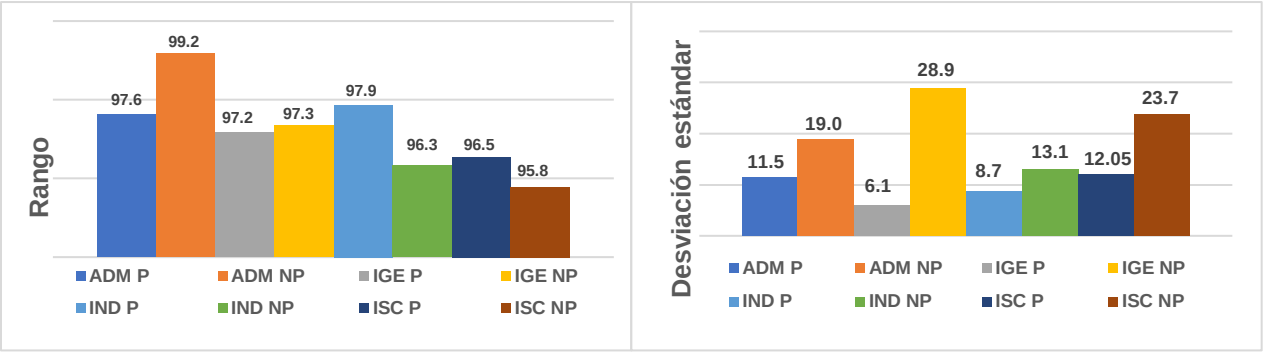


Figura 4. Principales medidas de dispersión: Rango y Desviación estándar

Para verificar si la diferencia en las medias del aprovechamiento escolar es significativa, [12] se aplicó a las cuatro carreras en las modalidades presencial (p) y no presencial (np) la prueba de hipótesis siguiente:

$$\text{Prueba de Medias con } \alpha = 0.05$$
$$\text{Ho: } \mu_p - \mu_{np} = 0$$
$$H_1\text{: } \mu_p - \mu_{np} \neq 0$$

Donde:

$\boldsymbol{\mu_p}$: es la media en la modalidad presencial de las carreras analizadas.

$\boldsymbol{\mu_{np}}$**:** es la media en la modalidad no presencial de las carreras analizadas.

Decisión:

Si $|Z_{calc.}| \leq Z_{crit.}$ Entonces: No rechazar Ho: No hay diferencia significativa entre $\boldsymbol{\mu_p}$ **y** $\boldsymbol{\mu_{np}}$.

De lo contrario: Si hay diferencia significativa.

Aplicando análisis de datos en Excel, se obtuvieron los resultados de la Tabla 5.

Tabla 5. Resultado de la prueba de hipótesis, obtenidos de Excel.

Carrera	**Zcalc.**	Zcrit.	Decisión
ADM	**-0.50**	1.96	No Rechazar Ho
IGE	**0.81**	1.96	No Rechazar Ho
IND	**1.23**	1.96	No Rechazar Ho
ISC	**1.74**	1.96	No Rechazar Ho

 ISSN: 2007 8102

De la Tabla 5, se infiere que “No hay diferencia significativa en las medias de aprovechamiento de las modalidades presencial y no presencial”; por lo que, para los estudiantes de las dos modalidades estar presentes o a distancia no impacta en su rendimiento académico.
Para analizar la independencia de los factores: sexo, edad e ingreso familiar como variables independientes con el promedio de aprovechamiento escolar como variable dependiente de las cuatro carreras, en las dos modalidades, se realizó la prueba de Chi-cuadrada [13], mediante las siguientes hipótesis:

Prueba de Chi cuadrada para independencia:
Ho: Las Variables analizadas SON Independientes
H1: Las Variables analizadas NO SON Independientes
Con α = 0.05.
Decisión: Si chi-sq ≥ chi-crit, Rechazar Ho: Las variables no son independientes; de lo contrario: son independientes.

Aplicando el complemento de análisis de datos en Excel, para esta prueba, se obtuvieron los resultados, mostrados en las Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de la Prueba de Chi cuadrada para Independencia.

Carreras	***Sexo vs. Prom.***		***Edad vs. Prom.***		***Ingresos vs. Prom.***	
	chi-sq	*chi-crit*	*chi-sq*	*chi-crit*	*chi-sq*	*chi-crit*
ADM-P	35.99	7.81	81.60	12.59	80.56	25.00
IGE-P	114.49	7.81	114.49	7.81	33.71	25.00
IND-P	103.27	7.81	103.27	7.81	48.42	25.00
ISC-P	7.91	7.81	92.89	12.59	38.88	25.00
ADM-NP	4.39	5.99	15.22	9.49	18.61	12.59
IGE-NP	1.11	7.81	1.11	7.81	18.92	16.92
IND-NP	6.53	7.81	6.53	7.81	8.44	16.92
ISC-NP	3.45	7.81	5.76	12.59	5.40	12.59

En la Tabla 6, el área sombreada representa los casos en que se rechaza Ho, chi-sq > chi-crit y la no sombreada, son los casos en que no se rechaza Ho, chi-sq < chi-crit. Lo cual representa la no independencia y la independencia respectivamente, de las variables analizadas. En el caso del área sombreada, en modalidad presencial, para la variable sexo y promedio de aprovechamiento, no hay independencia, los factores están asociados; por el contrario, en modalidad no presencial, el promedio de aprovechamiento es independiente de que el estudiante sea mujer u hombre.
En el segundo caso, edad y promedio de aprovechamiento, para las carreras IGE, IND e ISC, en modalidad presencial y para ADM en sus dos modalidades, la edad no es independiente del promedio de aprovechamiento; sin embargo, para IGE, IND e ISC, no presencial, las variables son independientes, el promedio de aprovechamiento no está asociado con la edad.

Modalidad Mixta		Sexo		Edad		Trabaja	
Carrera	Estudiantes	F	M	24-30	>=30	Si	No
IGE	2	2	0	2	0	2	0
ISC	3	3	0	1	2	3	0
IND	24	15	9	14	10	22	2
ADM	22	19	3	15	7	19	3
Total	51	39	12	32	19	46	5
%	100	76%	24%	63%	37%	90%	10%

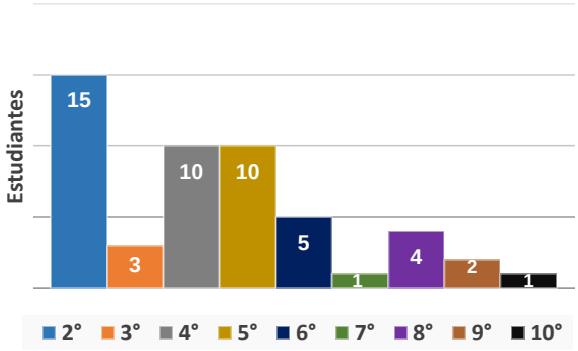


Figura 5. Características de la muestra de estudiantes

Finalmente, en el caso, ingreso al hogar y promedio de aprovechamiento, a las cuatro carreras en modalidad presencial, se le suman ADM e IGE no presencial al área de rechazo de Ho; por lo que, el promedio de

 ISSN: 2007 8102

aprovechamiento, tiene asociación con el ingreso en el hogar; en cambio para IND e ISC no presencial, el promedio de aprovechamiento es independiente de cuánto ingresa monetariamente en el hogar.
Con respecto a la encuesta aplicada a los estudiantes de modalidad mixta, se obtuvieron las respuestas del 24.7 % de 206 estudiantes de modalidad mixta, con las siguientes características mostradas en la Figura 5.

Como se puede observar, el 76% son mujeres; el 90% trabaja; el 32% tiene de 24 a 29 años; el 69% cursan los semestres 2°, 4° y 5°. Para conocer la percepción que tienen los estudiantes encuestados sobre la modalidad mixta comparada con la presencial, la respuesta obtenida, se visualiza en la Figura 6.

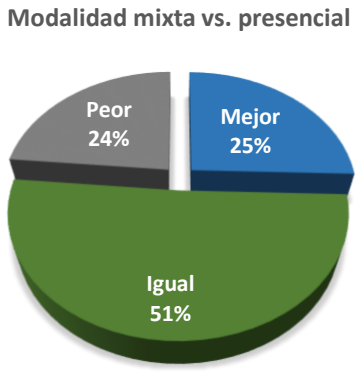


Figura 6. Percepción sobre la modalidad que cursan

El 76% consideran que la modalidad mixta es igual y mejor que la presencial, sólo el 24% consideran que es peor.

Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro para completar este estudio, es necesario conocer la percepción de los profesores que atienden las modalidades no presenciales, ya que, en su mayoría imparten simultáneamente o han impartido los programas de las asignaturas en ambas modalidades, con los mismos programas de estudio y los lineamientos de acreditación. Queda también pendiente analizar las causas por las que el 24% de los encuestados considera que la modalidad mixta es peor que la presencial; así como las causas por la que es igual y mejor que la presencial, con el propósito de contribuir a la mejora en la calidad educativa en cualquier modalidad.

Conclusiones

Con los resultados obtenidos del análisis estadístico se logró contestar a la pregunta de investigación formulada en este estudio “¿hay una diferencia significativa entre el rendimiento académico según la modalidad educativa en el TecNM/ITSLP?”, la respuesta obtenida en la prueba de medias con $\alpha=0.05$ como nivel de significancia y los valores calculados de Z, se comprobó que no la hay; al no rechazar que el valor hipotético de la diferencia de medias es igual a 0. Lo cual coincide con la teoría revisada.
Respecto a los factores que se asocian con el aprovechamiento escolar por carrera y modalidad, se llegó a la conclusión que se esperaba; en la modalidad presencial no hay independencia con los factores: sexo, edad e ingreso al hogar; por lo que, se demostró que existe asociación con el aprovechamiento escolar, al rechazar la hipótesis de independencia con la prueba de Chi-cuadrada. Para la modalidad no presencial; en cuanto al sexo, si hay independencia; el aprovechamiento escolar no está asociado con que el estudiante sea hombre o mujer. En cuanto al factor edad, sólo en la carrera de ADM-NP, hay asociación con el aprovechamiento escolar. Finalmente, con el factor ingreso al hogar; sólo en las carreras de IND-NP e ISC-NP; no tienen asociación con el aprovechamiento escolar, son independientes. Esto confirma que en los estudiantes de la modalidad presencial los factores analizados tienen asociación con su rendimiento en la carrera que estudian. Para la modalidad no presencial, se visualiza mayor independencia, tanto por su edad como por estar en el campo laboral, en su mayoría.

En relación con la percepción de los estudiantes de modalidad mixta que respondieron la encuesta, se llega a la conclusión que sólo el 24% considera que esta modalidad es peor que la presencial; sin embargo, arriba de la

ISSN: 2007 8102

mitad (51%) considera que es igual y la cuarta parte mejor que la presencial; en síntesis, el 76% aprueba la modalidad mixta. Estadísticamente, no hay diferencia significativa en cuanto al rendimiento escolar.

Agradecimientos

A las autoridades académicas del TecNM/ITSLP, por darnos la oportunidad de realizar este estudio en las instalaciones de la institución.

Referencias

[1] UNESCO, «Declaración mundial sobre la educación superior en el siglo xxi: visión y acción», *Educ. Sup. Soc*, vol. 9, n.º 2, pp. 97-113, ago. 2019, p.110

[2] G. Rodríguez Albor, V. Gómez Lorduy y M. Ariza Dau, "Quality of higher education for distance and virtual learning: An analysis of academic performance in Colombia", *Investigación & Desarrollo*, vol. 22, n.º 1, p. 79–119, enero de 2014. Accedido el 13 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.14482/indes.22.1.6079

[3] Tecnológico Nacional de México. “Modelo de educación a distancia del Tecnológico Nacional de México.” México: Tecnológico Nacional de México, 2015. [En línea]. Disponible en: https://www.tecnm.mx/difusion/modelo-de-educacion-a-distancia

[4] G. M. Garbanzo Vargas, "Factores asociados al rendimiento académico tomando en cuenta el nivel socioeconómico: Estudio de regresión múltiple en estudiantes universitarios", *Revista Electrónica Educare*, p. 119–154, enero de 2014. Accedido el 13 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.15359/ree.18-1.6

[5] México, Secretaria de Educación Pública, "Decreto que crea el Tecnológico Nacional de México", *Diario Oficial de la Federación*, 23 de julio de 2014. Accedido el 17 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5353459&fecha=23/07/2014&print=true

[6] Tecnológico Nacional de México, *Modelo de educación a distancia del Tecnológico Nacional de México*, México, 2015, pp. 293. [En línea]. Disponible: https://www.tecnm.mx/difusion/modelo-de-educacion-a-distancia

[7] Tecnológico Nacional de México (TecNM), (2019).Presentación del informe de autoevaluación de gestión correspondiente al ejercicio fiscal 2019 por el Director General del Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnólogico de Guanajuato. [En línea]. Disponible: https://www.tecnm.mx/menu/transparencia/Informe_Autoevaluacion_2019.pdf

[8] "SII". SII. http://sii.itslp.edu.mx/ (accedido el 3 de febrero de 2023).

[9] "Modalidad mixta – Instituto Tecnológico de San Luis Potosí". Instituto Tecnológico de San Luis Potosí – Página principal. https://slp.tecnm.mx/modalidad-mixta/ (accedido el 17 de enero de 2023).

[10] R. Hernández, *et al. Metodología de la investigación,* 6ª ed.México: Mc Graw Hill, 2014, pp.532-535.

[11] J. Castañeda, *et al. Metodología de la investigación*, México: Mc Graw Hill, 2005, pp.85-91

¡12] J.Levin y W.C. Levin, *Fundamentos de estadística en la investigación social*, 2ª ed. México: Alfaomega, 2004, pp. 121-130.

[13] D.M. Levine, *et al*. *Estadística para administración.* 6ª ed. E.U: Pearson, 2013, pp. 416-419.

 ISSN: 2007 8102

Investigación y Desarrollo Profesional en los Alumnos del TecNM

Pulido-Balandra E.M. [1], Balandra-Aguilar L. E.[2], Gómez-Flores A.W.[3], Valdés-Colunga,G.[3], Ojeda-Cruz M.L. [5]*

[1]Universidad de las Américas de Puebla, elena.pulidoba@udlap.mx, [2345] Tecnológico Nacional de México campus Comitán,[2] lorena.ba@comitan.tecnm.mx, [3] ana.gf@comitan.tecnm.mx, [4]gladys.vc@comitan.tecnm.mx,[5] mayra.oc@comitan.tecnm.mx

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

El Tecnológico Nacional de México (TecNM), está constituido por 254 instituciones: 126 son Institutos Tecnológicos Federales, 122 Institutos Tecnológicos Descentralizados, cuatro Centros Regionales de Optimización Y Desarrollo de Equipo (CRODE), un Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica (CIIDET) y un Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET). El objetivo del presente artículo es describir la formación en investigación en los alumnos TecNM ya que ésta es de manera paulatina, primero se cimientan las bases para hacer investigación documental, generando en los alumnos la disciplina de citar siempre las fuentes de información de donde se basan, evitando con esto el plagio, el siguiente escalón sería la redacción de informes de investigación, para hacer conciencia en el alumnado y docentes en la importancia que tiene el camino hacia la titulación integral

Independientemente de la carrera que se estudie en el TecNM, a lo largo de su formación cuentan con una serie de materias que apoyan la titulación integral, en la materia de Fundamentos de Investigación por ejemplo se brindan las herramientas básicas para poder realizar investigación documental, y en las materias de Taller de Investigación I y Taller de Investigación II se brindan las herramientas para poder realizar investigación aplicada y desarrollar proyectos que le permitan a los estudiantes poder acceder a la titulación integral y además contar con una formación en investigación que le permita acceder a programas de posgrado de calidad.

***Palabras clave**: Investigación documental, Investigación aplicada, plagio y titulación integral.*

ISSN: 2007 8102

Abstract

The National Technological Institute of Mexico (TecNM), is made up of 254 institutions: 126 are Federal Technological Institutes, 128 Decentralized Technological Institutes, four Regional Centers for Optimization and Equipment Development (CRODE), an Interdisciplinary Center for Research and Teaching in Technical Education (CIIDET) and a National Center for Research and Technological Development (CENIDET). The objective of this article is to describe research training in TecNM students since this is gradual, first the foundations are laid to do documentary research, generating in students the discipline of always citing the sources of information from which they are based. , thus avoiding plagiarism, the next step would be the writing of research reports, to raise awareness among students and teachers of the importance of the path towards a comprehensive degree.

Regardless of the career studied at TecNM, throughout their training they have a series of subjects that support the comprehensive degree, in the subject of Research Fundamentals, for example, the basic tools are provided to be able to carry out documentary research, and In the subjects of Research Workshop I and Research Workshop II, the tools are provided to carry out applied research and develop projects that allow students to access the comprehensive degree and also have research training that allows them to access quality graduate programs.

***Key words**: Documentary research, applied research, plagiarism and comprehensive degree.*

Introducción

Al hablar de realizar una investigación como alumno en formación, no se tiene la claridad de lo que se quiere, de lo que les gusta de la carrera que están cursando y de aquello que quisieran transformar a través de su intervención con un proyecto de investigación. Es por eso importante respetar el semestre adecuado en que se le autoriza a los alumnos llevar los talleres de investigación, para que tengan una idea mas amplia de lo que se trata la carrera y de las herramientas con las que contará durante su formación para resolver problemas o realizar mejoras.

Por eso se recomienda que cuando se hace investigación se lea para generar nuevas ideas y mejorar el estilo de escritura, es importante conocer que se ha escrito en torno al tema que se desea abordar y así poder ampliar perspectivas y colocar el trabajo dentro de un contexto. [1]

El conocer el estado de arte, es decir todo aquello que se ha escrito con relación al objeto de estudio, abrirá un panorama, además fortalece y legitima todo lo que se pueda decir del objeto de estudio.

Y ya una vez que se tenga claridad y argumentos, se realiza la investigación, se presentan y comunican los resultados obtenidos mediante la redacción de un documento escrito.

Para poder redactar ese documento es necesario conocer las formas en que pueden relacionarse las palabras para integrar los párrafos de una composición y sus cualidades para poder trasmitir ideas y sentimientos de manera precisa, ya que el párrafo es una unidad de pensamiento y de sentimiento. [2]

Los reportes son redactados a partir de los resultados que se obtienen y de los argumentos, en éste se expresan a lo que se llega en cualquier proyecto de investigación.

En un escrito es importante considerara las reglas de ortografía y la semántica y considerar el estilo propio que tiene cada autor al redactar un informe.

 ISSN: 2007 8102

El estilo es la elegancia que se tiene en el uso del lenguaje, se va adquiriendo a través del estudio de aquellas disciplinas que tienen relación con el uso del lenguaje y la práctica de la redacción. [3]

En la redacción de los informes es importante el uso de los signos de puntuación y para Metz [4] los hay aquellos que indican pausa como la coma, el punto y coma, el punto y los dos puntos; los que indican entonación, como los puntos suspensivos, los signos de interrogación y admiración y los que indican distribución, como el guion menor, guion mayor, paréntesis y comillas.

Para redactar se construyen frases y oraciones afirmativas o negativas, que permiten plasmar ideas que se desean transmitir.

Para un proyecto de investigación la redacción es un aspecto importante, pero lo más relevante de concebir una idea de investigación y darle seguimiento, es la relación que debe tener con las herramientas que se van desarrollando durante la formación profesional, se debe tener el cuidado de retomar el proyecto que se trabaja en la materia de Taller de Investigación I y darle seguimiento en la materia de Taller de Investigación II, ya que en ocasiones los proyectos que se desarrollan en la materia de Taller de Investigación I no tienen relación con su perfil profesional y los alumnos por comodidad lo realizan y comienzan a buscar el proyecto para la siguiente materia y no se realiza con las bases tan solidas como se da si se hace siguiendo las directrices de ambas materias.

Existen diferentes modelos que dan las directrices para redactar los proyectos de investigación y es importante apegarse a uno de ellos, en este artículo explicaremos algunos aspectos del modelo APA (American Psychological Association), pero existen varios que se pueden seguir.

El desarrollo del proyecto

Es importante darle formato al trabajo y de acuerdo a las directrices de la referencia APA sugiere que se maneje el tamaño de papel que sea carta, los márgenes de 2.54 cm de cada lado, y permite los tipos de letra Calibri 11 puntos, Arial de 11, Lucida Sans Unicode de 10, Times New Roman de 12, Georgia de 11 y Computer Modern de 10, la numeración de la página debe estar ubicada en la esquina superior derecha y el interlineado doble con sangría de 1.27 cm. [5]

Cuando se redacta un documento se tiene que evitar el plagio, considerando plagio cuando los investigadores no dan crédito a las ideas de otras personas, sea deliberado o no el plagio viola los estándares éticos en la escritura y, puede hasta tener consecuencias jurídicas. [6]

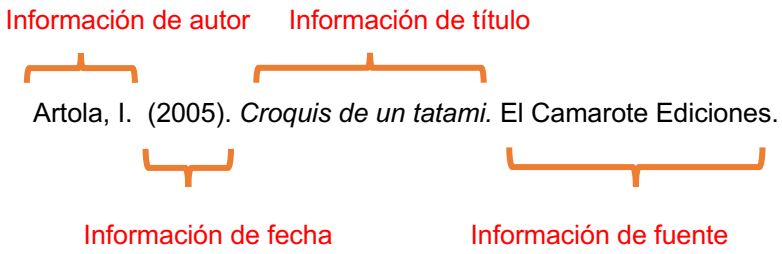
Para evitar el plagio es importante siempre citar ya sea de manera textual o parafraseado, hay que darle crédito siempre a la fuente de información. [7]

Hoy en día los avances en inteligencia artificial han contribuido a que los estudiantes utilicen estas herramientas que van reescribiendo textos, cambiando palabras y reordenando párrafos. ¡Eso es plagio!, pero también se puede encontrar software para el control de plagio. [8]

Es importante evitar apropiarse de las ideas de otras personas y escribirlas como propias, porque se cae en plagio, siempre hay que tener las fuentes de información de donde se obtuvieron los datos, y aunque se haya hecho un parafraseo la idea principal es de otra persona que se le debe de dar crédito, y después de poner la idea de la fuente original, es importante hacer su propia construcción del conocimiento.

Los elementos básicos de una referencia son: el autor, la fecha de publicación, el título del trabajo y la fuente para recuperación. [9]

 ISSN: 2007 8102



Si se tienen referencias con información incompleta se debe de considerar lo siguiente [10]:

- Si falta el autor sustituir el título por autor
- Si falta fecha se puede sustituir por s.f. (sin fecha)
- Si falta el título describir el documento entre corchetes
- Si falta autor y fecha, sustituir el título por autor y utilizar s.f.
- Si falta autor y título, utilizar la descripción del documento entre corchetes en el lugar de autor.

Para poder realizar la investigación se cuenta con dos fuentes de información, las primarias y las secundarias, las primarias son aquellas que se obtienen de manera directa de la fuente de información y pueden obtenerse mediante entrevistas, encuestas, observación o revisión de registros, son fuentes de primera mano, y las secundarias son todas aquellas que son escritas por alguien y que se presentan mediante fuentes de información impresas o electrónicas.

Las fuentes de información secundaria pueden ser libros, revistas, artículos de periódico, tesis, páginas web, leyes o documentos legales, informes o reportes, archivos, PDF, diccionarios, seminarios, congresos, simposios o conferencias, canción, película o serie de TC, aplicación móvil, podcast, vídeo de YouTube, Twitter, Facebook, Instagram, Wikipedia, Power Point, Biblia y otras obras religiosas. Para las referencias estilo APA la estructura de la cita es ¿Quién? Y ¿Cuándo?, Auto-Fecha y para la referencia es ¿Quién?, ¿Cuándo?, ¿Qué? Y ¿Dónde?. [11]

A lo largo de la formación profesional siempre se pedirán trabajos escritos, hay que documentarla adecuadamente haciendo referencia a las fuentes de consulta, y dando el punto de vista personal, no se trata solo de cortar y pegar. Y cuando en el trabajo se trata de resolver algún problema, mejorar algo o aprovechar alguna área de oportunidad se realiza investigación aplicada, ya que su finalidad es darse solución a problemas.

La Investigación Aplicada

Para realizar investigación aplicada se debe relación el perfil de egreso de los programas que ofrece el TecNM, es importante que se identifiquen las problemáticas que se pueden solucionar y se relacionen con alguno o algunos puntos del perfil de egreso de acuerdo a la carrera que se cursa.

Un proyecto de investigación aplicada tiene como finalidad solucionar un problema industrial, tecnológico, económico o social, por lo que sus resultados se traducen en soluciones a manera de productos tecnológicos tangibles o intangibles, que pueden ser conocimientos, aparatos, instrumentos, normas, manuales, patentes, sistemas de información, diseños industriales, planos, procesos, entre otros, y éstos resultados tendrán como principal objetivo la solución de problemas del sector productivo de bienes y servicios, para mejorar sus procesos. [12]

ISSN: 2007 8102

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) según Zapatero [13] se refiere a la investigación aplicada como aquella que puede brindar soluciones científicas y/o tecnológicas a las problemáticas de los sectores.

Al observar a la realidad se encuentran oportunidades para realizar proyectos de investigación de acuerdo con intereses propios, y considerando las herramientas que se cuentan para poder realizarlo.

Los problemas que se pueden encontrar son de dos tipos: aquellos que implican la destrucción, eliminación o moderación de algo que está presente pero indeseado, y aquellos que implican la adquisición o el logro de algo ausente pero que se desea. [14]

Hay que observar la realidad y decidir si se elimina lo no deseado o bien se realiza algo que se desea, considerándolo como un área de oportunidad.

En la resolución proactiva de los problemas se especifica a dónde se quiere llegar y se trata de lograrlo, el proceso de planeación va implícito, no se aborda de manera aislada, sino que todo esta relacionado, y en la planeación se trata de diseñar un futuro deseable y ver la forma de avanzar del modo mas efectivo. [15]

Al principio las ideas de investigación son vagas, se requiere estar familiarizado con el campo de conocimiento en donde se ubica la idea para que poco a poco se hagan planteamientos más precisos. [16]

Las ideas de investigación que surjan deben de ser novedosas, que al investigador realmente le apasione y que solucione alguna problemática.

Para formular un proyecto de investigación es necesario reducir en su más mínima expresión de síntesis el desarrollo del trabajo de investigación, entendiendo la estructura interna del problema que se identificó, y lo primero que se debe hacer es encuadrar el problema en un contexto teórico y determinar el área de conocimiento involucrada en el problema. [17]

Una vez identificado el problema, que ya se haya tomado la decisión de modificar algo indeseable o generar una nueva forma de hacer las cosas, que se tenga claridad en la formulación del problema considerando el contexto teórico y el área o áreas de conocimiento involucradas en el mismo se debe de dar forma al proyecto de investigación.

Se entenderá por proyecto al conjunto de elementos o partes interrelacionadas de una estructura diseñada para lograr los objetivos específicos o resultados esperados de acuerdo con las necesidades encontradas, presentando alternativas de solución al problema planteado, son varios pasos, que se conocen como modelo de investigación científica presentando una elaboración tentativa del proyecto. Un proyecto es arrojar algo hacia adelante, es la disposición de hacer algo y considerar todos los elementos que deben concurrir para su logro, es decir las tareas y actividades. [18]

Los proyectos de investigación se inician con ideas que deben ayudar a resolver problemas, aportar conocimientos y/o generar interrogantes, pueden ser novedosas, alentadoras emocionantes o inspiradoras, que acercan a la realidad de manera objetiva o subjetiva, y se tiene diversas fuentes de información como son las experiencias, los materiales escritos y audiovisuales, las teorías, las conversaciones y el internet. [19]

 ISSN: 2007 8102

Relacionando la idea de investigación con las herramientas profesionales

Una vez enmarcado el proyecto de investigación en alguna de las áreas de conocimiento con la cual se va a resolver, se relaciona con la carrera profesional que se cursa, para que se pueda revisar el perfil de egreso y determinar que herramientas se van a aplicar en la solución.

El Tecnológico Nacional de México está constituido por 254 instituciones, de las cuales 126 son Institutos Tecnológicos Federales, 122 Institutos tecnológicos Descentralizados, cuatro Centros Regionales de Optimización y Desarrollo de Equipo (CRODE), un Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica (CIIDET) y un Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET). [20]

Cuenta con la siguiente oferta educativa a nivel Licenciatura [21]:

- Arquitectura – ARQU-2010-204
- Contador Público – COPU-2010-205
- Gastronomía – GAST-2010-215
- Gestión Empresarial – IGEM-2009-201
- Industrias Alimentarias – IIAL-2010-219
- Ingeniería Ambiental – IAMB-2010-206
- Ingeniería Biomédica – IBIO-2010-235
- Ingeniería Bioquímica – IBQA-2010-207
- Ingeniería Civil – ICIV-2010-208
- Ingeniería Eléctrica – IELE-2010-209
- Ingeniería Electromecánica – IEME-2010-210
- Ingeniería Electrónica – IELC-2010-211
- Ingeniería en Acuicultura – IACU-2010-212
- Ingeniería en Administración – IADM-2010-213
- Ingeniería en Aeronáutica – IARO-2013-239
- Ingeniería en Agronomía – IAGR-2010-214
- Ingeniería en Animación Digital y Efectos Visuales – IAEV-2012-238
- Ingeniería en Biotecnología – IBTA-2014-243
- Ingeniería en Desarrollo Comunitario – IDCO-2010-216
- Ingeniería en Diseño Industrial – IDIN-2014-242
- Ingeniería en Energías Renovables – IENR-2010-217
- Ingeniería en Geociencias – IGEO-2010-218
- Ingeniería en Gestión Empresarial – IGEM-2009-201
- Ingeniería en Industrias Alimentarias – IIAL-2010-219
- Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable – IIAS-2010-221
- Ingeniería en Logística – ILOG-2009-202
- Ingeniería en Materiales – IMAT-2010-222
- Ingeniería en Minería – IMIN-2013-241
- Ingeniería en Nanotecnología – INAN-2009-203
- Ingeniería en Pesquerías – IPES-2010-223
- Ingeniería en Sistemas Automotrices – ISAU-2013-240
- Ingeniería en Sistemas Computacionales – ISIC-2010-224
- Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones – ITIC-2010-225
- Ingeniería Forestal – IFOR-2010-226
- Ingeniería Hidrológica – IHID-2010-236
- Ingeniería Industrial – IIND-2010-227
- Ingeniería Informática IINF-2010-220
- Ingeniería Mecánica – IMEC-2010-228
- Ingeniería Mecatrónica – IMCT-2010-229

 ISSN: 2007 8102

- Ingeniería Naval – INAV-2010-230
- Ingeniería Petrolera – IPET-2010-231
- Ingeniería Química – IQUI-2010-232
- Licenciatura en Administración – LADM-2010-221
- Licenciatura en Biología – LBIO-2010-233
- Licenciatura en Turismo – LTUR-2012-237

Los perfiles de egreso en donde se encuentran las herramientas que brinda la formación académica para solucionar los problemas que ya se identificaron se encuentran en la siguiente dirección electrónica que corresponde a la página del Tecnológico Nacional de México https://www.tecnm.mx/?vista=Licenciaturas y es en este documento en donde se encuentra la información de cada carrera y de los elementos que constituyen el perfil de egreso, entonces se relaciona el proyecto, es importante que se apropie la idea de investigación.

Conclusiones

Este recorrido que se lleva a cabo durante la formación profesional de cualquier estudiante que curse una carrera profesional en el TecNM, brinda los elementos necesarios para poder realizar investigación aplicada, resolviendo problemáticas del entorno o generando situaciones deseadas mediante las herramientas que se van adquiriendo a lo largo de la formación profesional, por eso es de suma importancia que desde la materia de Taller de Investigación I se tenga la claridad del proyecto a realizar, y si se cuenta con las herramientas para darle forma al protocolo de investigación, y ese proyecto retomarlo en la materia de Taller de Investigación II para poder concluir el proyecto y alcanzar el objetivo deseado.
Las razones para una formación en investigación de calidad son diversas, durante su paso por las Instituciones, existen diversos eventos en los que pueden participar cuando tienen la habilidad para solucionar problemáticas mediante proyectos de investigación, el proyecto de verano científico para los estudiantes de semestres avanzados, es una experiencia que los termina de formar en investigación, durante su formación se requiere completar 5 créditos que los pueden adquirir desarrollando artículos científicos, y además para seguir su formación profesional accediendo a posgrados de calidad, son varias las razones por lo que se debe tener conciencia tanto estudiantes como docentes de la importancia de esta cadena de materias, ya que en su conjunto soportan la formación en investigación de los alumnos del TecNM.

Referencias

[1] J. Martínez, *Guía de apuntes básicos para el docente de la materia técnicas de investigación,* Universidad Mesoamericana. 2002.

[2] S. González, *Manual de redacción e investigación documental,* Editorial Trillas, 2002.

[3] S. González, *Manual de redacción e investigación documental,* Editorial Trillas, 2002.

[4] M. L. Metz, *Redacción y estilo: una guía para evitar los errores más frecuentes,* 2da edición, Editorial Trillas, 1993.

[5] C. Sánchez, (2020, 24 de enero). *Formato APA.* Normas APA (7ma edición). [Online] Available: https://normas-apa.org/

ISSN: 2007 8102

[6] C. Sánchez, (2019, 10 de junio), *Plagio y auto-plagio.* Normas APA (7ma edición) [Online] Available: http://normas-apa.org/citas/plagio-y-auto-plagio/

[7] C. Sánchez,. (2019, 10 de junio), *Plagio y auto-plagio.* Normas APA (7ma edición) [Online] Available:http://normas-apa.org/citas/plagio-y-auto-plagio/

[8] C. Sánchez, (2019, 10 de junio), *Plagio y auto-plagio.* Normas APA (7ma edición) [Online] Available:http://normas-apa.org/citas/plagio-y-auto-plagio/

[9] C. Sánchez, (2020, 24 de enero). *Formato APA.* Normas APA (7ma edición). [Online] Available: https://normas-apa.org/

[10] C. Sánchez, (2019, 9 de marzo), *Referencia APA o Citas APA sin información completa,* [Online] Available: https://normas-apa.org/referencias/referencias-o-citas-sin-la-informacion-completa/

[11] C. Sánchez, (2020, 24 de enero). *Formato APA.* Normas APA (7ma edición). [Online] Available: https://normas-apa.org/

[12] J. A. Zapatero Campos, *Fundamentos de Investigación para estudiantes de ingeniería,* Tercer Escalón Editores, 2010.

[13] J. A. Zapatero Campos, *Fundamentos de Investigación para estudiantes de ingeniería,* Tercer Escalón Editores, 2010.

[14] R. Ackoff, *El arte de resolver problemas,* Editorial Limusa, 2002.

[15] R. Ackoff, *El arte de resolver problemas,* Editorial Limusa, 2002.

[16] R. Hernández, C, Fernández, M. Baptista, *Metodología de la investigación,* Quinta edición, McGraw-Hill, 2010

[17] M. Tamayo y Tamayo, *El proceso de la investigación científica,* Cuarta edición, Editorial Limusa, 2004.

[18] M. Tamayo y Tamayo, *El proceso de la investigación científica,* Cuarta edición, Editorial Limusa, 2004.

[19] R. Hernández, C, Fernández, M. Baptista, *Metodología de la investigación,* Quinta edición, McGraw-Hill, 2010

[20] Tecnológico Nacional de México [TecNM], (2023, 22 de febrero), *Breve historia de los Institutos Tecnológicos,* [Online] Available: https://www.tecnm.mx/?vista=Historia

[21] TecNM, (2023, 22 de febrero) *Licenciaturas.* [Online] Available: https://www.tecnm.mx/?vista=Licenciaturas

ISSN: 2007 8102

Estudio de iluminación y ruido en institución de educación superior de la comarca lagunera.

Ruth de la Peña Martinez[1], José Ruiz Ayala [2],Luis Héctor García Muñoz [3], Antonio de Santiago Barragan[4].*
[1]Tecnologico Nacional de México y rdelapenam@lalaguna.tecnm.mx , [2]Instituto Tecnológico Nacional de México y jdruiza@lalaguna.tecnm.mx, [3] Tecnológico Nacional de México y lhgarciam@lalaguna.tecnm.mx, [4]Tecnologico Nacional de México y badesantiagob@lalaguna.tecnm.mx.

***Área de participación**: Ingeniería Educativa.*

Resumen

El estudio de iluminación y ruido determina si se cumple con un criterio de acreditación en la institución educativa y como influyen en el ambiente laboral y escolar teniendo en cuenta el entorno físico, para el desarrollo de las actividades en la institución.
El tipo de investigación es descriptivo, la metodología cualitativa – cuantitativa, las herramientas de recolección de datos se basan en la revisión documental, elaborando los mapeos y los puntos de medición en los entornos, en el aspecto de ruido se resalta la importancia sobre la salud, contando con las legislaciones ambientales de la Secretaria de Trabajo y Previsión Social Mexicanas. Por lo tanto los resultados deben dar cumplimiento y realizar las recomendaciones para la comunidad universitaria, con el fin de mantener dentro de los estándares la calidad de la infraestructura como marcan los organismos acreditadores de ruido e iluminación evitando perturbaciones y daños a la salud.

***Palabras clave**: Iluminación. Ruido, Acreditación, Ambiente laboral.*

Abstract

The lighting and noise study determines compliance with accreditation criteria in the educational institution and their influence on the work and school environment, taking into account the physical surroundings for activity development within the institution.

The research type is descriptive, utilizing a qualitative-quantitative methodology. Data collection tools rely on documentary review, mapping, and measurement points in the environments. The study emphasizes the importance of noise on health, incorporating Mexican environmental legislations by the Secretariat of Labor and Social Welfare. Consequently, the results should comply with the regulations and provide recommendations for the university community to maintain infrastructure quality within the standards set by noise and lighting accrediting bodies, preventing disturbances and health hazards.

***Key words**: Lightning, Noise, Acreditation, Work Environment.*

Introducción.

En México las Instituciones de Educación Superior ofrecen a los mexicanos distintas opciones de formación de acuerdo a sus intereses y objetivos profesionales. Por tal motivo en el país existen diferentes opciones de instituciones de nivel superior como son públicas y privadas. Según la OCDE las estadísticas son las siguientes:

 ISSN: 2007 8102

Periodo 2000 el 28.4%, 2005 32.1%, 2010 el 35.8%, 2015 el 40.3% y 2020 45.5% del total de la población de edades universitarias están en Instituciones de Educación Superior. **[1]**.

Por ello**,** se debe dar un servicio de calidad el cual es primordial para el desempeño de las actividades dentro de las instituciones, esto implica dos aspectos importantes en esta investigación: la seguridad en el desarrollo de las actividades y el fomento de un entorno propicio para la creatividad y la motivación de los involucrados. Nos compete en dos vertientes en esta investigación la primera es la seguridad en el desarrollo de las actividades y la segunda vertiente el desarrollo del medio ambiente donde se realiza la creatividad y motivación de los involucrados.
La Institución de Educación Superior denominada Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de la Laguna, tiene una historia de 57 años, enfocada a las enseñanzas de ingenierías, que ocupa una superficie de 178,816 metros cuadrados, con 43 edificios, extensos patios con luminosidad natural, canchas deportivas, alberca.

El estudio analiza los riesgos producidos por el ruido y la iluminación a los que encuentran expuesto el personal y estudiantes que realizan actividades dentro de la institución, en los edificios asignados a la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales , específicamente el edificio 19 con una población de 600 alumnos. Y Laboratorio de Cómputo edificio 28 con una población diaria de 1,150 alumnos más 46 docentes. Que se distribuyen de la siguiente manera: en el edificio 19 en la planta de abajo son 9 aulas con capacidad de 30 estudiantes, en planta alta 4 aulas, tres aulas activas.
En el Laboratorio de Cómputo edificio 28 donde se da servicio a toda la comunidad de 5000 alumnos universitarios, se distribuye diariamente 1428 estudiantes con 46 clases diarias con 30 alumnos, un área común con capacidad de 28 alumnos y taller de CISCO con capacidad para 20 alumnos.

El ruido y la iluminación son factores primordiales en organismos de acreditación, influyen en el desarrollo integral de los alumnos y alumnas, así como en el grado de cumplimiento de la calidad en las instituciones de educación superior. Si estos factores no están regulados de acuerdo con las normas oficiales, pueden afectar negativamente el bienestar de los docentes, alumnos y personal administrativo, causando trastornos en la salud tanto fisiológicos como psicológicos. Los efectos negativos del ruido y la iluminación inadecuada pueden incluir la pérdida de la visión, problemas en la capacidad auditiva, alteraciones en la actividad cerebral, respiratoria y cardiaca. Estos problemas pueden afectar la atención, la concentración mental, el sueño, el descanso y la comunicación. Además, pueden provocar irritabilidad y agresividad en las personas expuestas a condiciones desfavorables de ruido e iluminación.

Revisión de la Literatura

Ruido. A saber, la unidad para medir el ruido es el decibel (dB), y de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), establece que un entorno adecuado para la educación, no debe superar los 65 dB. Por ejemplo, para un espacio educativo o cultural, un máximo de 40 dB es un ambiente relajado, para una sala de lectura recomienda 35 dB. El ruido afecta sustancialmente la lectura, la concentración, la atención y la memoria, como consecuencia, incide directamente en el rendimiento escolar. El problema se puede volver tan serio, para escuelas cercanas a fuentes de ruido que excedan las recomendaciones anteriores, industrias, aeropuertos, y vialidades con mucho tráfico. En estos casos se pueden observar como aprendizaje tardío para leer, estados agresivos, cansancio, ansiedad y hasta casos de aislamiento. En aulas expuestas al ruido, hay riesgo para los profesores, si deben de aumentar su tono de voz a 70 dB por ejemplo, pone en riesgo el funcionamiento normal de las cuerdas bucales, que a la larga pueden ocasionarle afonía (pérdida de la voz) o disfonía (pérdida del timbre normal de la voz), además de cansancio mental, irritabilidad, pérdida de atención y concentración [2].

Iluminación. Una iluminación inadecuada, además de no permitirnos realizar nuestras actividades eficientemente, puede afectar nuestra visión, y nuestro estado de ánimo. Se debe pensar entonces en el riesgo al que exponemos a los trabajadores y estudiantes, a una iluminación deficiente; el desempeño, y lo más serio, dañar sus capacidades visuales de manera gradual y permanente a largo plazo [3].
Desde 2008 se reguló por ley en la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, la Iluminación en Centros de Trabajo, la cual establece las condiciones para proporcionar un espacio seguro y saludable para trabajar, con la

iluminación apropiada para llevar a cabo las actividades correspondientes, en espacios laborales, oficinas y espacios educativos [4].

Desde la óptica de acreditación de programas educativos, el Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, A.C., en su Criterio 5 Infraestructura y Equipamiento, indicador 5.1 Aulas, laboratorios, cubículos y oficinas de apoyo, puntualiza que los espacios mencionados deben de contar con una iluminación adecuada, entre otros aspectos como espacio suficiente y ergonómico [5].

La empresa Simón Electric (2021), establece para cada lugar y de acuerdo a la actividad que se realice, un nivel de iluminación adecuado. Como se sabe, la cantidad de iluminación se puede medir con un luxómetro, y las unidades son el lux (lx), por ejemplo, la iluminación para un escritorio o área de lectura es de 500 lx, en términos generales para un centro educativo es de 300 a 1,000 lx.

En 2021 se realizó un experimento muy significativo, sobre iluminación dinámica, midiendo por un lado las principales variables fotométricas (temperatura de color e iluminancia), y por el otro, la atención continua y selectiva de estudiantes, utilizando una cámara Gesell, unos audífonos Emotiv Epoc EEG de 14 canales que miden la actividad del cerebro, y unos lentes de seguimiento ocular. Determinaron que la atención selectiva y continua se incrementa de manera sustancialmente importante con la iluminación dinámica [6].

Cabe mencionar que la iluminación dinámica es aquella que cambia su luminosidad, color o ángulo, por períodos de tiempo determinados, para proporcionar una experiencia específica adaptada a las personas, de tal forma que además de personalizar la experiencia de las personas, se pueden tener ahorros de energía y consecuentemente económicos [7].

Cuando se diseña un espacio educacional, es imperioso considerar el rol de la luz en la estimulación visual de las mentes en desarrollo. Una investigación del Heschong Mahone Group en 1999, determinó que estudiantes en áreas con mayor cantidad de luz solar, obtuvieron calificaciones un 26% mayores que quienes recibían solo luz artificial. Demostraron que la luz natural regula el ciclo biológico o circadiano de las personas, y el nivel de cortisol, que aumenta el rendimiento intelectual [8].

Metodología.

Se llevo a cabo un análisis de la bibliografía existente sobre iluminación y ruido, en conjunto realizando observaciones de campo, considerándola de forma cualitativa en la recopilación de información de lecturas relacionadas y de forma cuantitativa ya que se realizaron diversas tablas para la interpretación de los diferentes datos como son la medición de luxes, turno, características del área de trabajo. Para la elaboración de esta investigación se realizó en diferentes etapas:

1. Se realizo una revisión bibliográfica sobre el sector de iluminación a nivel internacional, nacional y en la Comarca Lagunera según normas establecidas por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.
2. A partir de la revisión bibliográfica, se estableció el contexto nacional y local en el periodo.
3. Se efectuaron las evaluaciones en el puesto de trabajo en su caso específico en las computadoras, mesas de trabajo, pupitres y escritorios.
4. Realizaron las comparaciones de los niveles de iluminación obtenidos con los niveles recomendados según el tipo de actividad que se realice con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana.
5. Determinaron los porcentajes de reflexión en los planos de trabajo que afecten las condiciones de iluminación según lo establecido por la Norma Oficial NOM-025-STPS-2008.
6. Establecieron puntos de riesgo o fuera de norma, en lo referente a los niveles de ruido apropiados, establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001.
7. Elaboraron una recomendación detallada, para mejorar las condiciones de iluminación y ruido de aulas y laboratorios de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales.

El estudio de iluminación y ruido se efectuó por una compañía especializada llamado Microanálisis Zona Norte, acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) y aprobado por la Secretaria de Trabajo y Prevención Social (STPS).

ISSN: 2007 8102

Con respecto a la iluminación, la selección de cada una de las mediciones en los salones de clase se tomó conforme a la ubicación del pizarrón y pupitres, porque cada salón cuenta con un arreglo diferente. Lo que se busca es obtener información sobre si los salones están iluminados adecuadamente. Se realizaron mediciones considerando cada plano de trabajo en oficinas, colocando el luxómetro tan cerca como sea posible del plano de trabajo y tomando precauciones para no proyectar sombras ni reflejar luz adicional sobre el luxómetro. Las mediciones se realizaron con un luxómetro, que es un instrumento para la medición del nivel de iluminación. Se utiliza el Extech Instruments Light Meter. Para establecer si los niveles de iluminación están dentro de las normas establecidas, fue necesario revisar la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008 condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Se toma el nivel mínimo de iluminación para aulas y oficinas que corresponde a 300 luxes y para pasillo con un nivel de 50 luxes.

Y para realizar el estudio de ruido en los niveles en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-STPS-1999, se realizó un recorrido que, en las áreas de trabajo, no se identificaron niveles sonoros que superen los indicados, no deben de superar los 70 decibeles, ya que el oído humano tolera y asimila sin dañar de manera temporal o permanente. Los límites máximos permisibles de exposición al ruido se muestran en la siguiente Tabla 1.

NER	TMPE
90 db(A)	8 horas.
93 db(A)	4 horas.
96 db(A)	2 horas.
99 db(A)	1 hora.
102 db(A)	30 minutos.
105 db(A)	15 minutos

Tabla 1. Niveles Permisibles de Ruido.

Cuando el nivel de exposición al ruido (NER) este entre 90 y 105 db(A), el tiempo máximo se debe de calcular con la siguiente ecuación:

$$MPE = \frac{8}{2(\frac{NER - 90}{3})}$$

La investigación se basa en los estándares de calidad ambiental para ruido, que no se deben exceder para proteger la salud humana tomando en cuenta las zonas de aplicación y horarios.

La medición se realiza en nivel sonoro continuo equivalente (LAeqT) es un indicador que permite describir la contaminación acústica en una localización. Muestra el nivel de ruido acumulado a lo largo de un período T, y estandarizado con respecto a dicho intervalo.

El intervalo de tiempo a medir será entre 5 a 10 minutos, periodo en el cual las actividades operativas deben estar presentes en forma habitual.

 ISSN: 2007 8102

La instalación del sonómetro según el protocolo nacional de monitoreo, colocando el sonómetro en un trípode a 150 centímetros sobre el suelo del medio ambiente, antes y después de cada medición se realiza la calibración. Fotografía 1.



Fotografía. 1 Ubicación de Puntos de Estudio de Ruido.

En los dos estudios de iluminación y ruido se realizaron en un periodo del horario comprendido desde las 7:00 horas hasta las 21:00 horas. Turnos de monitoreo: Mañana de 8:30 a 11:00 y noche de 19:00 a 21:30 horas.

Materiales:

Material de Campo:

Libreta de campo: Anotaciones escritas e ilustradas, donde se lleva a cabo la recopilación de cada área de trabajo.

Lápiz: Barra de grafito de un cilindro delgado de madera, que se utiliza para escribir o dibujar.

Equipos:

Luxómetros es el que mide la luz teniendo en cuenta las condiciones previas, definiendo la distancia y el angulo entre el luxómetro y el objeto a medir. marca: EXTECH Modelo: EASY VIEW 30, No. de serie 070100338, con corrección cosenoidal de +/- 5% de respuesta espectral fotópica y +/-5% de exactitud. Se debe verificar el luxómetro antes y después de iniciar una evaluación conforme lo establezca el fabricante y evitar bloquear la iluminación durante la realización de la evaluación. Tiene el certificado de calibración de acuerdo a lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Sonómetro: Equipo o herramienta electrónica que mide el nivel de ruido en un área determinada, cumpliendo con las disposiciones establecidas en la normatividad vigente en la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos.

Computadora: Realizar en hoja de cálculo, las mediciones pertinentes en cada uno de las actividades y realizar resultados en procesador de texto, con herramientas de software edición de imágenes y fotografía.

Cámaras Fotográfica. Captura de evidencias para el resguardo de la investigación.

 ISSN: 2007 8102

Flexómetro: Instrumento de medición formado por una delgada cinta metálica flexible y auto enrollable en una carcasa, que puede ser tanto metálica como de plástico, y equipada con un sistema de freno o bloqueo de la cinta para ayudar a mantener fija una medición. Esta se utiliza para determinar los espacios de medición del área de trabajo.

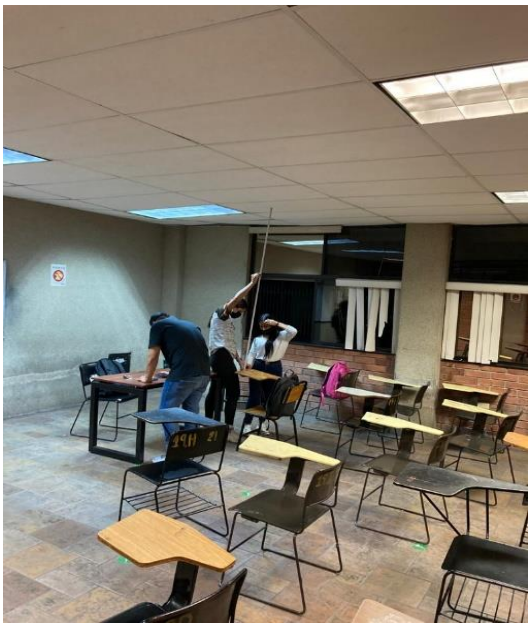
Trípode: Armazón de tres pies, generalmente articulados y plegables, que sirve para sostener ciertos instrumentos o aparatos.

Material de Gabinete:

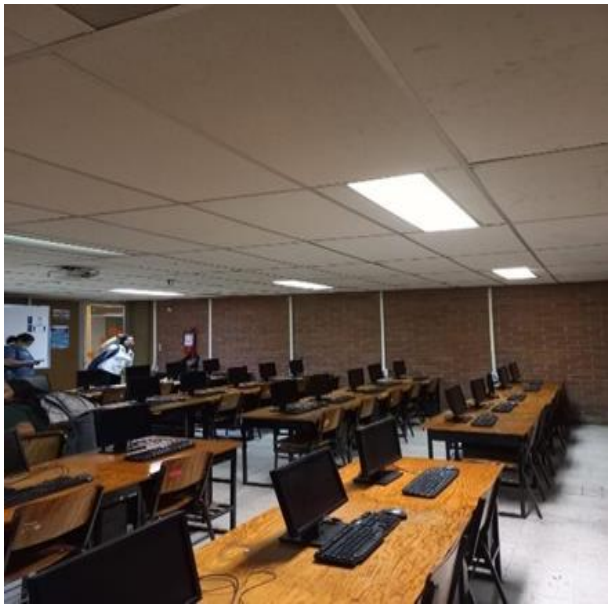
Información Recopilada. Recolección de datos para permitir llegar a los objetivos de la investigación. Como son los registros, observaciones directas y presentación de informes.

Material de Escritorio: Herramientas con la que los investigadores desempeñan las funciones de manera optima en el tiempo indicado.

Las Fotografía 2 y 3 muestra el personal capacitado y dimensión de alguna aula seleccionada aleatoriamente .



Fotografía. 2. Materiales.



Fotografía. 3 Evidencia de Aulas.

Resultados y discusión

En el estudio de iluminación se determina la selección de los puntos obteniendo 18 puntos de medición en el edificio 19 y 10 puntos de medición en edificio 28. Las medidas van a variar según las dimensiones del área de trabajo realizándolo como se muestra en la Tabla 1. Las áreas de trabajo se deben dividir en zonas del mismo tamaño, de acuerdo a lo establecido en la columna A (número mínimo de zonas a evaluar) y realizar la medición en el lugar donde haya mayor concentración de trabajadores o en el centro geométrico de cada una de estas zonas; en caso de que los puntos de medición coincidan con los puntos focales de las luminarias, se debe considerar el número de zonas de evaluación de acuerdo a lo establecido en la columna B (número mínimo de zonas a considerar por la limitación) según la Tabla 2 En caso de coincidir nuevamente el centro geométrico de cada

 ISSN: 2007 8102

zona de evaluación con la ubicación del punto focal de la luminaria, se debe mantener el número de zonas previamente definido.

El valor del índice de área, para establecer el número de zonas a evaluar es con la siguiente ecuación:

$$IC = \frac{(X)(Y)}{h(X+Y)}$$

Índice de Área	Número Mínimo De Zonas A Evaluar	Número De Zonas A Considerar Por La Limitación
IC < 1	4	6
1 < IC < 2	9	12
2 < IC < 3	16	20
3 < IC	25	30

Tabla 2. Relación entre el Índice de Área y el número de zonas de Medición.

Donde:
IC = índice del área.
X, Y = dimensiones del área (largo y ancho), en metros.
h = altura de la iluminaria respecto al plano de trabajo, en metros.

En donde x es el valor de índice de área (IC) del lugar, redondeado al entero superior, excepto que para valores iguales o mayores a 3 el valor de x es 4. A partir de la ecuación se obtiene el número mínimo de puntos de medición. Plano 1.

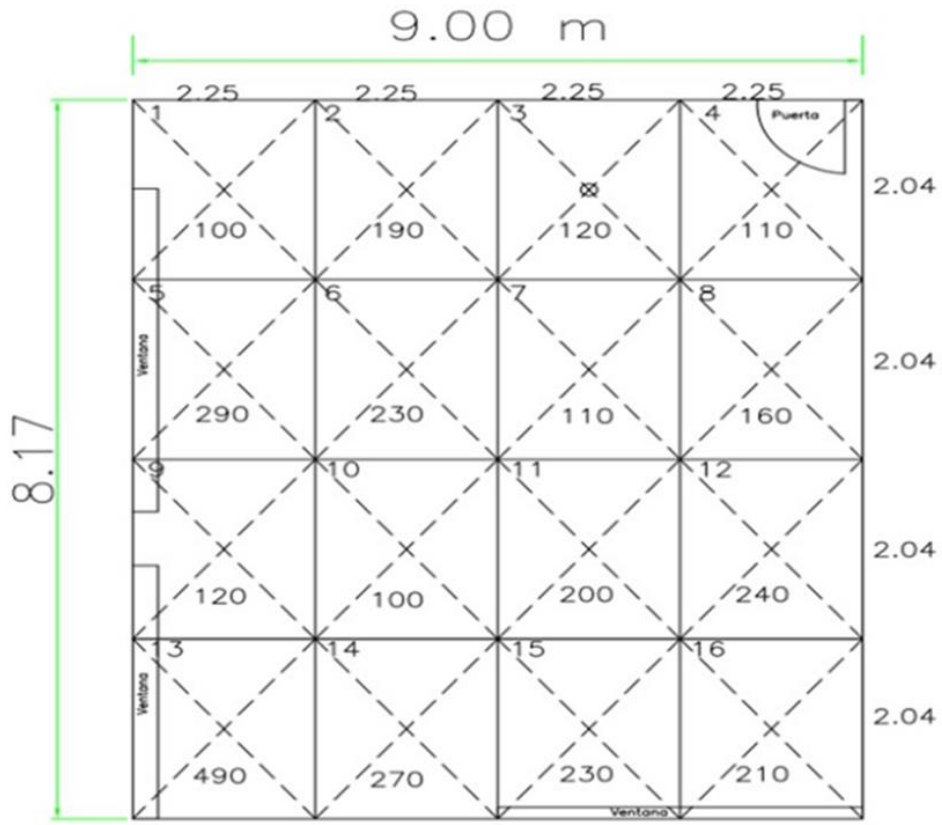
En pasillos o escaleras, el plano de trabajo por evaluar debe ser un plano horizontal a 75 cm ± 10 cm, sobre el nivel del piso, realizando mediciones en los puntos medios entre luminarias contiguas.

En el puesto de trabajo se debe realizar al menos una medición en cada plano de trabajo, colocando el luxómetro tan cerca como sea posible del plano de trabajo y tomando precauciones para no proyectar sombras ni reflejar luz adicional sobre el luxómetro.

h=1.65

$$IC = \frac{8.17 * 9.00}{1.68(8.17 + 9.00)} = \frac{73.53}{1.68(17.17)} = \frac{73.53}{28.845} = IC = 2.5$$

 ISSN: 2007 8102



Plano 1. Área de Trabajo.

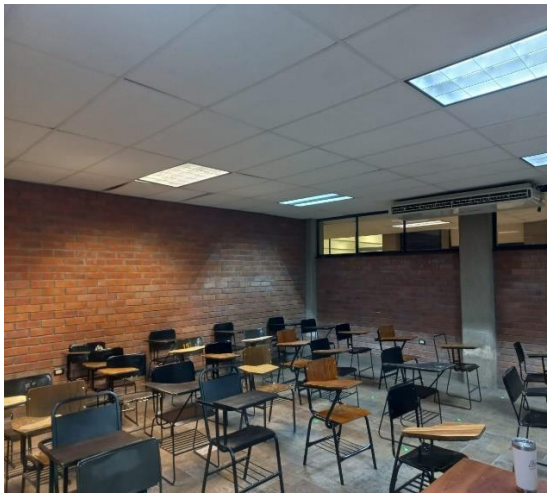
Una vez establecidas las áreas a evaluar, se procede a la evaluación de nivel de iluminación promedio, con la siguiente formula:

$$Ep = \frac{1}{N}(\sum Ei)$$

Donde:
Ep = Nivel de promedio en luces.
Ei = Nivel de iluminación en el centro de cada punto en luces.
N = Número de puntos evaluados.

Método de evaluación en plano de trabajo: Aplicado a tareas específicas en especial que requieren niveles mayores de iluminación por la dificultad del tamaño, contraste tiempo y tarea. Fotografía 4.

 ISSN: 2007 8102

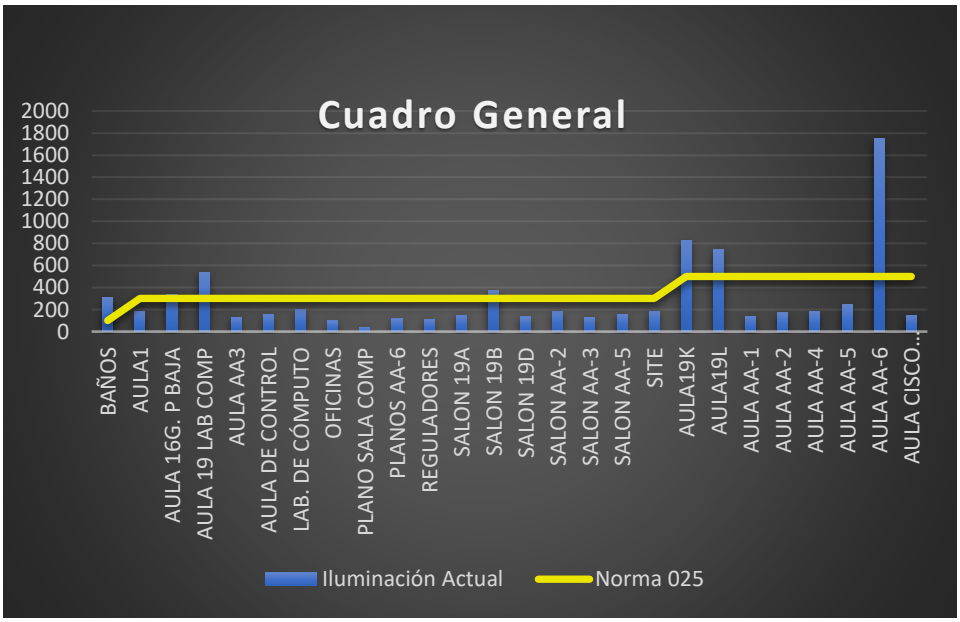


Fotografía. 4. Alguna Área de Trabajo.

Primeros Resultados.

Según la Norma 025 existen ambientes que deben estar muy iluminados con 500 luxes, se les denomina Zona A; otras zonas deben estar iluminadas con 300 luxes, llamadas Zona B y hay algo más que debe tener 100 luxes, identificado como Zona C.

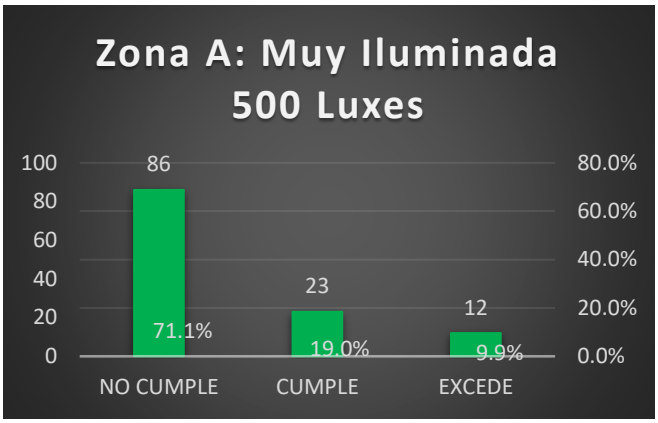
Este gráfico muestra una visión general de todo el estudio, comparado con los límites de la Norma 025, pintados como una línea amarilla. Las barras azules que están debajo de la línea amarilla son los ambientes que no cumplen con la norma. Gráfica 1.



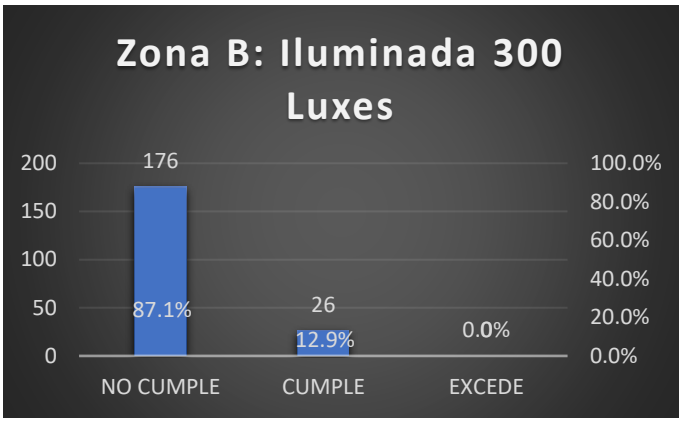
Gráfica 1. Resultados Generales.

 ISSN: 2007 8102

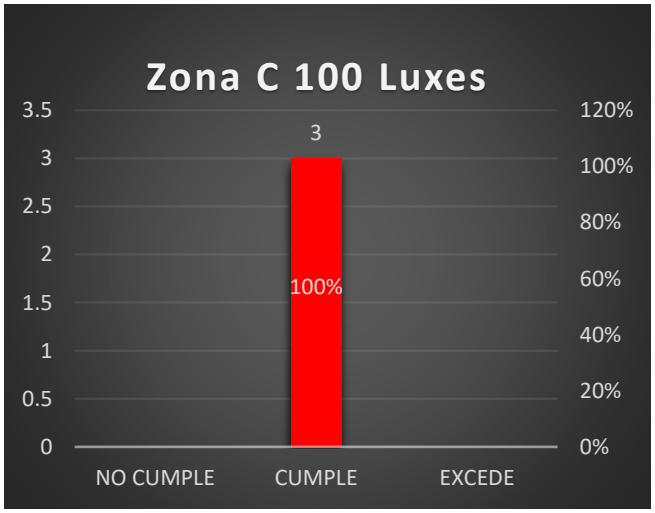
Estos gráficos muestran la cantidad de ambientes de la Zona A que cumplen y no cumplen con la norma mencionada, así como su medida en porcentajes. Por consecuencia se refleja que mas del 70% de las instalaciones en la zona A no cumplen con la Norma Oficial de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social. Gráfico 2, la Zona B que cumple y no cumple con la Norma 025 con iluminación de 300 luxes, el cual el 87.1% no cumple y el 12.9% cumple que es el Gráfico 3 contrarresta la Gráfica 4 que es la Zona C cumple al 100% .



Gráfica 2. Zona A.



Gráfica 3. Zona B.

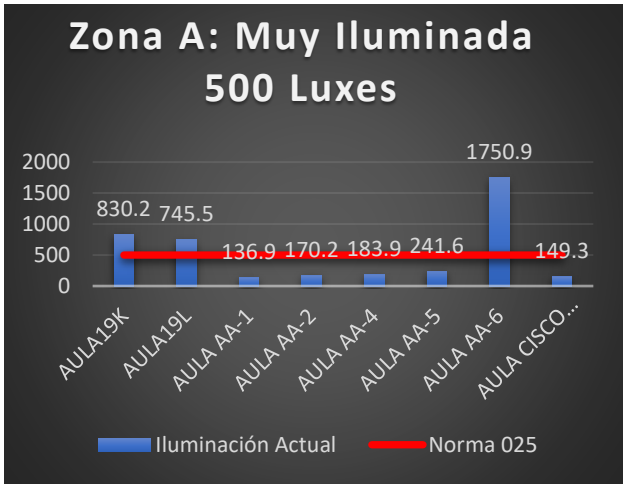


Gráfica 4. Zona C.

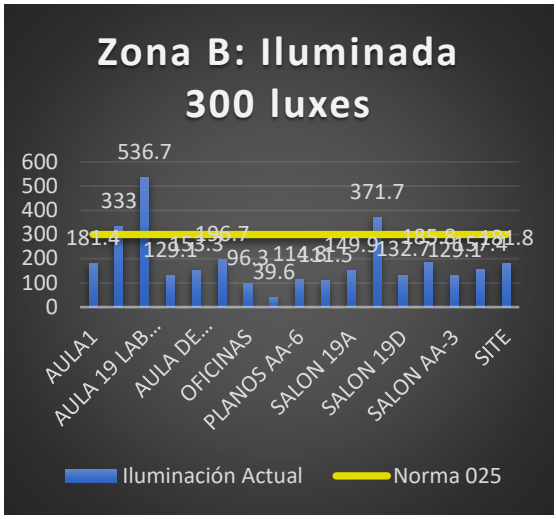
Segundos resultados

De acuerdo con lo mostrado en el estudio se desglosan a continuación las tres zonas A, B y C que se muestran en las Gráficas 5, 6 y 7.

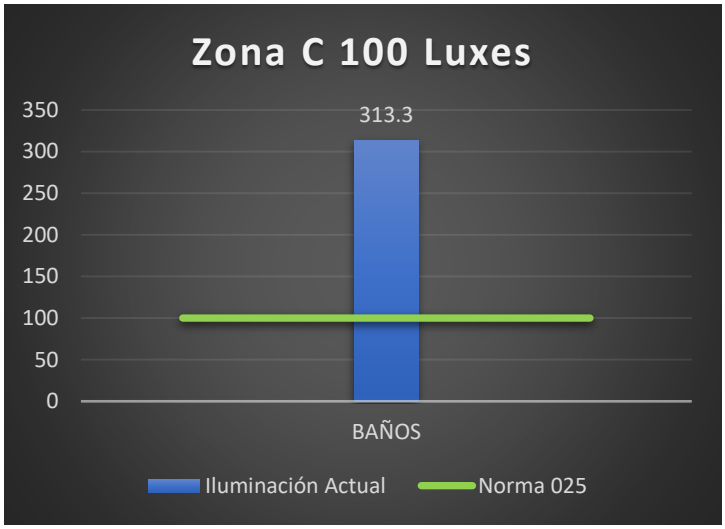
ISSN: 2007 8102



Grafica 5. Zona A.500 Luxes.



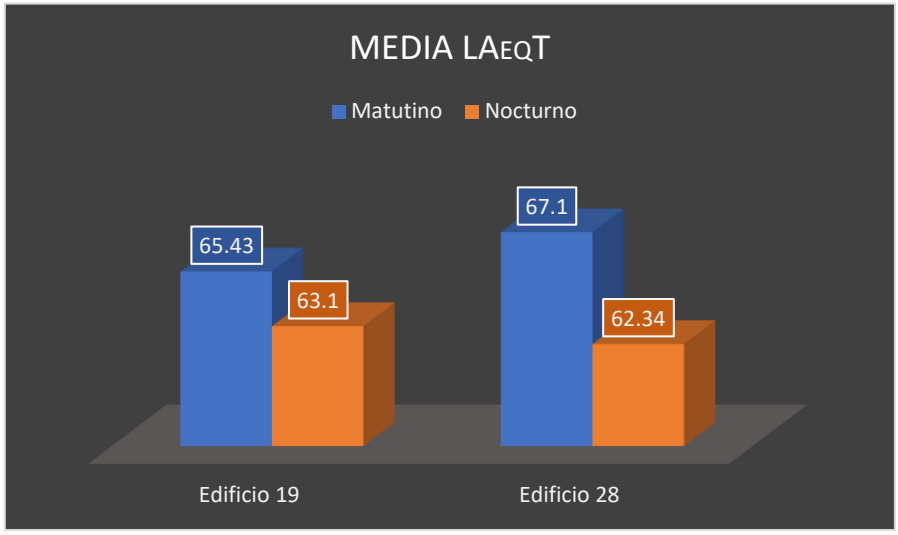
Grafica 6 Zona B. 300 Luxes.



Grafica 7. Zona C. 100 Luxes.

Partiendo de que la preservación de la salud es un derecho universal de cualquier persona considerando que el ruido puede generar situaciones adversas a la salud, cuyo efecto más conocido y preocupante de la exposición al ruido es la pérdida de la capacidad auditiva. Este efecto depende fundamentalmente del nivel de presión acústica y del tiempo de exposición. Se debe recordar que la hipoacusia producida por exposición al ruido, puede ser de dos tipos: de conducción y de percepción o neurológica. La pérdida conductiva se puede deber a la rotura del tímpano o a una dislocación de los huesos del oído medio.
En las tomas y recorridos no se identificaron niveles sonoros que superen los indicados en la Norma 011-STPS-2001. Grafica 8.

 ISSN: 2007 8102



Grafica 8. Promedio de Ruido Por Turno y Edificio.

Trabajo a futuro

De acuerdo a los resultados arrojados por el estudio, el solo cumplir con lo relacionado a legislación y acreditación, requerirá una inversión considerable, ya que prácticamente el sistema de iluminación en general presentó deficiencias, y las acciones de reemplazo de lámparas similares no son suficiente, deberán de ser de mayor capacidad y eso por sí mismo será oneroso, más que nada por la cantidad de lámparas. El estudio de ruido no presentó alteraciones al medio laboral gracias a eso no tendremos enfermedades causadas por exposición al ruido, como lo son: hipoacusia, cataratas, otopatías, trastornos del sueño.

Posteriormente se desarrolla una investigación para prevenir riesgos laborales relacionados con iluminación.

Sugerir la designación de un responsable de seguridad siguiendo la Norma 025 y 11 de la Secretaria de Trabajo y Previsión Social, para detectar las posibles consecuencias de cada uno de los actores que se desarrollen en la institución de educación superior, ya sea con cuestionarios, entrevistas, listas de chequeo, mapeo, matrices de evaluación.

Conclusiones

Para brindar una mejora de calidad de vida a los estudiantes, trabajadores y comunidad universitaria, las autoridades competentes deberían implementar planes de acción para cumplir con las Normas establecidas para iluminación y ruido ambientales establecidas por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Cumpliendo con la legislación, procesos de reacreditación, ambientes de trabajo y desarrollo de actividades para mitigar consecuencias enfocadas a la salud integral.

Las instituciones competentes deben realizar campañas de sensibilización contra el ruido y la importancia de la iluminación a la comunidad universitaria y crear conciencia ambiental y protección a la seguridad industrial. Adecuando y analizando la infraestructura de aulas, pabellones, laboratorios, oficinas y baños tanto de iluminación como de aislamiento acústico.

En el presente estudio los valores más altos detectados de ruido fueron 67.1 dB, lo que no representa ningún problema, ya que la norma correspondiente establece como límite 85 dB, a partir de los cuales se debe de utilizar equipo adecuado para proteger las capacidades auditivas de las personas. En el caso de la iluminación, sí se encontraron áreas mal iluminadas, con menos de 300 luxes que es lo permitido en un espacio educativo, y menos

 ISSN: 2007 8102

de 700 luxes para espacios que requieren mayor iluminación por utilizar algún equipo por consecuencia se tendrán resultados no aceptables para legislación de la Secretaria y Acreditación en el rubro de infraestructura.. Siete de 26 espacios están bien iluminados o exceden la norma, lo que sí representa un problema serio a resolver.

Contando con personal capacitado y profesional para dar cumplimiento a las necesidades de infraestructura, planificando y ejecutando los planes de la institución de educación superior. Consecuentemente al corto plazo es pertinente realizar un estudio de costo beneficio para el cambio de luminarias, espacios adecuados dando como resultado bienestar a toda la comunidad universitaria.

Agradecimientos

A la empresa Microanálisis del Norte S. A de C.V. por realizar los estudios de Iluminación y Ruido a cargo del director M.G.A Gerardo del Castillo Masiel y su equipo de trabajo, a la Institución de Educación Superior que dio las facilidades pertinentes para el estudio.

Referencias

[1] OCDE, «Censo General de Poblacion y Vivienda. Encuesta Intercensal,» Economicos., Organizacion para la Cooperacion y el Desarrollo, Mexico, 2015.

[2] Noismart, «Ruido en educación: Consecuencias,» 2023. [En línea]. Available: https://www.noismart.com/consecuencias-ruido-alumnado/#:~:text=Un%20nivel%20de%20ruido%20normal%20en%20el%20aula,de%20disminuir%20el%20nivel%20de%20atenci%C3%B3n%20y%20concentraci%C3%B3n..

[3] Segurmanía, «La importancia de una buena iluminación en tu puesto de trabajo,» 2023. [En línea]. Available: https://www.segurmaniazurekin.eus/lecciones-seguridad/la-importancia-de-una-buena-iluminacion-en-tu-puesto-de-trabajo/.

[4] STPS, «NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo,» 2008. [En línea]. Available: https://sidofqa.segob.gob.mx/notas/docFuente/5076393.

[5] Cacei, «Marco de Referencia 2018 para la acreditación de programas de Ingeniería: Criterios e Indicadores,» 2018. [En línea]. Available: http://cacei.org.mx/docs/marco_ing_2018.pdf.

[6] A. Nieto-Vallejo, J. Camacho, R. Cuervo-Pulido y E. Hernández-Mihajlovic, «Sistema de iluminación dinámica para incrementar la atención de los estudiantes de diseño en las aulas,» 2021. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.co/pdf/rfing/v30n55/2357-5328-rfing-30-55-e102.pdf.

[7] Secom, «¿Qué es la Iluminación arquitectónica dinámica y cómo utilizarla?,» 09 mayo 2022. [En línea]. Available: https://blog.secom.es/iluminacion-arquitectonica-dinamica/.

[8] R. Zaire, «¿Qué importancia tiene el diseño de iluminación en el aula de clases?,» 09 enero 2023. [En línea]. Available: https://iluminet.com/diseno-de-iluminacion-en-el-aula-de-clases/.

[9] Simon Electric, «Niveles de iluminación recomendados según cada zona y actividad,» 26 agosto 2021. [En línea]. Available: https://www.simonelectric.com/blog/niveles-de-iluminacion-recomendados-segun-cada-zona-y-actividad.

 ISSN: 2007 8102

Aplicación de la inteligencia artificial como apoyo en el aprendizaje de estudiantes de nivel licenciatura

M.E. Montes Almanza[1], M.C. Frias Maldonado[1], M.L. Montes Almanza[1], P.C. Ramírez[1], J.J. Gómez Benavides[1].*
*1*Departamento de Sistemas y Computación, TecNM campus Querétaro,*
Av. Tecnológico S/N, Col. Centro, C.P. 76000, Querétaro, Qro., México.
**elena.ma@queretaro.tecnm.mx*

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

La inteligencia artificial (IA) tiene un gran potencial para apoyar la adquisición del conocimiento mediante el uso herramientas para el proceso de educativo, facilitando la personalización del aprendizaje y la manera de como los estudiantes se apropian de dicho conocimiento, por lo que es necesario que los docentes incorporen el uso de estas herramientas como parte de sus estrategias didáctica, pero a su vez estableciendo normativas que garanticen su uso efectivo e intensión pedagógica. Este artículo tiene como objetivo identificar las herramientas de IA que puedan ser utilizadas como recursos didácticos que se adapten a las necesidades del estudiante, facilitando su aprendizaje con un enfoque ético, atractivo y eficaz. Esta investigación se realizó bajo el enfoque cuantitativo, de alcance exploratorio, descriptivo y transversal; se diseñó un cuestionario, cuyos resultados fueron analizados usando la estadística descriptiva, identificándose las herramientas IA más utilizadas de acuerdo las estrategias didácticas empleadas por los docentes.

***Palabras clave**: Tutor Inteligente, Aprendizaje Automático, Aprendizaje Profundo, Aprendizaje Reforzado.*

Abstract

Artificial intelligence (AI) has great potential to support the acquisition of knowledge through the use of tools for the educational process, facilitating the personalization of learning and the way students appropriate such knowledge, so it is necessary that teachers incorporate the use of these tools as part of their didactic strategies, but at the same time establishing regulations that guarantee its effective use and pedagogical intention. This article aims to identify AI tools that can be used as teaching resources that adapt to the needs of the student, facilitating their learning with an ethical, attractive and effective approach. This research was carried out under the quantitative, exploratory, descriptive and cross-sectional approach; a questionnaire was designed, whose results were analyzed using descriptive statistics, identifying the most used AI tools according to the didactic strategies used by the teachers.

***Key words**: Intelligent Tutor, Machine Learning, Deep Learning, Reinforcement Learning.*

Introducción

Durante la pasada pandemia de COVID-19 se hizo un uso desmedido de diversos recursos digitales, así como de algunas herramientas de la Inteligencia Artificial (IA), como sistemas y/o tutores inteligentes. Sobre todo, en estudiantes de nivel superior, lo que ha generado preocupación en los docentes en relación con el impacto negativo que tiene el mal uso de estos recursos incrementando los bajos niveles de apropiación del conocimiento por parte de los estudiantes en detrimento en algunos casos de sus habilidades cognitivas.

Al respecto, organismos como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) se han pronunciado al publicar un documento conocido como Consenso de Pekín sobre Inteligencia Artificial y Educación en 2019, donde se recomienda que el desarrollo de esta tecnología debe ser supervisado por personas especialistas con un enfoque hacia los individuos. Es decir, su uso debe estar orientado a mejorar las capacidades de la población. A su vez sugieren establecer marcos normativos para el uso de este tipo de tecnologías en los planes de estudio. Por su parte investigadores a nivel nacional como Sonia Guadalupe Mendoza Chapa, investigadora del Departamento de Computación del CINVESTAV y Luis Martín Sánchez Adame profesor de la UAEMEX, Centro Universitario Valle de México, proponen tener un acercamiento con

especialistas en el área de la IA con la finalidad identificar las herramientas adecuadas y emplearlas de manera efectiva [1].

En concordancia con lo anterior, se hace necesario entre los actores de la educación ampliar el conocimiento sobre la IA, para comprender tanto el aspecto tecnológico, didáctico y ético que conlleva la integración de estas tecnologías de una manera pertinente en proceso de enseñanza-aprendizaje.

Aunque la IA se considera una tecnología emergente, esta tiene sus inicios, en 1956 cuando John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon y Nathaniel Rochester acuñan por primera vez el término durante la conferencia disertada en la Universidad de Dartmouth con la finalidad de formalizar su conceptualización como un nuevo campo de estudio; tomando como base la idea de que la inteligencia humana era posible de ser replicada en una máquina digital [2].

Anteriormente en 1947 esta idea había sido perfilada por Alan Turing donde manifestó en la Real Sociedad Astronómica de Londres la posibilidad de crear una máquina que pudiera aprender de la experiencia, lo que lo lleva a publicar en 1950 el artículo "*Computing Machinery and Intelligence*" [3], así como la introducción del Test de *Turing*, mediante el cual se pretendía evaluar la capacidad de una máquina para razonar de manera similar a un ser humano [4].

Después de las aportaciones de Alan Turing, la inteligencia artificial ha sido definida como: la capacidad de las máquinas de realizar funciones que requieren un cierto nivel de inteligencia, característica propia de los seres humanos, para hacer frente a situaciones complejas y diversas, resolver problemas y tomar decisiones [5].

Otros autores conceptualizan a la IA bajo dos esquemas distintos. Por un lado, consideran que es la facilidad que tienen las computadoras para realizar actividades que necesitan del raciocinio humano; mientras que en una conceptualización más detallada, se refieren a la capacidad que tienen las máquinas para utilizar algoritmos para procesar y descifrar datos con la finalidad de tomar decisiones de manera similar al proceder de cualquier persona [6]. Otra definición de la IA, la considera como la rama del conocimiento encargada de llevar a cabo procesos computacionales capaces de realizar tareas, tomando como base el raciocinio y la conducta características propias del ser humano [7].

Sin duda a partir de estas conceptualizaciones podemos afirmar que la IA no es un concepto totalmente concluido sino que está en constate desarrollo ya que involucra muchos campos de la ciencia que aluden a procesos mentales, al razonamiento y a la conducta humana [8]; como los algoritmos heurísticos, las redes neuronales, la teoría de la probabilidad etc., permitiéndole abarcar distintos campos de acción desde la automatización hasta la robótica, facilitando con ello su incorporación en diferentes ámbitos de la sociedad e incluso en el ámbito educativo.

En el contexto educativo se habla de dos tipos generales de tecnologías de la IA, aquellas que están dirigidas a proporcionar y facilitar un determinado aprendizaje al estudiante y aquellas que están dirigidas a apoyar al docente en tareas como: planificación, diseño y organización de actividades académicas [9]. Estas a su vez se agrupan en lo que se conoce como: *Ambientes Interactivos de Aprendizaje (Interactive Learning Environments) y los Sistemas Tutores Inteligentes (Intelligent Tutoring Systems).*

- Los Ambientes Interactivos de Aprendizaje (*Interactive Learning Environments*). Utilizan la búsqueda de herramientas de entornos abiertos facilitando la exploración de ideas a través de la interacción con la computadora en un proceso de descubrimiento del conocimiento mediante su acción [10];

- Los Sistemas Tutores inteligentes *(Intelligent Tutoring Systems).* Proporcionan una instrucción adaptada al estudiante en contenido y forma, facilitando la adquisición del conocimiento a medida que los estudiantes avanzan en un curso, mediante una planificación instruccional basada en el secuenciamiento del currículo [11].

Por tanto, entre las tecnologías de la IA que tienen mayor aplicación en el ámbito educativo se encuentran aquellas que favorecen el Aprendizaje Automático *(Machine Learning*), Aprendizaje Profundo *(Deep Learning*), Aprendizaje por Refuerzo *(Reinforcement Learning),* que se describen a continuación:

- Aprendizaje Automático *(Machine Learning*). Sistema que permite la construcción de modelos matemáticos, a partir de datos registrados con los cuales se pueden hacer predicciones o tomar decisiones emulando la inteligencia humana [12]; pudiendo con ello, predecir el rendimiento y planificar las lecciones de acuerdo a las necesidades y ritmo de los estudiantes.

- Aprendizaje Profundo *(Deep Learning*). Es un sistema que hace uso de una función en una red neuronal que simula el procesamiento de diversas variables de modo tal que se puedan reconocer determinadas pautas y poder para decidirse por una alternativa u otra, reaccionando y adaptándose a las características del entorno [13], por lo que en el contexto educativo ayuda a trazar y desarrollar el recorrido de las temáticas de estudio de manera óptima para que los estudiantes maximicen la eficiencia del aprendizaje.

- Aprendizaje Reforzado *(Reinforcement Learning*). Es un sistema capaz de aprender con la experiencia, esto debido a que se retroalimenta con los resultados obtenidos modificando con esto su comportamiento de manera dinámicamente, por lo que su aplicación en el ámbito educativo favorece a la evolución de los estudiantes [3].

Bajo el enfoque anterior se puede decir que el uso y aplicaciones de la IA en materia de educación ha pasado de utilizar herramientas digitales que se limitan a ser meros repositorios de materiales en línea para que los estudiantes simplemente los descarguen y/o puedan subir archivos con actividades o tareas asignadas; a incluir sistemas inteligentes adaptativos que relevan, aprenden y se retroalimentan con el actuar tanto del docente como del estudiante; generando modelos y algoritmos con el fin de enriquecer el proceso educativo [14].

Por consiguiente, con este trabajo se pretende analizar las potencialidades de las tecnologías y herramientas de la IA en la educación de nivel superior, con la finalidad de que los estudiante y docentes del TecNM campus Querétaro tengan un~~a~~ mayor conocimiento y comprensión en el uso de estas herramientas de IA y con ello facilitar su acceso como un recurso didáctico para apoyar la práctica docente, así como contribuir al proceso educativo de los estudiantes en un esquema de personalización del aprendizaje.

Metodología

Para el desarrollo de este trabajo, se empleó una investigación de corte cuantitativo no experimental, con un alcance exploratorio, descriptivo y transversal. La *población de estudio* se conformó con **75** estudiantes inscritos en diferentes semestres del programa educativo de Ingeniería en Sistemas Computacionales cursando las materias de Matemáticas Discretas, Programación Orientada a Objetos, Arquitectura de Computadoras, Sistemas Operativos y Gestión de Proyectos de Software en el periodo enero-junio 2023.

Así mismo, para calcular el tamaño de la muestra se utilizó la fórmula para el cálculo de la muestra con población finita y conocida; obteniéndose *una muestra de **63** estudiantes* por la técnica de muestreo aleatorio simple, con un nivel de confianza del 95% y un porcentaje de error del 5%.

El proyecto se dividió en dos partes, en la primera parte se realizó una búsqueda documental para determinar las tecnologías de IA que son aplicables al ámbito educativo, posteriormente se diseñó un cuestionario con la finalidad de identificar el nivel de conocimiento de la IA y el tipo de herramientas de IA que son más utilizada en las actividades académicas; así como la percepción que tienen los estudiantes sobre el apoyo de estas herramientas en el desarrollo de sus actividades académicas. Este cuestionario se conformado con un total de 25 items en una escala de Likert de 5 puntos; para la recopilación de la información se hizo uso de un formulario en *Google Forms* el cual se distribuyó mediante una aplicación de mensajería multiplataforma *WhatsApp* a los estudiantes que conformaron la muestra. Para el análisis estadístico descriptivo se empleó la hoja electrónica *Excel de Microsoft.*

En la segunda parte del proyecto se determinaron herramientas de la IA que puedan utilizarse para apoyar las estrategias de didácticas; favoreciendo un entorno educativo activo donde el estudiante se involucre en la construcción de su aprendizaje y posibilite al docente de brindar una instrucción con las condiciones necesarias para desarrollar y potencializar de las habilidades cognitivas y metacognitivas de los estudiantes [15].

Resultados y discusión

En el desarrollo de la primera parte de esta investigación, los resultados más relevantes al aplicar el cuestionario para conocer el nivel de conocimientos sobre la IA e identificar las herramientas de IA que con mayor frecuencia

 ISSN: 2007 8102

utilizan y la percepción que tiene los estudiantes sobre el impacto que tienen estas herramientas en su rendimiento académico son los siguientes:

En cuanto al *nivel de conocimiento que tienen los estudiantes de sobre la inteligencia artificial* en la Figura 1 se observa que el 26% de los encuestados manifestó tener *mucho* conocimiento, un 22% refieren tener *bastante* conocimiento, mientas que el 14% mencionó tener *poco* conocimiento sobre el tema; un 21% consideran tener *muy poco* conocimiento y el 17% manifestaron no saber *nada* sobre el tema.

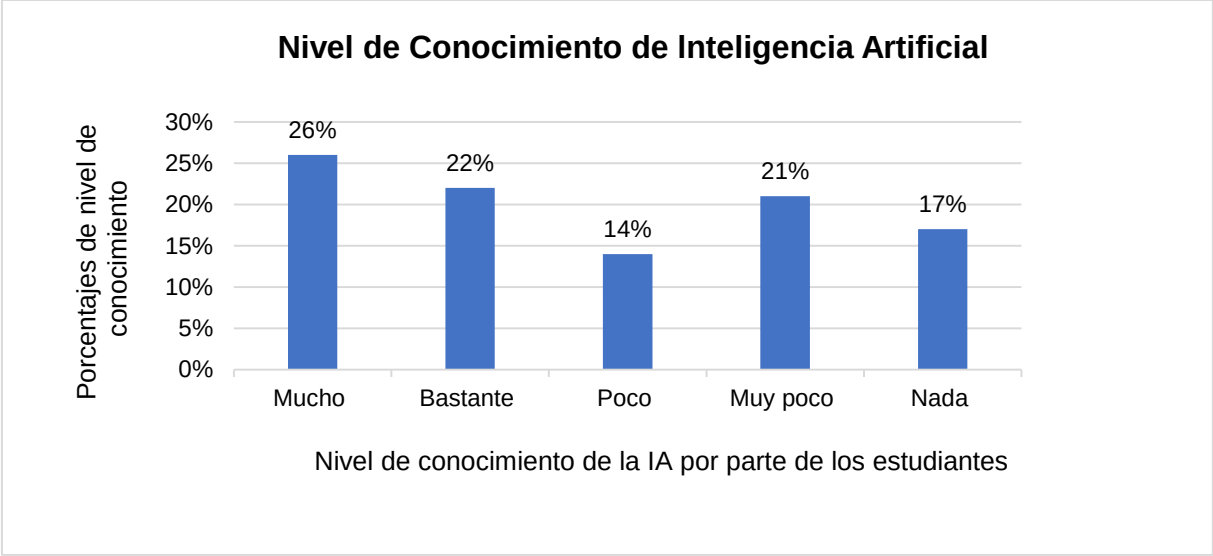


Figura 1. Nivel de conocimiento de IA en los estudiantes.

La Figura 2 muestra las *herramientas de IA conocidas por los estudiantes*, siendo la más conocida por los encuestados el *chatGTP* con un 38%, seguida por *Jarper Chat* referida por el 20% de los estudiantes, seguidas por *Chatsonic* con un 12% y *You.com* con un 8%, mientras que la herramienta de IA menos conocida fue *ArticleFor* siendo referida por el 2% de los estudiantes, debido a que esta herramienta se utiliza para apoyar la redacción de artículos, a su vez el 10% de los encuestados manifestaron no conocer ninguna otra herramienta de IA.

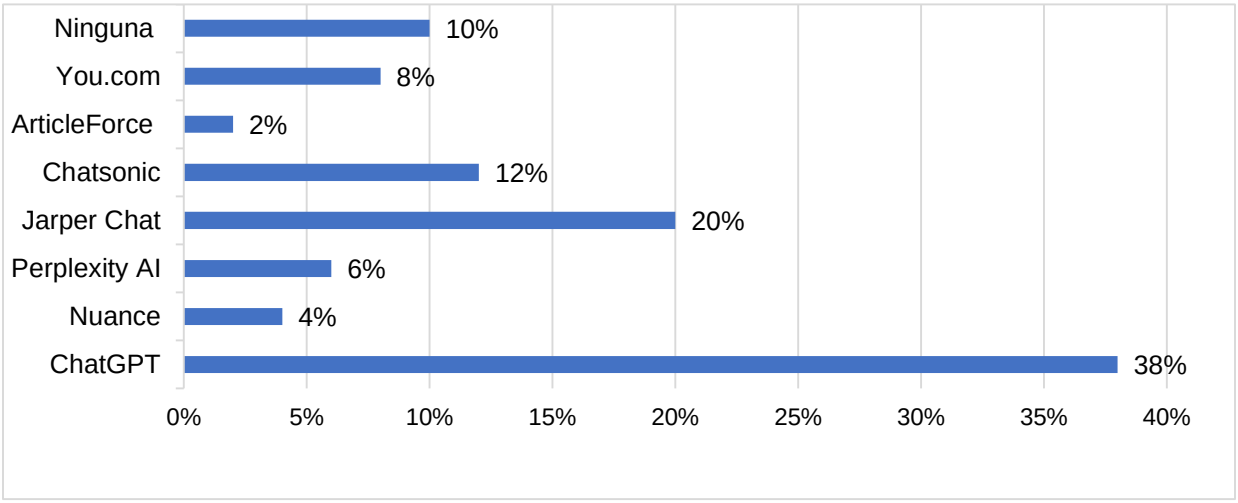


Figura 2. Herramientas de IA conocidas por los estudiantes.

 ISSN: 2007 8102

Con respecto al uso de las herramientas de IA en las actividades académicas de los estudiantes en la Figura 3, donde se observa que los estudiantes refieren usar las herramientas de IA muy frecuentemente en un 40% para realizar investigaciones, un 38% menciona usarlas para realizar tareas extraclase, un 35% prefiere usarlas muy frecuentemente para ver ejemplo de ejercicios, un 33% de ellos para resolver dudas, un 27% para repasar los *temas vistos en clase* mientras que solo el 1% manifestaron usarlas muy frecuentemente para *resolver exámenes*.

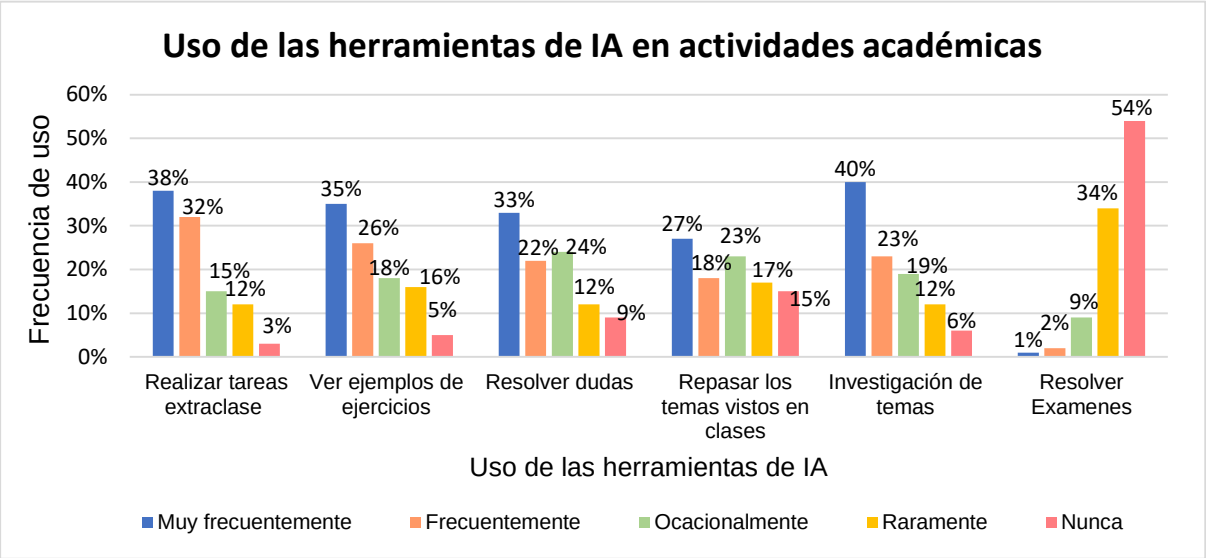


Figura 3. Nivel de uso de las herramientas IA en actividades académicas.

A su vez, en lo referente a la percepción que tienen los estudiantes sobre la utilidad de las *herramientas de IA en su rendimiento académico* se encontró como se muestra en la Figura 4, que el 42% de los encuestados consideran que si es de *mucha utilidad* el apoyo de estas herramientas IA, del mismo modo el 27% de ellos considera que es de *bastante utilidad* para mejorar su rendimiento académico, mientras que el 13% de los encuestados mencionan que son de *poca utilidad*, seguido por el 15% que refiere que apoyan *muy poco* en su rendimiento; por último un 3% de los encuestados consideran que no tienen *ninguna* utilidad en su rendimiento académico.

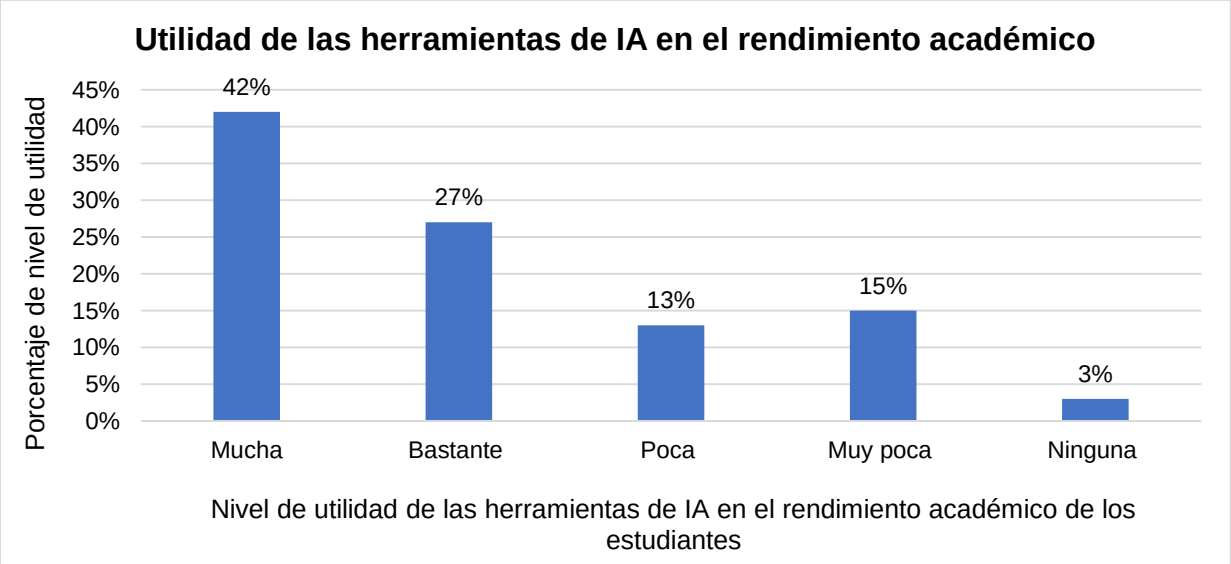


Figura 4. Nivel de utilidad de las herramientas de la IA en el rendimiento académico.

 ISSN: 2007 8102

En relación al nivel de *apoyo de las herramientas de IA en el desarrollo de habilidades blandas* en los estudiantes, en la Figura 5 se muestra 36% de los participantes refieren que las herramientas IA apoyan *mucho* el desarrollo de las habilidades blandas, seguida por 21% de los encuestados que manifiestan que estas herramientas apoyan *bastante* su desarrollo, mientras que el 24% considera que apoyan *poco*, por su parte 13% de los participantes considera que su apoyo es *muy poco*, por ultimo solo el 6% afirma que no apoyan *nada* en el desarrollo de las habilidades blandas.

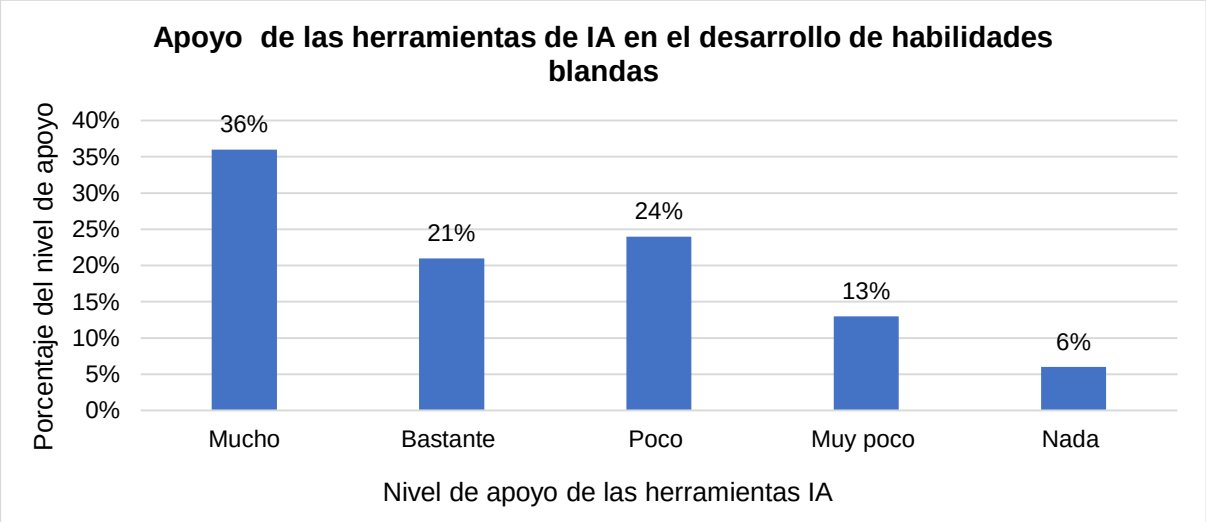


Figura 5. Nivel de apoyo de las herramientas de la IA en el desarrollo de las habilidades blandas.

De acuerdo con los resultados presentados anteriormente, se puede inferir que los estudiantes tienen en general poco conocimiento sobre la IA dado que el nivel de complejidad de las nociones y técnicas que se manejan en su fundamentación, las cuales pueden ser difíciles de comprender y aplicar; lo que puede desanimar a los estudiantes a explorar más en profundidad este tema.

De igual manera, se observó que conocen muy poco de las aplicaciones y usos de las herramientas de IA, para aprender y utilizarlas en su formación académica, aunque muchos de ellos si conocen y utilizan algunas herramientas como *JasperChat, ChatSonic*, *ChatGTP* entre otras, esto puede ser debido a que se encuentran disponibles de manera gratuita en diferentes plataformas, haciéndolas accesibles y fácil de usar por los estudiantes que buscan respuestas rápidas y ayuda en la resolución de tareas específicas.

Asimismo, se observó que en general utilizas las herramientas de IA para realizar trabajos de investigación, realizar tareas específicas, así como ver ejemplos de ejercicios, por lo que se observa que utilizan estas herramientas como apoyo en la realización de las tareas extra-clase.

A su vez, en relación con el apoyo que brindan estas herramientas en referencia al rendimiento académico, se aprecia que más de la mitad de los estudiantes participantes perciben no tener ningún beneficio al respecto, dado que en algunos casos las usan sin tener un conocimiento fundamentado de sus funciones. Además de que se observa que los estudiantes no realizan un análisis ni una reflexión crítica de la información generada por estas herramientas, lo que deriva en una falta de compromiso y profundidad en su estudio, realizando entregas solo por cumplir con las actividades encomendadas por los docentes dejando a un lado la adquisición del conocimiento impactando negativamente en su formación académica.

Del mismo modo, en lo referente a los beneficios de estas herramientas para el desarrollo de las habilidades blandas se percibe que más de la mitad de los estudiantes participantes señalan no tener ningún beneficio dado que perciben que estas herramientas se centran principalmente en la generación de respuestas y no les permite tener interacción con otras personas y/o compañeros en el desarrollo de sus habilidades interpersonales.

En la segunda parte de este proyecto se determinó cuáles de las herramientas de IA son más adecuadas para apoyar las estrategias didácticas planteadas por docente. A continuación, se describen las estrategias y el tipo de tecnología y/o herramientas de IA que pueden apoyarlas, algunas de ellas pueden ser utilizadas en varias estrategias.

- *Aprendizaje basado en problemas, aprendizaje de estudio de casos y/o aprendizaje basado en proyectos*, En este tipo de estrategias se plantean problemáticas reales, donde los estudiantes buscan información y debaten en la mejor manera de darle solución, por lo que se pueden emplear los:

    - *Sistemas de recomendación.* Estos facilitan al estudiante realizar búsquedas de información ya que recomiendas materiales relacionados para ayudar a los estudiantes a acceder a contenido relevante sobre el problema planteado o de caso de estudio, como: *Research Rabbbit, AutoTutor, Watson Tutor.*
    - *Sistemas de asistencia Inteligentes. Pueden brindar apoyo a los estudiantes mediante la generación de preguntas y recibir respuestas rápidas y precisas. Esto es útil para resolver dudas rápidas o brindar* orientación sobre un tema en específico como: *Jasper.ai, Chart GTP.*
    - *Simuladores virtuales.* Los estudiantes pueden crear simulaciones de las propuestas planteadas a un problema o a un caso de estudio en particular e interactuar con los resultados a fin de valorar su eficacia, entre los que se encuentra: *Asana, Smartsheet, Monday.com, Wrike*, etc.

- Aprendizaje Autónomo, en esta estrategia el estudiante toma el control de su aprendizaje mientras el docente intenta que este indague internamente en busca de su propio conocimiento y enfrente por sí mismos una situación problemática, para este tipo de estrategia didáctica se puede utilizar las siguientes herramientas de IA:

    - *Sistemas tutores Inteligentes.* Los cuales proporcionan un apoyo personalizado y retroalimentación a los estudiantes, ayudándolos a consolidar y reforzar su aprendizaje; por ejemplo: *Brainly, Chegg y Wyzant.*
    - *Plataformas de evaluación adaptativa*. Permiten validar el aprendizaje, adaptándose al nivel de conocimiento y habilidades de cada estudiante, como son: Aleks, Khan Academy y MyEducator.
    - *Plataformas de aprendizaje en línea:* Ofrecen cursos en línea personalizados que se adaptan al ritmo y nivel de conocimiento de cada estudiante como: *Udemy, Coursera y edX.*
    - *Sistemas de recomendación de contenido*. Recomiendan contenido de aprendizaje personalizado basado en los intereses y necesidades de cada estudiante, algunos ejemplos son: Netflix*, Spotify y Amazon*.

- Aprendizaje Colaborativo, es este tipo de estrategia los estudiantes trabajan en grupos pequeños para resolver problemas, discutir ideas y compartir conocimientos, lo que fomenta la colaboración entre los ellos, pudiendo emplearse para lograrlo las siguientes herramientas de IA:

    - *Sistemas de colaboración.* Estos sistemas permiten la colaboración en tiempo real, por ejemplo: *Google Suite for Education*.
    - *Plataforma de gestión del aprendizaje.* Estos sistemas proporcionan recomendaciones de contenido personalizadas a los estudiantes y a su vez permiten la colaboración y comunicación en tiempo real entre estudiantes y docentes. *Blackboard Learn*
    - *Plataformas de evaluación adaptativa*. Estas plataformas permiten la creación de grupos de estudio y la colaboración en tiempo real; de igual manera permiten realizar un seguimiento del progreso de los estudiantes y ofrecen recomendaciones personalizadas de estudio, como *Quizlet:*

Las tecnologías y/o herramientas son solo algunas de las muchas que utilizan la inteligencia artificial para mejorar el aprendizaje y que están disponibles de manera comercial o se tiene acceso de manera gratuita, cada una de estas herramientas tiene diferentes características de manera que ofrecen al usuario distintas funciones, por lo que es necesario analizar y elegir la que mejor se adapte a las necesidades específicas del ambiente educativo en que se quieran utilizar.

Trabajo a futuro

Se recomienda, para futuras investigaciones hacer un análisis más destallado de las tecnologías y herramientas de la inteligencia artificial para conocer sus fortalezas y debilidades e identificar cuáles de ellas pueden ser incorporadas, en el proceso de enseñanza aprendizaje para apoyar la generación de conocimiento necesario conforme a las características y necesidades de los estudiantes de nivel universitario.

También es necesario realizar investigaciones sobre la inmersión de la IA en los diversos contextos pedagógicos mediante un diseño instruccional que garantice la implementación de secuencias didácticas más flexibles y personalizadas. De igual manera queda pendiente validador la pertinencia y eficacia de las estrategias didácticas que se desarrollen haciendo uso de estas herramientas para realizar los ajustes necesarios en su diseño e implementación, partiendo desde un enfoque pedagógico, curricular y no sólo en el enfoque tecnológico.

Conclusiones

Las herramientas de IA tienen un gran potencial para transformar la educación, dado que pueden ayudar a personalizar el aprendizaje, proporcionan retroalimentación instantánea, facilitan la colaboración mejorar la eficiencia en el proceso educativo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la IA no puede reemplazar por completo a los docentes, ya que estos desempeñan un papel fundamental en la educación, guiando el proceso de enseñanza aprendizaje, brindando apoyo emocional, fomentando el pensamiento crítico, así como el desarrollo de las habilidades cognitivas y sociales.

A su vez, es importante señalar que el uso de las herramientas de IA pueden desarrollar y potencializar no solo las habilidades metacognitivas de los estudiantes, sino apoyar el desarrollo de las habilidades blandas dado que al interactuar con ellas los estudiantes deben analizar y evaluar diferentes contextos, así como considerar múltiples y variadas variables a la hora de establecer criterios de búsqueda, permitiéndoles plantear de manera concreta un problema para tomar decisiones basadas en la información presentada.

Es por ello, que las herramientas de IA deben ser utilizadas como recursos complementarios para mejorar la experiencia educativa y no como un sustituto de la interacción humana. Además, es crucial abordar los aspectos éticos y de privacidad asociados con el uso de la IA en la educación.

Referencias

[1] H. De la Peña , “Retos académicos frente a la inteligencia artificial”, *Conexión Cinvestav*, 2023. https://conexion.cinvestav.mx/Publicaciones/retos-acad233micos-frente-a-la-inteligencia-artificial

[2] A. Abeliuk y C. Gutiérrez, "Historia y evoluación de la inteligencia artificial", Revista *Bits de Ciencia*, pp. 14-21, 2021.

[3] C. F. Caiafa, S.G. Lew, “¿Qué es la Inteligencia Artificial?”, *Boletín Radio@stronómico*, vol. 69, no. 6, pp. 1-7, 2020.

[4] J.D. Cruz Salgado & S. D. Ortega Fula, “Inteligencia artificial en el ámbito universitario”, Tesis de grado, Uniempresarial, Bogota, 2020.

[5] B. Coppin, *Artificial Intelligence Illuminated*. Boston: Jones and Bartlett, 2004.

[6] L.B. Rouhiainen-Petteri, *Inteligencia Artificial, 101 Cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. España: Editorial Planeta, 2018.

[7] C.F. Alastruey, “Estado de la cuestión de la inteligencia artificial y los sistemas de aprendizaje autónomo”, *Sociología y tecnociencia*, vol. 11, no. 2, pp 182-195, 2021.

[8] C. Arana, “Inteligencia Artificial Aplicada a la Educación: Logros, Tendencias y Perspectivas”, *INNOVA UNTREF*, vol. 1, no. 7, 2021.

[9] B. Gros, “ La Inteligencia Artificial y su aplicación en la enseñanza”, *CL&E*, pp. 73-80. 1992.

[10] C.C. Arredondo, “Inteligencia artificial en la educación: uso del chatbot en un curso de pregrado sobre Investigación Académica en una universidad privada de Lima”, Tesis de Maestria, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2020.

[11 I.I. Sánchez, J. M. Cabrera y J. E. Martínez, “Ayudas virtuales como apoyo al aprendizaje inclusivo en la ingeniería”, *Revista Horizontes Pedagógicos*, vol. 17, no. 2, pp.104-116, 2015.

[12] X.D. Zhang, *Machine Learning. A Matrix Algebra Approach to Artificial Intelligence*. Singapore: SpringerNature, 2020.

[13] J.J. Padial, “Técnicas de programación «deep learning»: ¿Simulacro o realización artificial de la inteligencia?”, *Naturaleza y Libertad*, no. 12, pp. 191-201, 2019.

[14] B. Gros, y J. Rodríguez, “Inteligencia Artificial y diseño de programas educativos”, *Revista Española de Pedagogía*, vol. 49, no. 188, pp. 39-57, 1991.

[15] P. Morales, “Aprendizaje basado en problemas (ABP) y habilidades de pensamiento crítico ¿una relación vinculante?”, *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, vol. 21, no.2, pp 91-108, 2018.

 ISSN: 2007 8102

Divulgación de proyectos y su impacto en el desarrollo de habilidades blandas a nivel licenciatura

J.J. Gómez Benavides[1]*, M.C. Frías Maldonado[1], M.E. Montes Almanza[1], M.L. Montes Almanza[1], P.C. Ramírez[1].

1*Departamento de Sistemas y Computación, TecNM campus Querétaro, Av. Tecnológico S/N, Col. Centro, C.P. 76000, Querétaro, Qro., México.

*Jose.gb@queretaro.tecnm.mx

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

La implementación de estrategias para desarrollar y/o fortalecer las habilidades blandas en estudiantes de nivel licenciatura, implica implementar estrategias adecuadas en el ámbito educativo, integrando estas habilidades de forma transversal en el currículo académico, permitiéndoles tener un mejor rendimiento académico, para que posteriormente puedan posicionarse en puestos estratégicos dentro del sector productivo, dichas habilidades son un complemento necesario para su desempeño tanto personal como profesional, ya que contando con estas habilidades será más fácil investigar, gestionar, desarrollar y transformar información enfrentando retos de manera más efectiva. Este artículo tiene como objetivo identificar las habilidades blandas que los estudiantes necesitan fortalecer o desarrollar para aplicarlas en soluciones que involucren desarrollo de software. La investigación se realizó con un enfoque de tipo cuantitativo de alcance exploratorio, descriptivo y longitudinal, con un diseño de investigación no experimental identificando las habilidades blandas necesarias para el desenvolvimiento adecuado y ético de los estudiantes.

***Palabras clave**: Habilidades blandas, Foro de Divulgación, Gestión de proyectos, Comunicación*

Abstract

The implementation of strategies to develop and/or strengthen soft skills in undergraduate students implies implementing appropriate strategies in the educational field, integrating these skills transversally into the academic curriculum, allowing them to have a better academic performance, so that they can later To position themselves in strategic positions within the productive sector, these skills are a necessary complement for their personal and professional performance, since with these skills it will be easier to investigate, manage, develop and transform information, facing challenges more effectively. This article aims to identify the soft skills that students need to strengthen or develop in order to apply them in solutions that involve software development. The research was carried out with a quantitative approach of exploratory, descriptive and longitudinal scope, with a non-experimental research design identifying the soft skills necessary for the adequate and ethical development of the students.

***Key words**: Soft Skills, Outreach Forum, Project Management, Communication*

Introducción

Como parte de la formación académica de los estudiantes en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Querétaro es importante que estos desarrollen habilidades blandas como: expresión oral, expresión escrita, trabajo en equipo, manejo de tiempo, creatividad, iniciativa, liderazgo, organización, resolución de problemas, adaptabilidad, manejo de TI, entre otras; estas

 ISSN: 2007 8102

complementan su formación académica permitiéndoles tener un mejor desenvolvimiento personal y profesional.
Algunos empleadores han externado que los estudiantes del instituto son excelentes en cuanto a sus habilidades técnicas o duras, pero que es importante que se trabaje en el desarrollo y/o fortalecimiento de las habilidades blandas. Por lo tanto, las habilidades blandas son imprescindibles para un desarrollo integral del estudiante, permitiéndole que actúe efectivamente e interactúe mejor con otras personas.

Las habilidades blandas, también conocidas como habilidades interpersonales o habilidades sociales, permiten que los estudiantes puedan interactuar de una forma más efectiva con otras personas, adaptándose a diferentes situaciones o contextos. En algunos casos estas habilidades son más valoradas por los empleadores en el entorno laboral, permitiéndoles desarrollarse en todos los ámbitos, ya que estas complementan su formación académica, preparándolos para enfrentar los retos en el entorno laboral una vez que egresan.

Ya que estas habilidades son clave para fomentar la comunicación efectiva, el trabajo en equipo, el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la capacidad de adaptación; promoviendo el autoconocimiento, la ética laboral y la empatía, considerados como aspectos importantes para el desarrollo profesional de líderes responsables y comprometidos [1].

También se pueden considerar a las habilidades blandas como aquellos atributos o características que las personas deben desarrollar para interactuar y relacionarse de manera efectiva con las demás personas o en la sociedad [2].

Las habilidades blandas o también conocidas como Soft Skills, son actitudes necesarias para tener una interacción social buena, una escucha activa, saber hablar, saber comunicarse, poder liderar, poder estimular, saber delegar, saber analizar, saber juzgar, saber negociar y poder llegar a consensos, además de poder trabajar en equipo, lo que nos implica tener conciencia de los valores personales para poder aplicarlos adecuadamente en las diferentes circunstancias o contextos [3].

Las habilidades blandas en la actualidad permiten desarrollarse de manera más competitiva en diversos sectores tanto académico y productivo, propiciando el desarrollo integral del estudiante desde diversos componentes individuales de la persona que contribuyen a generar relaciones interpersonales, como son:

- Comunicación: Es el proceso entre personas mediante el cual se transmite y se comparte información, ideas, sentimientos y pensamientos. Es una habilidad fundamental para todas las áreas de la vida, porque permite establecer conexiones sólidas y eficaces con otras personas, llegar a acuerdos y resolver conflictos de forma [4].

- Trabajo en equipo: Se define como la colaboración y coordinación de esfuerzos entre dos o más personas para lograr un objetivo común. Se caracteriza por la participación de todos los miembros, la comunicación efectiva, el reparto de tareas y responsabilidades, el respeto mutuo y la disposición a trabajar de manera conjunta y empática [5].

- Expresión oral: Es el proceso por el cual una persona transmite ideas, pensamientos, emociones o información a otras personas de forma oral, es decir las habilidades necesarias para comunicarse verbalmente mediante el uso del lenguaje hablado y en algunos casos haciendo uso de herramientas tecnológicas [6].

- Expresión escrita: Capacidad de preparar documentos escritos que comuniquen las ideas de manera que otros las entiendan fácilmente [7].

- Creatividad: Se conceptualiza como la intuición para resolver problemas que permite elaborar ideas proporcionando soluciones novedosas y útiles [9].

- Resolución de problemas: Capacidad cognitiva-afectiva-conductual mediante el cual se intenta identificar o descubrir una solución abordando situaciones cotidianas que requieren planteamientos sistemáticos y efectivos [10].

- Capacidad de escucha: Es una habilidad que requiere la capacidad y esfuerzo consiente entre el emisor y el receptor, para establecer una comunicación de comprensión libre que permite expresarse, así como centrar la atención no sólo en lo que dice, sino en lo que siente también [11].

- Gestión del tiempo: Es un proceso para cumplir eficazmente una actividad determinado las necesidades, estableciendo metas, fijando prioridades, para elaborar un plan de acción de las tareas en un plazo de tiempo determinado; en donde la persona obtiene el control de su actividad [12].

De acuerdo con las habilidades blandas planteadas, en el contexto educativo el desarrollo de dichas habilidades en estudiantes de nivel licenciatura se ha convertido en una prioridad. Dado que son fundamentales para el éxito personal y profesional.

Es por ello, que para el programa de estudios de Ingeniería en Sistemas Computacionales se estableció como estrategia en el desarrollo y fortalecimiento de las habilidades blandas, la divulgación de proyectos de software mediante un foro, que se realiza de forma continua cada semestre, donde se dan a conocer los resultados de los trabajos realizados por los estudiantes, siendo evaluados por un jurado conformado por docentes de la carrera y expertos en el área.

Metodología

Para el desarrollo de este trabajo, se empleó una investigación con un enfoque de tipo cuantitativo de alcance exploratorio, descriptivo y longitudinal, con un diseño de investigación no experimental. La *población de estudio* se conformó con **371** estudiantes inscritos en la materia de Gestión de Proyectos de Software y que participaron en los distintos foros durante los periodos de agosto-diciembre 2017 a enero-junio 2023.

Así mismo, para calcular el tamaño de la muestra se utilizó la fórmula para el cálculo de la muestra con población finita y conocida; obteniéndose una muestra de **189** estudiantes por la técnica de muestreo aleatorio simple, con un nivel de confianza del 95% y un porcentaje de error del 5%.

Como parte de esta investigación y para dar seguimiento a los foros de divulgación se siguió el proceso establecido por la Academia de Ingeniería en Sistemas Computacionales que consta de tres etapas, llevando con ello a que los estudiantes puedan dar divulgación a los proyectos desarrollados y así poder cumplir con los requisitos solicitados para la opción de titulación integral. A continuación, se describe cada una de las etapas establecidas.

Primera Etapa.

En esta etapa los estudiantes que cursan la materia de Fundamentos de Ingeniería de Software (SCC-1007) conforman los equipos de trabajo y proponen el proyecto de software que desarrollarán durante las siguientes etapas. Este proyecto tiene la finalidad u objetivo de resolver o innovar algún problema ayudando a mejorar la calidad de vida, automatizando algún proceso o agilizando una actividad, todo esto con el apoyo de las Tic's.

Durante esta etapa del desarrollo del proyecto se realiza estudios de mercado, técnico y financiero, para que con ello el docente valide la viabilidad de la propuesta del proyecto presentada por los estudiantes. Es importante que durante el desarrollo del proyecto los estudiantes realicen el estado del arte del proyecto a desarrollar e identifiquen si existen soluciones similares al proyecto propuesto y si es el caso deberán definir la propuesta de valor de acuerdo con el mercado objetivo que les permitirá un diferenciador del ya existente.

Además, es conveniente en esta etapa para los estudiantes trabajar directamente con una empresa o con un cliente especifico, ya que esto les permitirá interactuar con ellos en la elaboración del proyecto, definiendo los requerimientos reales para el desarrollo y además poner en práctica sus habilidades técnicas y blandas.

Segunda Etapa.

La continuidad del proyecto en la segunda etapa se ejecuta al cursar los estudiantes la materia de Fundamentos de Ingeniería de Software, adquiere forma al utilizar diversas herramientas que le permiten al estudiante visualizar e interpretar el entorno antes de ser desarrollado usando técnicas de ingeniería como el lenguaje unificado de modelado (UML), el cual le permitirá diseñar correctamente todos los procesos que conlleva el proyecto y a comunicar la idea al cliente.

En esta etapa el desarrollo de la creatividad es muy importante porque le permitirá diseñar las interfaces de usuario, pensando en la experiencia que podría tener el usuario final, incluidas sus percepciones, emociones y respuestas al producto. Tomando en cuenta un factor muy importante: la usabilidad, la cual hace referencia a la facilidad con la que el usuario puede interactuar con el producto, desarrollando en el estudiante la sensibilidad para entender al usuario e interpretar sus requerimientos.

Tercera Etapa.

En la tercera etapa la materia involucrada como parte del desarrollo del proyecto es la de Gestión de Proyectos de Software, en esta el estudiante consolida el proyecto que inicio en fundamentos de ingeniería de software y culmina con la divulgación, presentándolo en el Foro de Divulgación de Proyectos de Software que se realiza al finalizar el semestre. A través de este evento se da a conocer a la comunidad los proyectos. Para el foro se cuenta con profesores del instituto e invitados externos (expertos en el área) que fungen como evaluadores dando retroalimentación a los estudiantes.

Durante esta etapa se incorporan actividades con entregables como:

- Proyect Charter: Documento donde se plasma toda la información clave relativa al proyecto considerado como el acta constitutiva del proyecto.
- Modelo Canva: Herramienta para la planificación estratégica, el cual permite desarrollar, visualizar y evaluar modelos de negocio, permitiendo expresar de una manera fácil todo el contexto del proyecto.
- Contrato de desarrollo: Documento en el cual se especifican aspectos importantes del proyecto, como fechas de entrega, obligaciones, así como los términos y condiciones para cada una de las partes.

Aunado a lo anterior y motivando a los estudiantes para apoyarlos en mejorar su expresión oral, se practica en diferentes actividades el manejo del pitch, herramienta muy útil para el foro de divulgación de proyectos de software, fomentando en el estudiante una mejor interacción entre sus ideas y las personas a las cuales va dirigido el proyecto.

En esta etapa el proyecto llega a la fase terminal, con la presentación en el “Foro de Divulgación de Proyectos de Software”, el estudiante tiene que hacer uso de su creatividad para diseñar flyers, trípticos, carteles, con la finalidad de dar difusión al proyecto en la comunidad. Es importante mencionar que para dicha presentación habrá dos momentos en que el estudiante realizará la divulgación de su proyecto en sólo 10 minutos, en el primer momento presenta la parte técnica y en el segundo momento el funcionamiento de la aplicación.

Una parte relevante que se considerar en el foro es la evaluación que realiza el jurado, para lo cual el estudiante debe tomar en cuenta algunos aspectos como:

A. Presentación.
Tiempo de exposición (10 minutos). Distribuido entre el fundamento teórico y la aplicación.
Materiales de apoyo. Incluye cartel, lona, tríptico, etc.

B. El proyecto.
Método. En el proyecto identifica, formula y resuelve problemas a partir de métodos.

 ISSN: 2007 8102

Propuesta. La solución es innovadora y creativa.
Incorpora. Soluciones éticas, relevantes, considerando su entorno y el medio ambiente.

C. Habilidades técnicas

Aseguramiento de la calidad. Diseñar, desarrollar y seleccionar herramientas tecnológicas asegurando el alcance, tiempo y costo conforme a los principios éticos de desarrollo.
Conocimientos. Demuestra la aplicación de procedimientos y conocimientos de Ingeniería de Software

D. Habilidades técnicas y blandas

Presentación personal (vestimenta formal).
Trabajo en equipo. Se evidencia el trabajo colaborativo en la realización del proyecto.
Argumenta: De manera precisa, coherente y creativa.
Orden. Sigue una estructura y orden en la exposición (método explicativo-comprensivo).
Uso formal del lenguaje. Correcta pronunciación, con tono de voz claro y fuerte.

Resultados y discusión

En el desarrollo de la primera parte de esta investigación, fue establecer los entregables para cada una de las materias relacionadas en las distintas etapas, así como establecer las condiciones para llevar a cabo el foro donde los estudiantes divulgan su proyecto, bajo este contexto se han realizado 12 foros.

En la figura 1 se muestra la participación de los estudiantes con sus proyectos en cada uno de los foros que se han llevado a cabo durante 12 periodos, comprendidos estos de agosto- diciembre 2017 a enero-junio 2023, se observa que existe una participación promedio de dos a tres estudiantes por cada proyecto presentado, y para los periodos comprendidos en agosto- diciembre el número de participantes y de proyectos presentados es más alto que los comprendidos en los periodos de enero- junio.

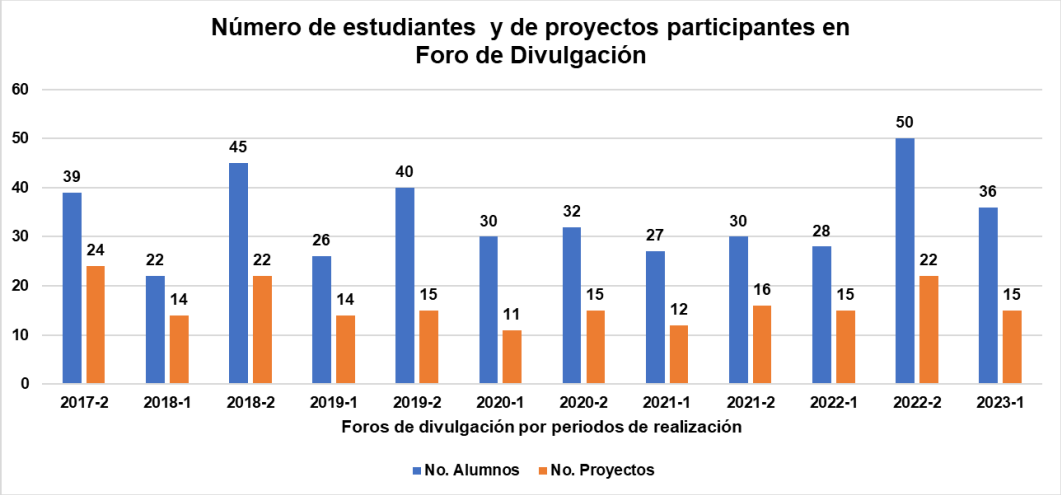


Figura 1. Número de estudiantes y de proyectos en Foros de Divulgación

Los proyectos presentados en los foros de divulgación se agrupan por áreas de conocimientos, se puede observar en la figura 2 las áreas y los porcentajes en cada una de ellas, siendo el porcentaje más alto con 28% para proyectos relacionados con el área de administración, seguido de 15% para proyectos de apoyo educativo, un 13 % para proyectos sociales, 11% tanto para proyectos internos como para proyectos de apoyo a la salud, 9% para proyectos relacionados con la seguridad, 7% para proyectos de ecología y 6% relacionados con la diversión.

 ISSN: 2007 8102

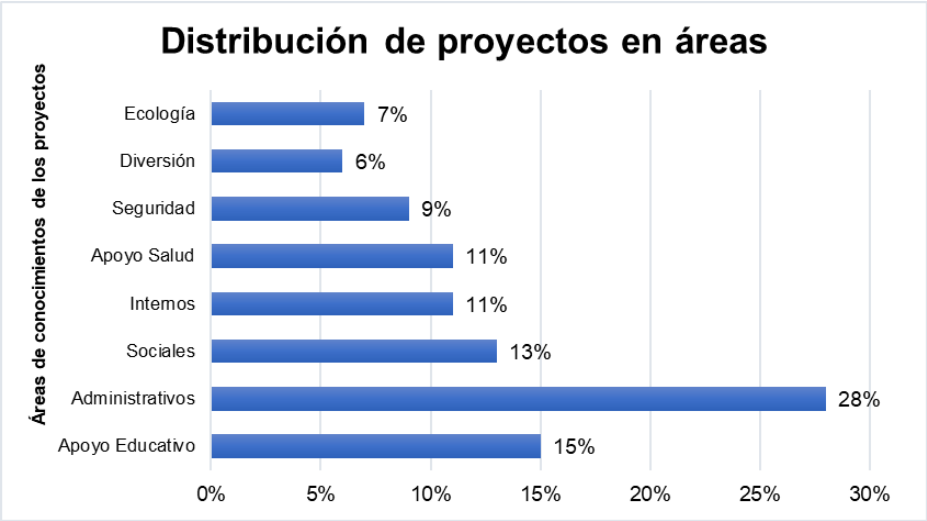


Figura 2. Distribución de proyectos en áreas de conocimientos

También como parte importante de la investigación se aplicó un cuestionario para identificar el grado de desarrollo que los estudiantes tiene con respecto a las habilidades blandas necesarias como desarrolladores de software que les permite interactuar con los diferentes actores en un ambiente real de desarrollo, las cuales se ven reflejadas en el foro de divulgación de proyecto de software.

En cuanto al grado de desarrollo de las habilidades blandas de expresión oral, expresión escrita y comunicación, en la figura 3 se observa que los estudiantes de ISC refieren tener un 32% de ellos totalmente desarrollada la comunicación, un 33% manifiestan tener muy poco desarrollada la habilidad de expresión escrita, un 26% indica que tiene parcialmente desarrollada la expresión oral.

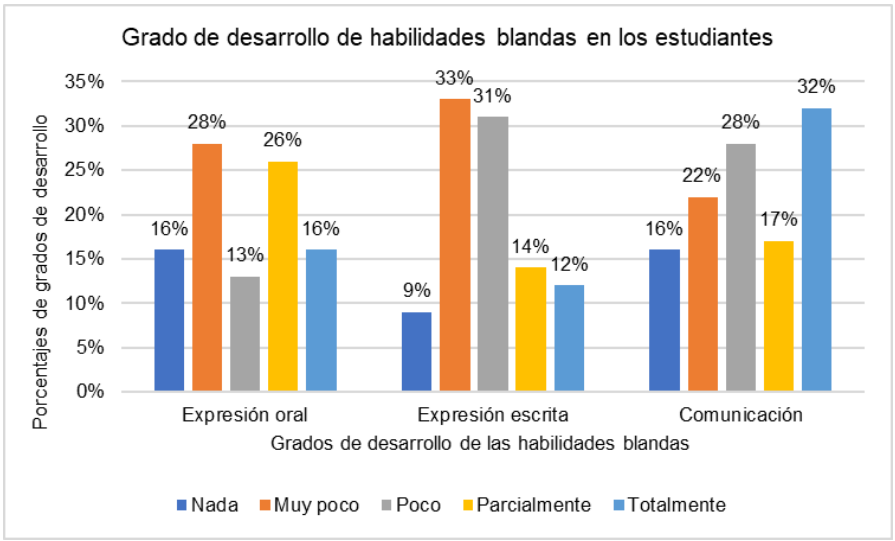


Figura 3. Grado de desarrollo de habilidades blandas en los estudiantes

En relación con el grado de desarrollo de las habilidades blandas de trabajo en equipo y gestión de tiempo, se puede observar en la figura 4 que un 40% de los estudiantes refieren tener parcialmente desarrollada la habilidad de trabajo en equipo y un 4% de los estudiantes consideran no tenerla

 ISSN: 2007 8102

desarrollada; mientras que el 34% de ellos indican tener poco o parcialmente desarrollada la habilidad de gestión de tiempo y solo el 2% refiere tenerla desarrollada totalmente.

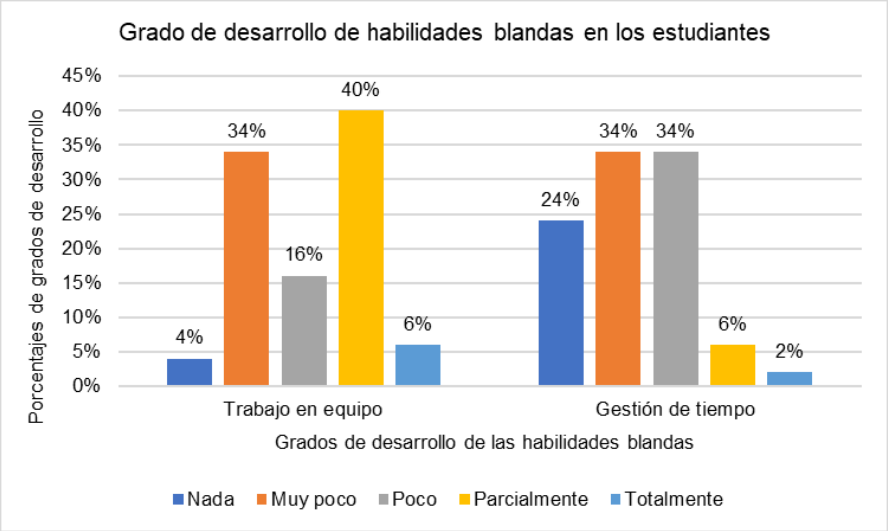


Figura 4. Grado de desarrollo de habilidades blandas en los estudiantes

A su vez en lo referente a la percepción que tienen los estudiantes sobre el grado de desarrollo de las habilidades blandas de resolución de problemas y creatividad, en la figura 5 se observa que el 49% perciben tener desarrollada la habilidad de resolución de problemas y solo un 6% de los estudiantes consideran tenerla muy poco desarrollada; por otro lado, el 41% manifiesta tener muy poco desarrollada la habilidad de creatividad y el 7% indica tenerla totalmente desarrollada.

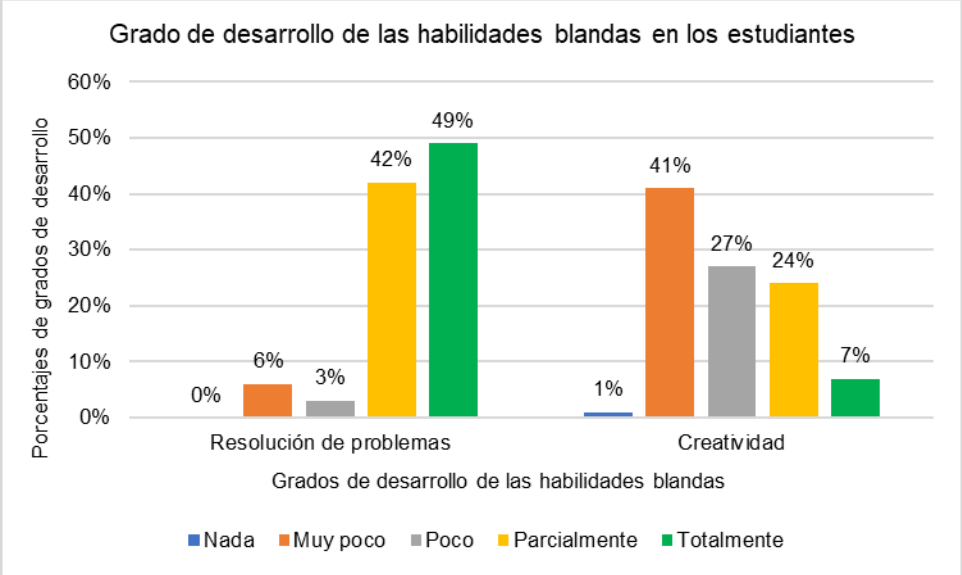


Figura 5. Grado de desarrollo de habilidades blandas en los estudiantes

Como parte de la investigación y de acuerdo con los resultado obtenidos anteriormente, donde se aprecia que los estudiantes presentan en promedio un grado de desarrollo no satisfactorio en referencia a las habilidades blanda requeridas, siendo una área de oportunidad que también han

 ISSN: 2007 8102

referido los evaluadores externos de los proyectos, como son: comunicación, trabajo en equipo, administración de proyectos, manejo de segundo idioma, madurez emocional, confianza, capacidad de búsqueda de respuestas, elaboración de propuestas de solución e iniciativa.

Tomando en cuenta los resultados anteriores se pueden llevar a cabo diversas estrategias para fomentar el desarrollo de habilidades blandas en estudiantes de nivel licenciatura. Algunas de estas estrategias incluyen:

- Integrar de manera transversal las habilidades blandas en el currículo académico, de manera que se promueva su desarrollo a lo largo de todas las asignaturas.
- Fomentar la participación en actividades extracurriculares, como clubes, grupos estudiantiles o proyectos comunitarios, que promuevan la colaboración, el liderazgo y la comunicación efectiva.
- Brindar oportunidades de aprendizaje práctico, como pasantías o prácticas profesionales, en las que los estudiantes puedan aplicar y desarrollar habilidades blandas en un entorno laboral real.
- Ofrecer talleres o cursos especializados en habilidades blandas, en los que los estudiantes puedan adquirir conocimientos teóricos y prácticos sobre estas habilidades.
- Brindar retroalimentación constructiva a los estudiantes, tanto durante el proceso de aprendizaje como en evaluaciones formales, para que puedan reflexionar sobre su desarrollo y mejorar sus habilidades blandas.

Trabajo a futuro

Las habilidades blandas al no ser una competencia definida de manera implícita en los planes y programas de estudio, es necesario hacer una validación de las estrategias presentadas anteriormente, por lo que se requiere investigar los programas de tutoría para el fomento del desarrollo de habilidades blandas y su impacto, así como investigar la relación entre el uso de la tecnología y el desarrollo de habilidades blandas en los estudiantes. Además, es pertinente evaluar la relación entre el nivel socioeconómico y el desarrollo de habilidades blandas en los estudiantes.

Otra parte importante será el analizar la influencia de la educación emocional en el fomento de habilidades blandas en los estudiantes e investigar el impacto que tienen las actividades de formación integral como: la participación en deportes, actividades artísticas y/o culturales para fortalecimiento de habilidades blandas en los estudiantes.

Conclusiones

El desarrollo de habilidades blandas en estudiantes de nivel licenciatura es esencial para su éxito personal y profesional. Estas habilidades se complementan en su formación académica, permitiéndoles enfrentar los retos del mundo laboral de manera efectiva. Los estudiantes que poseen habilidades blandas desarrolladas tienen una ventaja competitiva, ya que demuestran una mayor capacidad de comunicación, adaptabilidad y trabajo en equipo.

Este proceso implica implementar estrategias adecuadas en el ámbito educativo, integrando estas habilidades de manera transversal en el currículo académico, promoviendo la participación en actividades extracurriculares, brindando oportunidades de aprendizaje práctico y ofreciendo cursos especializados, ya que estas son esenciales para su futuro éxito profesional, brindándoles herramientas necesarias para destacar en el mundo laboral actual y convertirse en profesionales exitosos y comprometidos.

 ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] J. A. DeVito, *Human communication.* The basic course. Ed. 11. Boston: Pearson, 2017.
[2] M. Lozano, E. Lozano y M. Ortega, “Habilidades blandas una clave para brindar educación de calidad: revisión teórica”, *Revista Conrado*, vol.18, no. 87, pp. 54-65. 2022. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442022000400412 .
[3] F. M. Reimers, V. Wagner, C. Gopinath, & E. Park, “Soft skills for hard constraints: Evidence from large-scale vocational training in Bangladesh”, *The World Bank,* 2019.
[4] S. Robbins, D. DeCenzo, & M. Coulter, *Fundamentals of Management*. Boston: Pearson, 2016.
[5] J. R. Katzenbach & D. K. Smith. *Work Teams: New Frontiers in Management*. Massachusetts: Ed Harvard Business Press, 2020.
[6] A. Briz, *La expresión oral en la enseñanza del español para extranjeros*. España: Editorial Edinumen, 2019.
[7] D. Martínez y V. Arévalo, “Capacitación y desarrollo de habilidades blandas en ingeniería de software a nivel industrial y en educación superior”, Tesis doctoral, facultad de ingeniería, Universidad ORT Uruguay, 2019.
[8] H. L. Andrade, “A Critical Review of Research on Student Self-Assessment “. *Frontiers in Education*, vol. 4, no. 87, 2019. https://doi.org/10.3389/feduc.2019.00087.
[9] M. Carranza, “Pensamiento creativo: un estudio holístico en la educación”, *Rev. Innova Educación*, vol. 3, no. 4, pp. 123–132, 2021.
[10] J. A. Díaz-Lozada y J.R. Díaz-Caballero, “La resolución de problemas desde un enfoque epistemológico”, *Foro de Educación*, vol. 18, no.2, pp191-209. 2020.
[11] A. G. Ruíz, R. I. Guerrero y Y. L Lira, “Estrategias Metodológicas que faciliten la Escucha Activa en los niños y niñas del III nivel del preescolar “Lolita Salazar” del municipio de Condega”, Tesis de grado, Facultad Regional Multidisciplinaria, Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua, Managua, 2017.
[12] N. Reverón, “La Gestión de tiempo”, Tesis de grado, Facultad de economía, empresa y turismo, Universidad de la Laguna, San Cristobal de la Laguna, 2015.

 ISSN: 2007 8102

Evaluación de la satisfacción de alumnos en el proceso de inscripción o reinscripción del ITSCH

M. Garduza Lázaro[1], Z. F. Cruz Pérez[2], Ma. I. Reyes Herrera[3], E. Jacinto Martínez[4], Y. González Cruz[5],*
[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas. Rivki.garduza@gmail.com
[2]Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas. Florcruz130916@gmail.com
[3]Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas. Mary.reyesveragdl@gmail.com
[4]Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas. Eldamartinez252@gmail.com
[5]Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas. Yesy5740@gmail.com

***Área de participación**: Investigación Educativa (Arial 9)*

Resumen

La investigación evalúa la satisfacción de los alumnos en el proceso de inscripción o reinscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas (ITSCH), durante el periodo febrero – julio 2023, es un estudio con diseño experimental, con un alcance, documental, descriptivo, y correlacional, con un corte transversal, la hipótesis que se sometió a comprobación es que "a menor eficiencia (tiempo) en el proceso de inscripción o reinscripción, menor satisfacción en el servicio que reciben los alumnos de la institución", por ello para la recolección de información se utiliza una encuesta con opciones de respuestas politómicas, y para determinar la muestra se utiliza un muestreo aleatorio estratificado, posteriormente se utiliza la fórmula para ajuste del muestreo, se validan los datos con el Alfa de Cronbach con el programa SPSS.

***Palabras clave**: Calidad, satisfacción, inscripción, reinscripción.*

Abstract

The research evaluates the satisfaction of the students in the process of enrollment or re-enrollment at the Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas (ITSCH), during the period February – July 2023, is a study with experimental design, with a scope, documentary, descriptive, and correlational, with a cross-sectional section, the hypothesis that was submitted to verification is that "the less efficiency (time) in the process of enrollment or re-enrollment, the less satisfaction in the service received by the students of the institution", so for the collection of information is used a survey polytomic response options, and to determine the sample a stratified random sampling is used, then the sampling adjustment formula is used, the data are validated with Cronbach's Alpha with the SPSS program.

***Key words**: Quality, satisfaction, registration, re-registration.*

Introducción

Una de las muchas responsabilidades del ITSCH, es el servicio que ofrece a los alumnos o aspirantes al realizar el proceso de inscripción o reinscripción, dicho proceso va a permitir a los alumnos inscribirse o reinscribirse en el periodo que les corresponda en su momento.

Las características de este proceso deben ser de acuerdo con las cualidades de la institución, sin embargo, existen ciertos atributos los cuales son básicamente deseables para el proceso, como lo son: la seguridad, accesibilidad, facilidad, optimización de los procesos, calidad en el servicio y satisfacción de los aspirantes y alumnos.

Desde principio a fin el proceso debe manejar y garantizar la seguridad de los datos, documentos e información de los alumnos, de manera que el manejo de la información debe ser estricta, esto le proporciona al alumno tranquilidad y confianza, así también la institución puede desempeñarse con profesionalismo, por lo que se debe considerar que el servicio que presta el departamento de control escolar de la institución debe permitir al aspirante o alumno realizarlo de una manera rápida, eficaz y de calidad

Debido a los retos que enfrentan las instituciones educativas frente a la globalización que se vive en la actualidad, se deben considerar los aspectos económicos, sociales y políticos que involucran la eficiencia de los procesos del sistema educativo, la investigación evalúa la satisfacción del servicio que brinda el ITSCH en el proceso de inscripción o reinscripción y a su vez proporciona información respecto a, si el servicio que brinda es eficiente o deficiente.

En definitiva, hay que hacer alusión a que la eficiencia es la base fundamental en que un servicio sea de calidad y que brinde la satisfacción del cliente, usuario o alumno, por ello es importante que la institución mantenga sus estándares de acuerdo con el sistema de gestión de la calidad en el servicio brindado.

Metodología

Actualmente, en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas, como en muchas otras instituciones, se realizan diversos tipos de trámites y dos de ellos se abordan en esta investigación, los cuales son; el proceso de inscripción y reinscripción, y que le corresponde llevarlo a cabo al Departamento de Control Escolar, dicho proceso es lento, ya que se da en varias etapas, lo que hace que sea tardado y pesado para el aspirante o alumno, también llega a representar aglomeraciones, espera de tiempo excesivo, molestias físicas, falta de alimentos y de manera general insatisfacción en los usuarios, de alguna otra manera también lo es para los empleados de este departamento, ya que su jornada laboral durante este proceso, se puede llegar a extender con la única intención de satisfacer al cliente, pero esta medida puede ocasionarle al empleado fatiga y agotamiento, por lo que la atención del servicio que brinda corre el riesgo de no ser realizada con la calidad adecuada que requiere el cliente.

Debido a la importancia que se le debe dar a los servicios que proporciona el ITSCH, se considera que la calidad es un factor determinante en toda institución y organización, y que se debe cuidar, por lo que hay que considerar que el término calidad total, se basa en que los usuarios sean servidos al máximo grado posible, significando que los servicios o productos satisfagan sus requerimientos y necesidades. El usuario juzga si la calidad de los bienes y servicios es aceptable y satisface sus necesidades, es él quien debe fungir como centro de cualquier organización que busque la excelencia [1].

El mencionar el término calidad lleva nada menos que a las normas ISO, las cuales son una herramienta y disposiciones que se emplean en organizaciones para garantizar que los productos y/o servicios ofrecidos por dichas organizaciones cumplen con los requisitos de calidad del cliente y con los objetivos previstos [2].

Es importante que el ITSCH siempre brinde un servicio de calidad y que le permita lograr los estándares que pretende respecto a esto, y tenga así clientes satisfechos, por lo que se debe considerar que un usuario que no se siente a gusto cuando utiliza los servicios tiene más probabilidades de divulgar una baja calidad, en comparación con un usuario que pueda soportar fallas tangibles siempre y cuando lo hayan atendido de forma servicial. Un nivel de calidad alto se logra cuando los usuarios están satisfechos o cuando superan sus expectativas. Al generarse entusiasmo entre los usuarios se fortalece su fidelidad y permite que se transmita una publicidad positiva de boca en boca [3].

 ISSN: 2007 8102

La investigación se realiza durante el semestre febrero – julio 2023 del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas, y evalúa la satisfacción de los alumnos en el proceso de inscripción o reinscripción del ITSCH, mediante un diseño experimental, con un alcance documental, descriptivo y correlacional, con un corte transversal, utilizando una encuesta integrada por 10 ítems de tipo escala Likert que va con puntuaciones del 1 al 5 donde: 1= De acuerdo; 2= Parcialmente de acuerdo; 3= Indiferente; 4= En desacuerdo; 5=Totalmente en desacuerdo.

En el estudio se plantea como hipótesis de investigación que "a menor eficiencia en el proceso de inscripción y reinscripción, menor satisfacción en el servicio que reciben los alumnos del ITSCH".

Para el estudio se ha considerado como población de estudio a todos los alumnos que se encuentran inscritos en cada una de las 10 carreras con las que cuenta el ITSCH, correspondiendo a un total de 1700 alumnos en el periodo febrero – julio 2023, la población se encuentra distribuida de la siguiente manera: ingeniería civil con 163 alumnos, ingeniería electromecánica con 159 alumnos, ingeniería electrónica con 56 alumnos, ingeniería en geociencias con 53 alumnos, ingeniería en gestión empresarial con 353 alumnos, Ingeniería en industrias alimentarias con 41 alumnos, ingeniería en sistemas computacionales con 215 alumnos, Ingeniería forestal con 59 alumnos, ingeniería industrial con 452 alumnos, ingeniería petrolera con 149 alumnos. Para determinar la muestra se utilizó un muestreo aleatorio estratificado, y se utilizaron las ***fórmulas 1, 2 y 3***, que se describen a continuación:

$$n = \frac{Nz^2pq}{(N-1)e^2 + z^2pq}$$

Fórmula 1. Fórmula finita [4].

$$n = \frac{\mathbf{n'}}{1 + \frac{\mathbf{n'}}{\mathbf{N}}}$$

Fórmula 2. Fórmula probabilística [5].

$$\mathbf{n_i} = \frac{\mathbf{N_i n}}{\mathbf{N}}$$

Fórmula 3. Fórmula afijación proporcional [6]

Donde para la fórmula 1:
N =Población, Z =Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza (NC), p =Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito), q =Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado y e =Error de estimación máximo aceptado.

Donde para la fórmula 2:
n= valor de la muestra ajustada y N el tamaño de la población, realizando el cálculo nos genera un valor de 265, este es valor de nuestra muestra buscada, $\mathbf{n}'$ es igual al tamaño de la muestra sin ajustar en donde está, será sustituida por la "n" de la fórmula finita.

Al sustituir en la ***fórmula 1***, el valor de N de una población de 1700, con un nivel de confianza del 95% la cual le corresponde un valor de Zeta crítica de 1.96 y una probabilidad de que ocurra el evento estudiado en proporción del 50%, así como un error estimado de 5%, con estos datos en la ***fórmula 1***, se obtuvo una muestra de 314 como el tamaño de la muestra sin ajustar, por la que se hizo un ajuste con la ***fórmula 2,*** y se obtiene "n" igual a 265, se realiza el cálculo de la afijación proporcional sustituyendo en la ***fórmula 3***, encontrando así el valor de cada estrato, como se muestra en la ***tabla 1***:

Tabla 1. Muestra por estrato

Número de estratos	Carreras	N_i =Subpoblación	Muestra en cada estrato
1	Ingeniería Civil	163	25
2	Ingeniería Electromecánica	159	25
3	Ingeniería Electrónica	56	8
4	Ingeniería en Geociencias	53	8
5	Ingeniería en Gestión empresarial	353	55
6	Ingeniería en Industrias Alimentarias	41	7
7	Ingeniería en Sistemas computacionales	215	34
8	Ingeniería Forestal	59	9
9	Ingeniería Industrial	452	70
10	Ingeniería Petrolera	149	24
	Población total	**N=1700**	**n=265**

Fuente: Propia de los autores

Para el instrumento utilizado en la investigación, se aplicó el coeficiente de confiabilidad de alfa de Cronbach donde; la confiabilidad tipo consistencia interna se refiere al grado en que los ítems de una escala se correlacionan entre ellos [7]., la prueba se realizó con el 10% de la muestra calculada siendo veintiséis alumnos (número de casos) se analizaron con del programa IBM SPSS Statistics (Versión 29), comprobando en un resumen el procesamiento de los casos analizados ver la ***tabla 2:***

Tabla 2. Procesamiento de los casos en SPSS V.29

Resumen de procesamiento de casos			
Casos	Descripción	N	%
	Válido	26	100
	Excluido	0	0
	Total	26	100

Fuente: Propia de los autores

Tabla 3. Cálculo de alfa de Cronbach en SPSS V.29

Estadisticas de fiabilidad		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos
0.954	0.953	10

Fuente: Propia de los autores

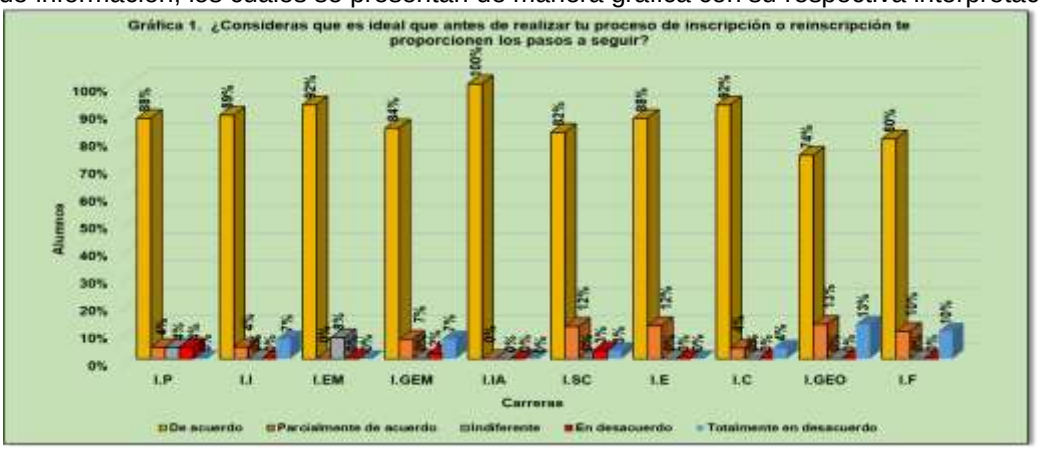
Se puede observar en la ***tabla 3*** que el alfa de Cronbach generada en el programa IBM SPSS Statistics, Versión 29 [8]., donde el número de ítems considerados fue el total utilizado en el instrumento de recolección de información, y el cual corresponde a diez, el alfa de Cronbach mide la correlación que existe entre las preguntas, e indica que para evaluar el coeficiente de Cronbach los valores de consistencia interna oscilan en:
-Coeficiente alfa >.90 a .95 es excelente
-Coeficiente alfa > .80 es bueno
-Coeficiente alfa > .70 es aceptable
-Coeficiente alfa > .60 es cuestionable
-Coeficiente alfa < .50 es inaceptable [9].

Encontrándose en el resultado que el alfa de Cronbach corresponde a 0.954, considerándose en un parámetro de excelente.

 ISSN: 2007 8102

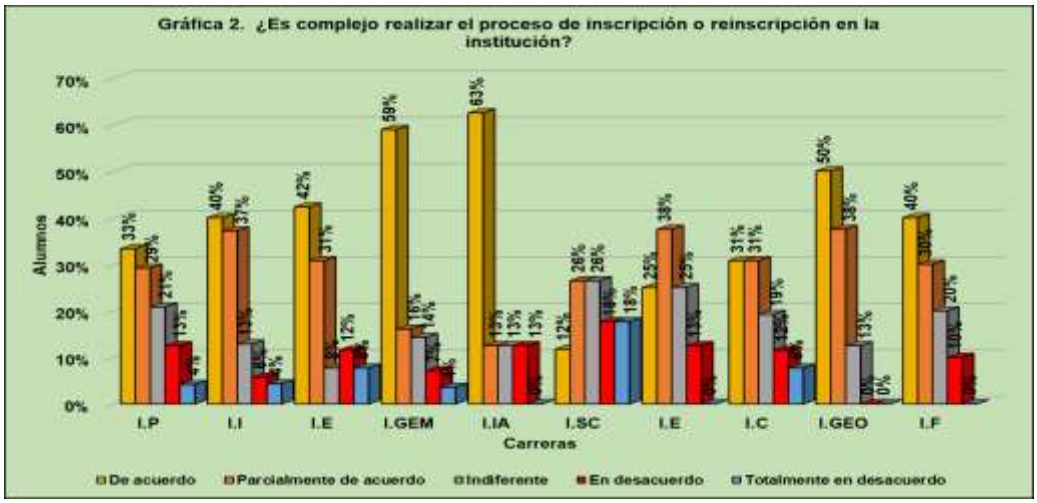
Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos mediante estadística descriptiva de los datos en la recolección de información, los cuales se presentan de manera gráfica con su respectiva interpretación.



Fuente: Propia de los autores

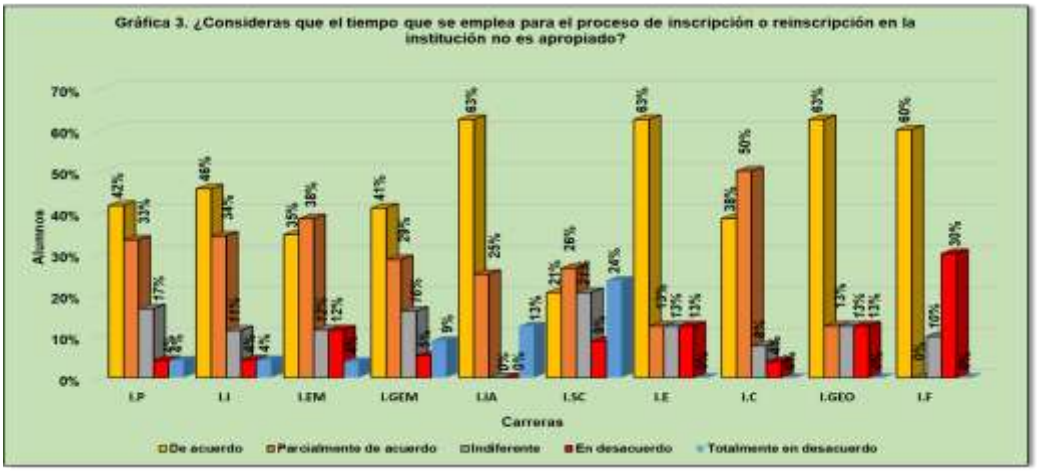
Interpretación gráfica 1. Los datos que se obtienen por carrera, indican que están *de acuerdo* con el cuestionamiento formulado con los siguientes porcentajes: ingeniería en industrias alimentarias (I. IA) al 100%, ingeniería civil (I. C) e ingeniería electromecánica (I. EM) con un 92%, ingeniería industrial (I. I) con el 89%, mientras que ingeniería en electrónica (I. E) e ingeniería petrolera (I. P) coinciden con un 88%, ingeniería en gestión empresarial (I. GEM) con un 84%, ingeniería en sistemas computacionales (I. SC) con un 82% y en ingeniería en geociencias (I. GEO) con un 72%, todas se encuentran por arriba del 70%, coincidiendo que en definitiva sí es ideal que antes que el alumno realice su proceso de inscripción o reinscripción, el departamento correspondiente dé a conocer los pasos de cómo será el proceso, solo del 0% al 10% se muestran en *totalmente en desacuerdo* a que es importante se den a conocer los pasos a seguir en el proceso.



Fuente: Propia de los autores

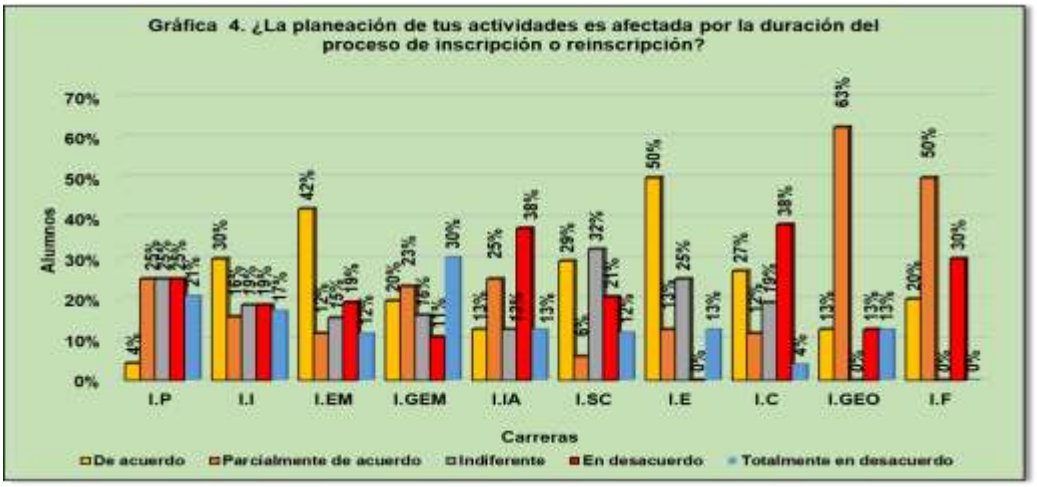
Interpretación gráfica 2. Se puede observar que en el cuestionamiento ¿Es complejo realizar el proceso de inscripción o reinscripción en la institución? Predomina, como respuesta que están *de acuerdo*, con un 63% ingeniería en industrias alimentarias (I. IA), el 59% ingeniería en gestión empresarial (I. GEM), el 50% a ingeniería en geociencias (I. GEO), ingeniería electrónica (I. E) 42%, en ingeniería Industrial (I. I) e ingeniería forestal (I. F) ambas con el 40%, ingeniería petrolera (I. P) con el 33%, ingeniería civil (I. C) 31%, ingeniería electrónica (I. E) 25%, ingeniería en sistema (I. SC) el 12%. Mientras que para las opciones de respuesta respecto a estar *en desacuerdo* o *totalmente en desacuerdo* la ingeniería con el porcentaje más alto fue ingeniería en sistemas computacionales (I. SC), en ambas se obtuvo el 18%. El resto de las ingenierías está por debajo del 18%.

 ISSN: 2007 8102



Fuente: Propia de los autores

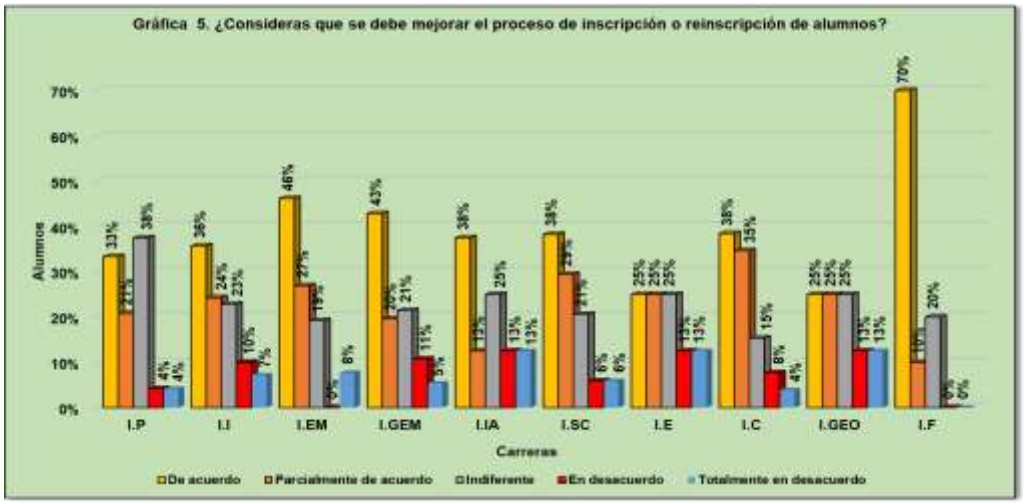
Interpretación gráfica 3. La respuesta *de acuerdo* fue la opción más alta obtenida en todas las carreras conforme al cuestionamiento planteado ¿Consideras que el tiempo que se emplea para el proceso de inscripción o reinscripción en la institución no es apropiado? El porcentaje obtenido por ingeniería en industrias alimentarias (I. I.A), ingeniería en electrónica (I. E) e ingeniería en geociencias (I. GEO) coincide con el 63%, ingeniería forestal (I. F) con el 60%, ingeniería industrial (I. I) 46%, ingeniería petrolera (I. P) el 42%, ingeniería en gestión empresarial (I. GEM) 41%, ingeniería civil (I. C) 48%, ingeniería electromecánica (I. EM) 35%, ingeniería en sistemas computacionales (I. SC) 21%, y los porcentajes obtenidos en la respuesta el estar *totalmente en desacuerdo* se encuentran ingeniería en sistema computacional (I. SC) 24%, ingeniería en industrias alimentarias (I. I.A) 13%, ingeniería en gestión empresarial (I. GEM) con un 9%, ingeniería petrolera (I. P), ingeniería industrial (I. I) e ingeniería electromecánica (I. EM) coinciden con el 4%, ingeniería electrónica (I. E), ingeniería civil (I. C) e ingeniería en geociencias (I. GEO) e ingeniería forestal (I. F) todas con un 0%. Siendo así la respuesta de mayor predominancia en que están *de acuerdo* con lo que plantea la pregunta.



Fuente: Propia de los autores

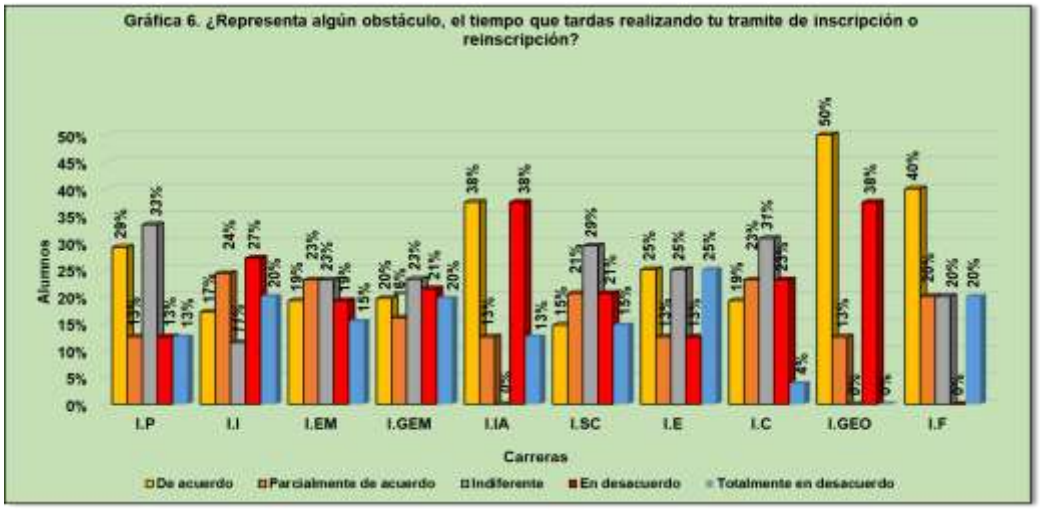
Interpretación gráfica 4. Obteniendo un promedio general de cada uno de los cuatro parámetros principales en esta gráfica se obtiene que en el parámetro *de acuerdo* existe un 25% como promedio que los encuestados consideraron que la planeación de sus actividades son afectadas por la duración del proceso de inscripción o reinscripción, en el caso de *parcialmente de acuerdo* se obtiene un promedio de 24.5%, mientras que *en desacuerdo* es 24% y para *totalmente en desacuerdo* el 13.5%, esto confirma que el parámetro *de acuerdo* es el más alto e indica que definitivamente a los alumnos si les afecta en sus actividades el tiempo que tardan en realizar su proceso de inscripción o reinscripción.

 ISSN: 2007 8102



Fuente: Propia de los autores

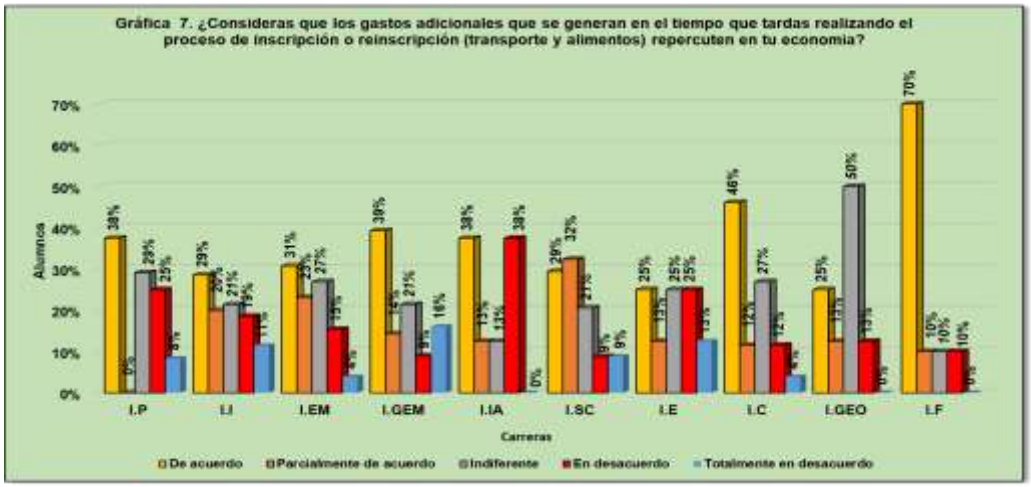
Interpretación gráfica 5. Como se puede observar en la respuesta *de acuerdo* obtenida son las siguientes: ingeniería forestal (I. F) con el 70%, ingeniería electromecánica (I. EM) 46%, ingeniería en gestión empresarial (I. GEM) 43%, ingeniería en industrias alimentarías (I. IA), ingeniería en sistemas computacionales (I. SC) e ingeniería civil (I. C) coincidieron con un 38%, ingeniería industrial (I. I) 36%, ingeniería petrolera (I. P) 33%, ingeniería electrónica e ingeniería en geociencias (I. GEO) ambas con 25%. En el caso de los que contestaron estar en *totalmente en desacuerdo*, ingeniería en geociencias (I. GEO), ingeniería en electrónica (I. E) e ingeniería en industrias alimentarias (I. IA) obtienen el 13%, ingeniería en electromecánica (I. EM) un 8%, ingeniería industrial (I. I) 7%, ingeniería en sistemas computacionales(I.SC) 6%, ingeniería en gestión empresarial (I. GEM) con el 5%, ingeniería civil (I. C) e ingeniería petrolera (I. P) ambas con el 4%. De esta manera se concluye, que con base a los resultados obtenidos y de mayor predominancia respecto a estar *de acuerdo* con el cuestionamiento formulado, en definitiva, indica que se debe mejorar el proceso de inscripción o reinscripción.



Fuente: Propia de los autores

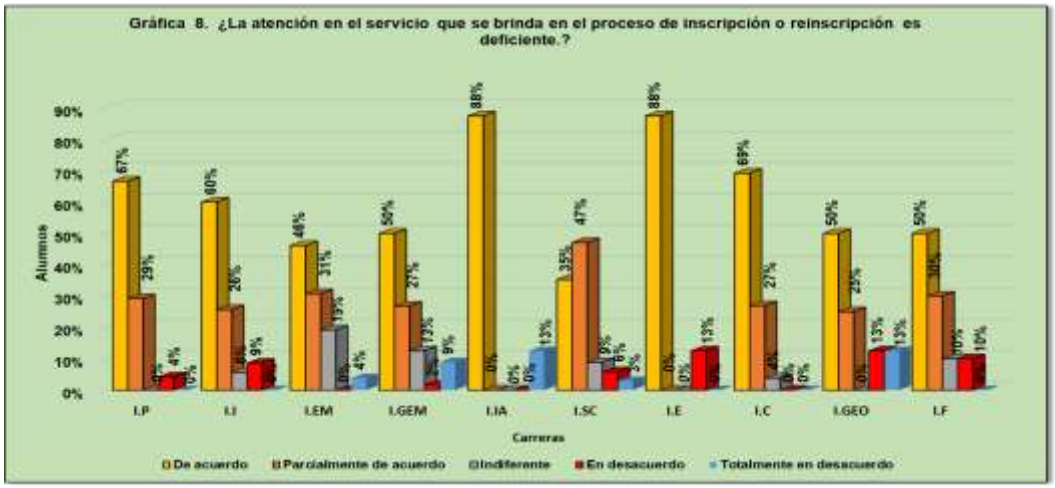
Interpretación gráfica 6. En el gráfico se observa que en el cuestionamiento formulado se obtiene en la opción de respuesta *de acuerdo* los siguientes porcentajes: ingeniería en geociencias (I. GEO) 50%, ingeniería forestal (I. F) 40%, ingeniería en industrias alimentarias (I. IA) 38%, ingeniería petrolera (I. P) 29%, ingeniería en electrónica (I. E) 25%, ingeniería en gestión empresarial (I. GEM) 20%, para ingeniería electromecánica(I. EM) e ingeniería civil (I. C) 19%, ingeniería industrial (I. I) 17%, ingeniería en sistemas computacionales (I. SC) 15%, por otra parte, las ingenierías que están en *totalmente en desacuerdo* obtienen lo siguiente: ingeniería electrónica (I. E) 25%, ingeniería industrial(I. I), ingeniería en gestión empresarial (I. GEM), e ingeniería forestal (I. F) tienen el 20%, ingeniería electromecánica(I. EM) 15%, ingeniería petrolera (I. P) e ingeniería en industrias alimentarias (I. IA) 13 %, ingeniería civil (I. C) 4%.

 ISSN: 2007 8102



Fuente: Propia de los autores

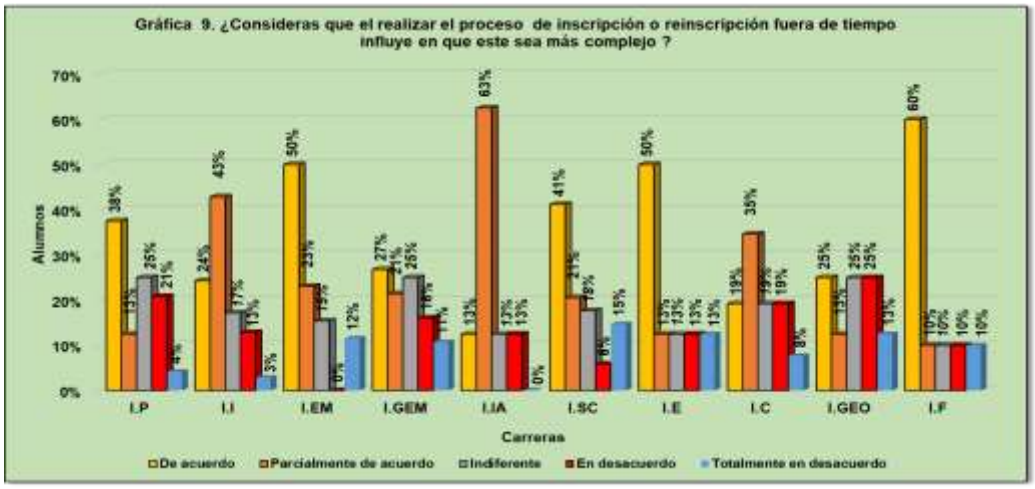
Interpretación gráfica 7. En esta gráfica se muestran los siguientes resultados obtenidos en la pregunta ¿Consideras que los gastos adicionales que se generan en el tiempo que tardas realizando el proceso de inscripción o reinscripción (transporte y alimentos) repercuten en tu economía? La respuesta *de acuerdo* obtiene los siguientes porcentajes: ingeniería forestal (I. F) 70%, ingeniería civil (I.C) 46%, ingeniería en gestión empresarial (I. GEM) 39%, ingeniería petrolera (I. P) e ingeniería en industrias alimentarias (I. IA) coinciden con el 38%, ingeniería electromecánica (I. EM) 31%, Ingeniería Industrial e ingeniería en sistemas computacionales (I. SC) con el 29%, ingeniería en geociencias (I. GEO) e ingeniería electrónica (I. E) el 25%. El porcentaje obtenido en la respuesta estar *totalmente en desacuerdo* son: ingeniería en gestión empresarial (I. GEM) con el 16 %, ingeniería en electrónica (I. E) el 13%, ingeniería industrial 11%, ingeniería en sistemas computacionales (I. SC) 9%, ingeniería petrolera (I. P) 8%, ingeniería civil (I. C) e ingeniería electromecánica (I. EM) 4%.



Fuente: Propia de los autores

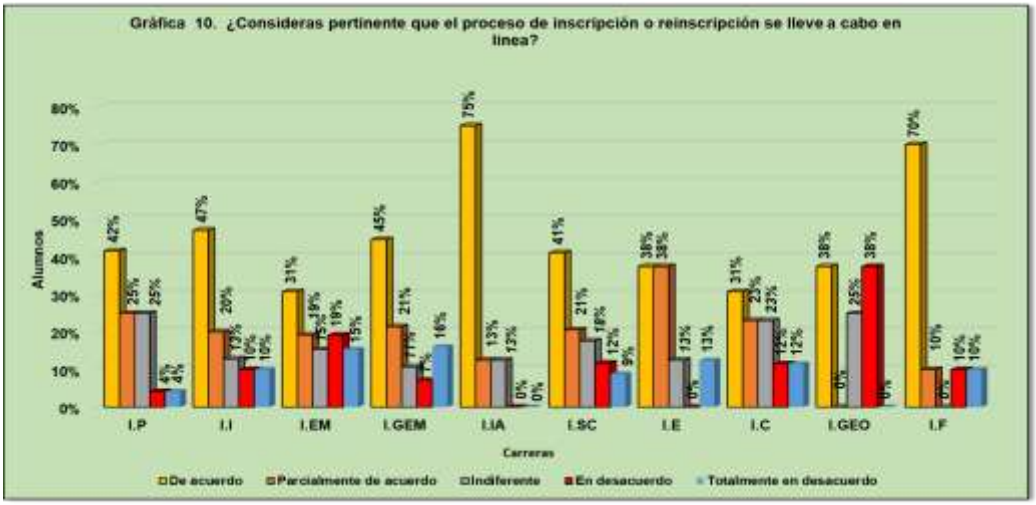
Interpretación gráfica 8. En la pregunta ¿La atención al servicio que se brinda en el proceso de inscripción o reinscripción es deficiente? Los resultados obtenidos con la opción de respuesta *de acuerdo* indica lo siguiente: Ingeniería en industrias alimentarias (I. IA) e ingeniería en electrónica (I. E) tienen el 88%, ingeniería civil (I. C) 69%, ingeniería petrolera (I. P) 67%, ingeniería industrial (I. I) 60%, ingeniería en gestión empresarial (I. GEM), ingeniería en geociencia (I. GEO) e ingeniería forestal (I. F) 50%, ingeniería electromecánica (I. EM) 46%, ingeniería en sistemas computacionales (I. SC) con un 35%. Mientras que la opción *totalmente en desacuerdo* se encuentra en todas las ingenierías en un mínimo del 0% y como máximo al 13%. Concluyendo así en definitiva, que la atención al servicio que se brinda no es eficiente.

 ISSN: 2007 8102



Fuente: Propia de los autores

Interpretación gráfica 9. Cuando se plantea: ¿Consideras que el realizar el proceso de inscripción o reinscripción fuera de tiempo influye en que este sea más complejo? Los porcentajes obtenidos a favor de la respuesta *de acuerdo* son los siguientes: ingeniería forestal (I. F) 60% ingeniería electromecánica (I. EM) e ingeniería en electrónica (I. E) 50%, ingeniería en sistema(I.SC) seguido con el 41%, ingeniería en petrolera (I.P) 38%, ingeniería en gestión empresarial (I. GEM) 27%, ingeniería en geociencias (I. GEO) 25%, ingeniería industrial (I. I) 24%, ingeniería civil (I.C) 19% e ingeniería en industrias alimentarias (I. IA) 13%. Por otra parte, por debajo del 15% de todas las carreras contestaron estar en *totalmente en desacuerdo* que les sea complejo realizar el proceso de inscripción o reinscripción fuera de tiempo. Con los datos obtenidos, la mayor predominancia indica que el realizar el proceso fuera de tiempo lo hace más complejo.



Fuente: Propia de los autores

Interpretación gráfica 10. En el cuestionamiento planteado, se observa que existe mayor inclinación hacia la opción de respuesta *de acuerdo* con los siguientes porcentajes, ingeniería en industrias alimentarias (I. IA) 75%, ingeniería forestal (I. F) 70%, ingeniería industrial (I. I) 47%, ingeniería en gestión empresarial (I. GEM) 45%, ingeniería petrolera (I. P) 42%, ingeniería en sistemas computacionales (I. SC) con el 41%, ingeniería en geociencias (I. GEO) e ingeniería en electrónica (I. E) con 38% ambas. Por otra parte, las que están *totalmente en desacuerdo* son: ingeniería en gestión empresarial (I.GEM)16%, ingeniería electromecánica (I. EM) 15%, ingeniería electrónica (I. E) 13%, ingeniería civil (I. C) 12%, ingeniería industrial (I. I) e ingeniería forestal (I. F) 10%, ingeniería en sistemas computaciones (I. SC) 9% e ingeniería petrolera 4%. De manera general y de acuerdo con los porcentajes obtenidos, todas consideran una buena opción que el proceso de inscripción o reinscripción se realice en línea.

 ISSN: 2007 8102

Conclusiones

Los resultados obtenidos en la investigación indican que el tiempo destinado a realizar el proceso de inscripción o reinscripción de los alumnos del Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas es un factor importante al realizar este trámite, tres de las carreras con el 63% están de acuerdo, respecto a que el tiempo implicado en el proceso no es el adecuado, mientras las 7 ingenierías restantes consideran entre el 0% y como máximo el 24% están totalmente en desacuerdo, con esta afirmación.

De igual manera, otro de los ítems más sobresalientes que se planteó indicaba *¿Consideras pertinente realizar el proceso de inscripción o reinscripción en línea?* En donde el 60% del 100% de todas las carreras contestaron estar de *acuerdo* en que se debería realizar el proceso de inscripción o reinscripción en línea y de esta manera ahorrar tiempo al moverse a las instalaciones de la institución y en la permanencia, evitando así las aglomeraciones, esto lleva al sustento del siguiente cuestionamiento donde se planteó *¿Consideras que los gastos adicionales que se generan en el tiempo que tardas realizando el proceso de inscripción o reinscripción (transporte y alimentos) repercuten en tu economía?* A lo cual la mayoría indica en la opción más elevada estar *de acuerdo* y que efectivamente existe un gasto adicional sustentado de la siguiente manera: ingeniería forestal (I.F) con 70%, ingeniería civil (I.C) 46%, ingeniería en gestión empresarial (I.GEM) 39%, ingeniería petrolera (I.P) e ingeniería en industrias alimentarias 38%, ingeniería electromecánica 31%, Ingeniería Industrial 29% e ingeniería en sistemas computacionales (I.SC), ingeniería en geociencias (I.GEO) e ingeniería electrónica(I.E) 25%, de acuerdo con estos datos se comprueba que si existe un gasto más en su economía.

En todo proceso se debe considerar que los pasos que se proporcionen para el proceso de inscripción y reinscripción sean explícitos, sencillos y claros, ya que esto podría permitir el ahorro de tiempo, el cual es un recurso invaluable, así mismo también es importante que el personal que presta este servicio este debidamente capacitado.

La investigación también permite comprobar que la satisfacción del alumno es un factor importante en el proceso de inscripción o reinscripción al iniciar y concluir su trámite, debe poseer un nivel de agrado, pero no de desagrado. Ya que un proceso complejo puede permitir al aspirante o al alumno estar en la fila durante muchas horas para que puedan concluir su proceso, esto se puede volver molesto, incómodo, y puede llevar a perjudicar en vez de beneficiar a la institución, puesto que el aspirante o alumno puede dar malas referencias del instituto, trayendo como consecuencia menor captación en la matrícula institucional, considerando que las malas referencias son las que se pueden difundir con mayor rapidez y llegar a un amplio mercado potencial de futuros aspirantes.

Al ser los alumnos los clientes o usuarios, se debe considerar que la atención brindada en el proceso por parte del personal de la institución que implica él, o los departamentos que son parte de este proceso de inscripción o reinscripción, deben estar bien planeadas para que el tiempo que se tarden en brindar la atención sea lo más eficiente, como lo afirma las respuestas obtenidas en el ítem: *¿La atención en el servicio que se brinda en el proceso de inscripción o reinscripción es deficiente?* Donde la respuesta en estar *de acuerdo* en que existe deficiencia en el servicio oscilan entre el 35% y 88%, mientras que entre un mínimo de 4% y como máximo 38% está en *desacuerdo* en que existe deficiencia en el servicio, y entre un 0% y 13% indican que están *totalmente en desacuerdo* en que no hay deficiencia en el proceso, determinando así que los porcentajes más elevados son a favor de que efectivamente si existe deficiencia en el servicio, esto permite comprobar la hipótesis de que “a menor eficiencia (tiempo) en el proceso de inscripción o reinscripción, menor satisfacción en el servicio que reciben los alumnos del ITSCH”, por lo que en definitiva un servicio de calidad lleva a la satisfacción del cliente, por lo que hay que considerar que un cliente satisfecho a menudo va a recomendar a la institución.

En definitiva, considerando todos y cada uno de los resultados obtenidos, se considera que un proceso de inscripción o reinscripción en línea puede agilizar los trámites de manera satisfactoria.

Referencias

[1] C. Clemenza, J. Ferrer, C. Pelekais. "*La calidad como elemento competitivo en las Universidades".* Revista de Artes y Humanidades UNICA, vol. 6. Núm. 14. Pp. 55-83. Septiembre-diciembre/2005. Universidad Católica Cecilio Acosta Maracaibo, Venezuela. https://www.redalyc.org/pdf/1701/170118766004.pdf

[2] Normas ISO. Asesoría y formación en sistemas de gestión. (Sf). https://www.normas-iso.com/

[3] R. M. Patrón Cortés. *"Calidad y satisfacción de los servicios escolares de una institución de educación superior mexicana: la visión de los estudiantes"*. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo. ISSN 2007-7467. Volumen 12. Número 22. Enero-junio 2021. Universidad Autónoma de Campeche, México. https://www.researchgate.net/publication/349420399_Calidad_y_satisfaccion_de_los_servicios_escolares_de_una_institucion_de_educacion_superior_mexicana_la_vision_de_los_estudiantes

[4] A. Díaz Mata. *Estadística Aplicada a la Administración*. Primera edición. Ed. Mc Graw Hill. 2013

[5] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, P. Baptista Lucio, P. *Metodología de la investigación.* 4a. ed. México D. F. McGraw-Hill. 2006. http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20Investigaci%C3%B3n%20SAMPIERI.pdf

[6] J. F. Martínez Valverde. "*Trabajo de campo en la investigación comercial".* 1a ed. p.1 – 46. 2020. España, Paraninfo. https://www.google.com.mx/books/edition/Trabajo_de_campo_en_la_investigaci%C3%B3n_co/rR_gDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=Trab

[7] J. V. Tuapanta Dacto, M. A. Duque Vaca, A. P. Mena Reinoso. "*Alfa de Cronbach para validar un cuestionario de uso de tic en docentes universitarios"*. Revista mktDescubre – ESPOCH FADE. No. 10. Pp. 37-48. diciembre 2017. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. http://revistas.espoch.edu.ec/index.php/mktdescubre/article/view/141/143

[8] *IBM SPSS Statistics. Statistical Package for the Social Sciences (V.29). (2023)* https://www.ibm.com/products/spss-statistics

[9] D. Frías Navarro (2022). "*Apuntes de estimación de la fiabilidad de consistencia interna de los ítems de un instrumento de medida"*. 22/02/2023. Universidad de Valencia. España. https://www.uv.es/friasnav/AlfaCronbach.pdf

ISSN: 2007 8102

Modelo de análisis para diagnóstico hacia la prevención de deserción de alumnos tutorados en el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla

"Marcela Rodríguez López", "Ivonne Echevarria Chan", "Erika Concepción Calderón García", "Eliezer Ríos Caballero ", "Avicena Rangel Domínguez"

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

Las tutorías en el nivel superior son un proceso de acompañamiento para guiar a los estudiantes desde su ingreso a la institución y hasta que concluyen su programa educativo. En el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla (ITTla) se presenta una tasa de deserción que oscila entre el 28% y el 33% en el primer semestre. Actualmente no se cuenta con una herramienta que permita identificar a tiempo estos casos de deserción.

Con el objetivo de abordar esta situación, se propone diseñar un modelo de predicción que utilice métodos de recolección de datos basados en factores económicos, académicos y psicológicos. Este modelo permitirá identificar a los posibles desertores y canalizarlos a las áreas adecuadas que les proporcionen apoyo para evitar que abandonen sus estudios. Para lograr lo anterior, se aplicará la minería de datos, que es un proceso de extracción de información y patrones de comportamiento, con el fin de determinar el factor predominante que provoca el aumento de la deserción escolar en el ITTla.

***Palabras clave**: Tutorías, Deserción escolar, Educación superior, Minería de datos.*

Abstract

Tutoring at the higher education level is a support process aimed at guiding students from their entry into the institution until they achieve their professional goals. However, at the Instituto Tecnológico de Tlanepantla (ITTla), it has been a problem, with dropout rates ranging between 28% and 33% in the first semester. Currently, there is no tool to timely identify these dropout cases.

In order to address this situation, it is proposed to design a predictive model that utilizes data collection methods based on economic, academic, and psychological factors. This model will allow the identification of potential dropouts and appropriate intervention before they leave the institution. To achieve this, data mining will be applied, a process of extracting information and behavior patterns, in order to determine the predominant factor contributing to the increase in dropout rates at ITTla.

***Key words**: Tutorials, School dropout, Higher education, Data mining.*

Introducción

Entiéndase por deserción escolar aquel acto que conduce a desentenderse de los estudios o incorporación a otra institución y por abandono escolar cuando la prioridad no es estudiar si no atender obligaciones que se suplen con diversas necesidades del ser humano. En otras palabras, el abandono escolar está determinado por cifras estadísticas relacionadas al número de alumnos que dejan la escuela de un ciclo escolar a otro [1].

El Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica (SNEST) en el Manual del Tutor, establece que la tutoría es una acción compleja que permite la atención cercana y personal del estudiante, ampliando el campo de acción del docente con el fin de mejorar la calidad y eficiencia terminal del proceso educativo, mejorar el desempeño académico de los estudiantes y consecuentemente, optimar los resultados de los programas educativos.

En el manual del tutor del SNIT (Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos), en el cual se establece la manera de orientar a los tutores, para la planeación, desarrollo, ejecución y seguimiento de la acción tutorial apoyando al estudiante en los diferentes ámbitos de su vida profesional, académica y personal.

El Lineamiento de Operación de Tutorías es un documento que establece las pautas y directrices para la implementación efectiva de programas de tutoría en instituciones educativas. Su objetivo es promover el apoyo y

la orientación a los estudiantes, facilitando su desarrollo académico, personal y profesional, así como también disminuir índices de reprobación y deserción.

La deserción escolar es un grave problema al que tienen que hacer frente las Instituciones Públicas de Educación Superior, lograr que todos los alumnos concluyan sus estudios es una tarea compleja [2].

La aplicación de la minería de datos para generar un análisis de los índices de deserción escolar a nivel superior tiene varios beneficios y aplicaciones prácticas; puede ayudar a identificar los factores de riesgo más relevantes que contribuyen a la deserción escolar. Al analizar grandes conjuntos de datos, se pueden descubrir patrones y relaciones entre variables de rendimiento académico vs situación económica y personal. Estos factores identificados pueden ser utilizados para predecir y prevenir la deserción escolar.

La minería de datos utiliza diversas metodologías y técnicas para extraer información valiosa y conocimiento de los conjuntos de datos, por ello es de suma importancia para generar un modelo predictivo de los índices de deserción escolar a nivel superior, sin embargo es importante tener en cuenta que no existe una metodología única que sea aplicable a todos los casos y en caso de ser necesario se pueden adaptar y combinar diferentes enfoques de acuerdo a lo que requieran las necesidades y características de cada uno de los proyectos.

El análisis de los índices de deserción escolar a nivel superior mediante minería de datos ofrece una metodología sólida para comprender y abordar este desafío educativo. Al identificar patrones, factores de riesgo y grupos de estudiantes en riesgo, las instituciones educativas pueden implementar estrategias más efectivas de retención estudiantil, promoviendo la finalización exitosa de los estudios superiores.

Metodología

La investigación se dirigió a los estudiantes de primer semestre de los programas educativos de Ingeniería en Tecnologías dela información y Comunicaciones e Ingeniería en Gestión Empresarial del ITTla.

El número total de estudiantes de primer semestre es de 350, sin embargo, se delimitó la muestra a 200 alumnos lo que constituye el tamaño de la población como objeto de estudio.

Este estudio tiene un enfoque descriptivo experimental, ya que se emplearon técnicas mixtas que combinaron métodos cualitativos y cuantitativos, que permitieron obtener datos estadísticos de la población estudiantil para así poder predecir e identificar las relaciones que existen entre los factores de desempeño y la deserción escolar; la recopilación de la información se llevó a cabo mediante encuestas con expertos de las áreas involucradas, alumnos tutorados y docentes tutores de la institución.

El estudio se llevó a cabo en tres fases:
En la primera fase se realizó una investigación documental de los factores que causan la deserción escolar en los alumnos tutorados, mismos que pudieron clasificarse mediante la aplicación de una encuesta y se seleccionó la metodología de minería de datos que permitió generar un modelo de predicción de datos sobre la deserción del alumno, así como las métricas que validaron dicho modelo.

En la segunda fase de este estudio se realizó el modelo predictivo con base a los factores identificados en la fase anterior, aplicando la metodología de minería de datos seleccionada para presentarlo a través de un semáforo como herramienta por medio de la cual los alumnos-tutorados pudieron acceder y responder los test donde se presentaron las preguntas clasificadas por factores. El modelo realizó la clasificación con el objetivo de activar un semáforo de alerta indicando la situación que presentó dicho alumno.

En la fase tres de este estudio se realizaron las pruebas necesarias con los grupos seleccionados como prueba piloto con el fin de validar los resultados y contrastar la hipótesis planteada.

Resultados y discusión

Primeros resultados

El análisis de los índices de deserción escolar a nivel superior mediante minería de datos ofrece una metodología sólida para comprender y abordar este desafío educativo. Al identificar patrones, factores de riesgo y grupos de estudiantes en riesgo, las instituciones educativas pueden implementar estrategias más efectivas de retención

estudiantil, promoviendo la finalización exitosa de los estudios superiores. La deserción escolar en el nivel superior es un fenómeno complejo que puede estar influenciado por una serie de factores. A continuación, se presenta una investigación documental sobre algunos de los factores más comunes que se han identificado como causas de la deserción escolar a nivel superior:

1. **Factores económicos:** Las dificultades económicas son uno de los principales factores que contribuyen a la deserción escolar. Los altos costos de la matrícula, los gastos relacionados con los materiales de estudio, el transporte y el alojamiento, pueden ser barreras significativas para que los estudiantes abandonen sus estudios.

2. **Falta de apoyo financiero:** La falta de becas, préstamos estudiantiles y otros tipos de apoyo financiero pueden incrementar la probabilidad de que los estudiantes deserten en el nivel superior. Aquellos que no tienen los recursos necesarios para financiar sus estudios a menudo se ven obligados a buscar empleo a tiempo completo para satisfacer sus necesidades económicas.

3. **Problemas académicos:** Las dificultades académicas, como el bajo rendimiento, la falta de preparación para el nivel de exigencia, la falta de motivación y la falta de apoyo académico, pueden llevar a los estudiantes a abandonar sus estudios superiores. La sensación de frustración y la percepción de que no están progresando pueden ser factores determinantes en la decisión de abandonar.

4. **Factores personales y familiares:** Los problemas personales y familiares como: la falta de apoyo de los padres o tutores, la enfermedad, el embarazo y otras responsabilidades, conllevan a la necesidad de tener que trabajar para contribuir al sustento familiar y esto interfiere con la capacidad de un estudiante para continuar sus estudios.

5. **Desajuste entre las expectativas y la realidad:** Algunos estudiantes pueden abandonar la educación superior debido a la falta de satisfacción con la carrera elegida o con las oportunidades profesionales percibidas. Si los estudiantes sienten que sus expectativas no se están cumpliendo o que la educación superior no los prepara adecuadamente para el mundo laboral, pueden optar por abandonar sus estudios.

6. **Falta de orientación y apoyo:** La falta de orientación académica y profesional adecuada puede dificultar que los estudiantes tomen decisiones informadas sobre su trayectoria educativa y profesional. La falta de apoyo emocional y social es otro factor que contribuye a la deserción escolar, ya que los estudiantes pueden sentirse aislados o desmotivados sin una red de apoyo sólida.

Es importante destacar que estos factores pueden interactuar entre sí y que las circunstancias individuales de cada estudiante pueden variar considerablemente. Por lo tanto, abordar la deserción escolar a nivel superior requiere de enfoques integrales que consideren la diversidad de situaciones y necesidades de los estudiantes.

Metodología de Minería de Datos:

El análisis de los índices de deserción escolar se basará en una metodología de minería de datos, que comprende las siguientes etapas:

1. Recopilación de datos: Se recopilaron datos relevantes sobre los estudiantes, incluyendo información psicológica, académica, socioeconómica y cualquier otro dato disponible que pueda estar relacionado con la deserción.

2. Preparación de datos: Los datos recopilados se procesaron y prepararon para el análisis. Esta parte implica la limpieza de datos [3], la codificación de variables categóricas y la normalización de los datos.

3. Análisis exploratorio: Se llevó a cabo un análisis exploratorio de los datos para identificar patrones y tendencias preliminares. Se incluyeron visualizaciones, estadísticas descriptivas y la identificación de correlaciones iniciales entre variables.

4. Selección de características: Se utilizaron técnicas de selección de características para identificar las variables más relevantes que contribuyen o están con la deserción escolar. Esto ayuda a reducir la dimensionalidad de los datos y centrarse en las características más importantes.

5. Modelado y predicción: Se aplicaron técnicas de modelado y predicción, como algoritmos de aprendizaje automático (machine learning), para construir un modelo predictivo de deserción escolar. Esto implicó dividir los datos en conjuntos de entrenamiento y prueba, entrenar el modelo con los datos de entrenamiento y evaluar su rendimiento utilizando los datos de prueba.

6. Interpretación de resultados: Se analizaron los resultados del modelo y se interpretarán para identificar las características más influyentes en la deserción escolar. Esto puede ayudar a comprender las razones subyacentes de la deserción y guiar la implementación de medidas preventivas y de intervención.

Derivado de la información anterior se pudo crear una estructura básica para desarrollar un modelo de predicción de datos. Es importante considerar que este es solo una forma, y que dependerá de los datos y requisitos específicos que se puedan obtener como resultado de la recopilación de la información, por lo tanto, puede requerir ajustes y mejoras adicionales con forme el proyecto avance.

RECOPILACIÓN DE DATOS

El proceso de recopilación de datos tiene como objetivo obtener información detallada sobre los estudiantes, abordando aspectos socioeconómicos, académicos y psicológicos que podrían influir en su decisión de abandonar sus estudios.

FACTORES SOCIOECONÓMICOS

La finalidad de aplicar el cuestionario sobre factores económicos (ver tabla 1) que influyen en la deserción escolar a nivel superior es descubrir y comprender las circunstancias y condiciones económicas que impactan en la decisión de los estudiantes de abandonar sus estudios en instituciones de educación superior. Mediante este cuestionario, se busca recolectar información relevante y detallada acerca de los obstáculos económicos que enfrentan los estudiantes durante su trayecto académico, con el propósito de analizar los siguientes aspectos:

- Evaluar el impacto de la situación financiera de los estudiantes; esto implica considerar gastos asociados a matrículas, colegiaturas, transporte, material de estudio, alojamiento y alimentación.
- Identificar los obstáculos para la permanencia de los estudiantes, tales como dificultades para acceder a becas o créditos educativos, ingresos insuficientes para cubrir los gastos académicos o la necesidad de trabajar tiempo completo, lo cual afecta su desempeño académico.
- Reconocer posibles desigualdades en el acceso a la educación superior.

		EVALUACIÓN		
		SI	NO	A VECES
1	¿Tienes un trabajo a tiempo parcial o completo mientras estudias?			
2	¿Recibes algún tipo de ayuda económica o beca para tus estudios?			
3	¿Recibes apoyo financiero de tus padres o familiares?			
4	¿Tienes ingresos adicionales provenientes de rentas o inversiones?			
5	¿Tienes un seguro de salud u otros seguros?			
6	¿Crees que la situación económica de tu familia afecta tu acceso a oportunidades extracurriculares (viajes, eventos, conferencias, etc.) relacionadas con tus estudios?			

TABLA 1. Cuestionario de Factores socioeconómicos.

FACTORES ACADÉMICOS

El objetivo de la aplicación de cuestionarios académicos (ver tabla 2) es recopilar información y datos relevantes que permitan obtener información con respecto al rendimiento académico considerando aspectos como:

- Identificación de preferencias y estilos de aprendizaje
- Estilos de aprendizaje (ver tabla 3)
- El desempeño de los estudiantes en sus asignaturas y cómo se relaciona con la probabilidad de abandonar la carrera,
- Evaluar la disponibilidad y eficacia de programas de tutoría, asesoría académica,
- Evaluar diseño del plan de estudios, las exigencias académicas y la flexibilidad en las opciones de cursos
- Investigar entorno institucional, incluyendo factores como la calidad de la enseñanza, el sentido de pertenencia y la satisfacción estudiantil.

		EVALUACIÓN			
		MUCHO	ALGO	POCO	NADA
1	¿Qué tanto influye el ambiente familiar en el rendimiento académico?				
2	¿Qué tanto influye el ambiente familiar en el rendimiento académico?				
3	¿Cuál es la influencia del uso de dispositivos electrónicos en el desempeño académico?				
4	¿En qué medida afecta el nivel de estrés al rendimiento académico?				
5	¿Qué tanto influye la asistencia a clases en el aprendizaje?				
6	¿Cuál es la importancia de recibir retroalimentación constante por parte de los profesores?				

Tabla 2. Cuestionario de Factores Académicos

		EVALUACIÓN				
		1	2	3	4	5
1	Me ayuda trazar o escribir a mano las palabras cuando tengo que aprenderlas de memoria					
2	Recuerdo mejor un tema al escuchar una conferencia en vez de leer un libro de texto					
3	Prefiero las clases que requieren una prueba sobre lo que se lee en el libro de texto					
4	Me gusta comer bocados y mascar chicle, cuando estudio					
5	Al prestar atención a una conferencia, puedo recordar las ideas principales sin anotarlas					

TABLA 3. Cuestionario: Estilos de Aprendizaje (auditivo, visual, kinestésico)

FACTORES PSICOLÓGICOS

Enfrentar amenazas como el Covid-19, somete a las personas a altos niveles de presión psicológica que, de acuerdo a experiencias en pandemias anteriores, se traduce en sentimientos de miedo y pánico, repercutiendo en impactos psicológicos importantes [4] por lo tanto el objetivo de la aplicación delcuestionario de factores psicológicos (ver tabla 4) que contribuyen a la deserción escolar, puede ayudar a detectar problemas emocionales o factores personales que puedan poner en riesgo el éxito académico de los estudiantes.

Algunos de los factores psicológicos que se van a evaluar mediante el cuestionario incluyen:

- Motivación académica: Permite evaluar el nivel de motivación que tienen los estudiantes para continuar con sus estudios y alcanzar sus metas educativas y profesionales.
- Autoeficacia y confianza en uno mismo: Explorar la percepción que los estudiantes tienen sobre su capacidad para enfrentar y superar los desafíos académicos.
- Estrés y ansiedad: Identificar el nivel de estrés y ansiedad que los estudiantes experimentan en su vida académica y cómo esto puede influir en su decisión de abandonar la escuela.
- Apoyo social: Analizar la red de apoyo social de los estudiantes, incluyendo amigos, familiares y profesores, y cómo esto puede afectar su adaptación y permanencia en la institución.
- Expectativas y metas personales: Comprende las expectativas y metas que los estudiantes tienen para su educación y cómo estas pueden afectar de manera negativa su compromiso con los estudios.

		EVALUACIÓN				
		0	1	2	3	4
1	¿Te sientes triste o desesperanzado últimamente?					
2	¿Sientes que la vida no tiene sentido?					
3	¿Experimenta sentimientos de culpa?					
4	¿Tienes dificultades para controlar tus pensamientos o evitar pensamientos negativos y catastróficos?					
5	¿Experimentas ataques repentinos de miedo o pánico, como palpitaciones, dificultad para respirar o mareos intensos?					
6	¿Tiene dificultad para dormir todas las noches?					
7	¿Te sientes constantemente preocupado o nervioso por situaciones que no están bajo tu control?					

Tabla 4. Cuestionario de Factores Psicológicos

Segundos resultados

En la segunda fase de este estudio se llevó a cabo la evaluación de los diferentes modelos de predicción con base a los factores identificados en la fase anterior, aplicando Weka que es un software gratuito y de código abierto desarrollado en la Universidad de Waikato, Nueva Zelanda. El nombre "Weka" proviene de las iniciales de "Waikato Environment for Knowledge Analysis". Es una herramienta ampliamente utilizada en el ámbito de la minería de datos. También se emplearon árboles de decisión de clasificación, que son un tipo de modelo predictivo y estructura de datos que se utiliza para tomar decisiones en función de múltiples condiciones. Son empleados para resolver problemas de clasificación como para problemas de regresión. Un árbol de decisión toma características (variables) como entrada y a través de una serie de reglas de decisión jerárquicas, llega a una conclusión o predicción.

Weka

Weka proporciona una amplia gama de algoritmos de aprendizaje automático supervisado [5] es un subconjunto de la inteligencia artificial, afirman que es aprendizaje y no otra cosa, así como herramientas para el preprocesamiento de datos, evaluación de modelos y visualización.

Pantalla principal de Weka: Al abrir Weka, generalmente se vera una pantalla principal (ver figura 1.) que ofrece varias opciones, como "Explorer," "Experimenter," "Knowledge Flow," etc. Esta es la interfaz principal desde donde puedes acceder a diferentes herramientas de Weka.

 ISSN: 2007 8102

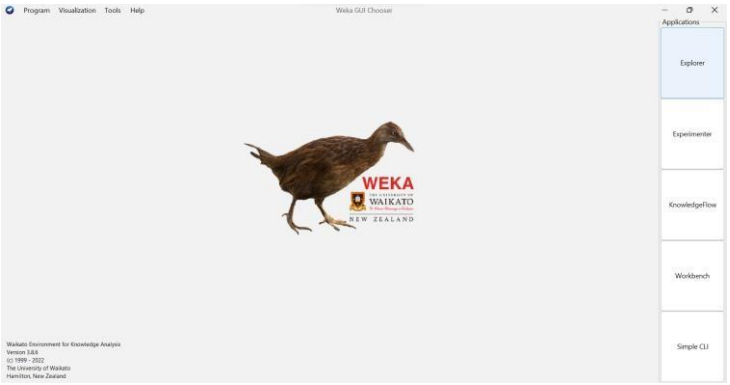


Figura 1. Pantalla Principal

Explorer: es la interfaz gráfica principal de Weka (ver Figura 2.) y una de las más utilizadas. Proporciona una interfaz fácil de usar para realizar tareas de minería de datos, incluyendo visualización, preprocesamiento, clasificación, agrupamiento y más. Es ideal para la exploración y análisis de datos, ya que ofrece una variedad de herramientas para visualizar los datos y aplicar diversos algoritmos de aprendizaje automático. Puede cargar archivos en formato ARFF, CSV, texto plano y otros formatos compatibles con Weka. También puede conectarse a bases de datos SQL para cargar datos desde tablas.

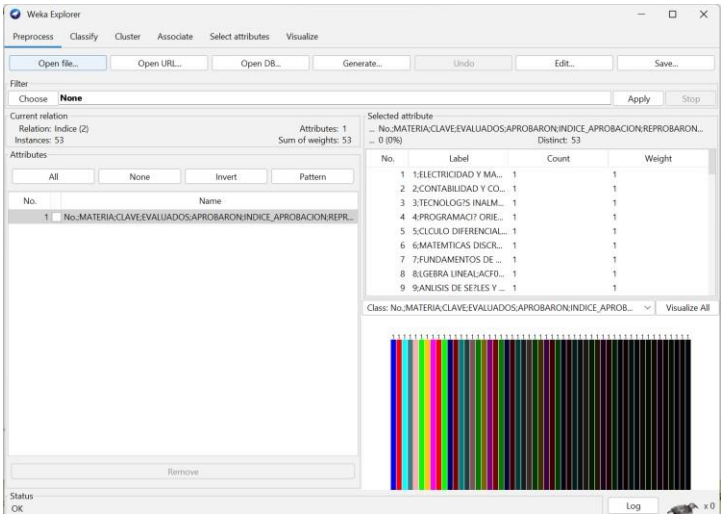


Figura 2. Ventana de Explorer

Experimenter: es una interfaz (ver Figura 3) que permite realizar experimentos y evaluar el rendimiento de diferentes algoritmos de aprendizaje automático sobre conjuntos de datos. Esta herramienta es útil para realizar comparaciones y análisis detallados de varios modelos de aprendizaje automático en diferentes conjuntos de datos. Generalmente utiliza archivos ARFF, CSV y texto plano para realizar experimentos con conjuntos de datos.

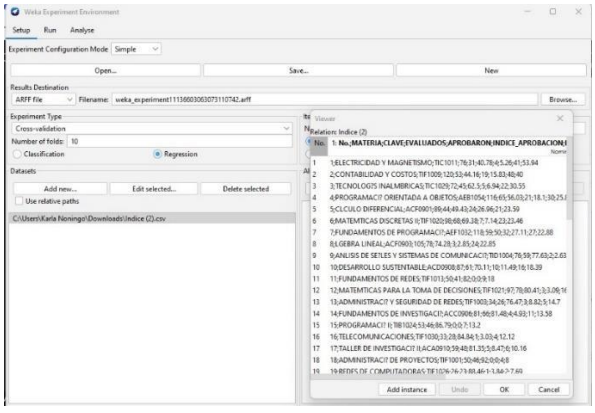


Figura 3. Interfaz de Experimenter

KnowledgeFlow: Es una interfaz gráfica (ver figura 4.) que permite construir flujos de trabajo de minería de datos utilizando componentes visuales interconectados. Esta herramienta es útil para diseñar y ejecutar flujos de trabajo complejos y repetibles de minería de datos. Admite principalmente archivos ARFF y otros formatos compatibles con Weka.

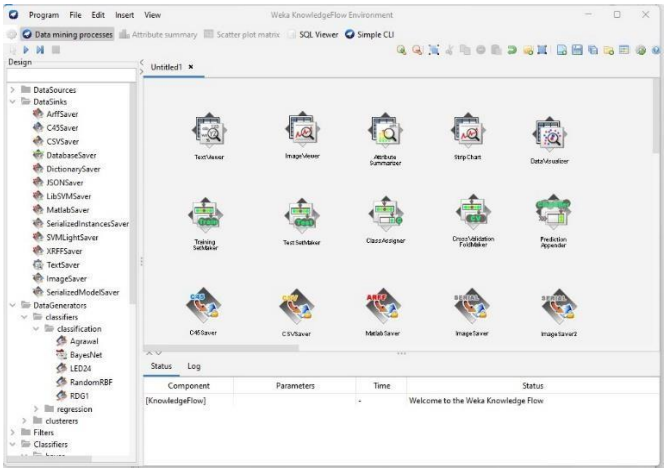


Figura 4. Interfaz gráfica KnowledgeFlow

Workbench: Es una interfaz unificada (ver figura 5) que permite acceder a todas las herramientas principales de Weka en una sola interfaz. Ofrece una forma cómoda de acceder y utilizar las diversas herramientas de Weka en un único entorno. Al igual que Explorer, Experimenter y KnowledgeFlow, la Workbench puede cargar archivos en formato ARFF, CSV, texto plano y otros formatos compatibles con Weka.

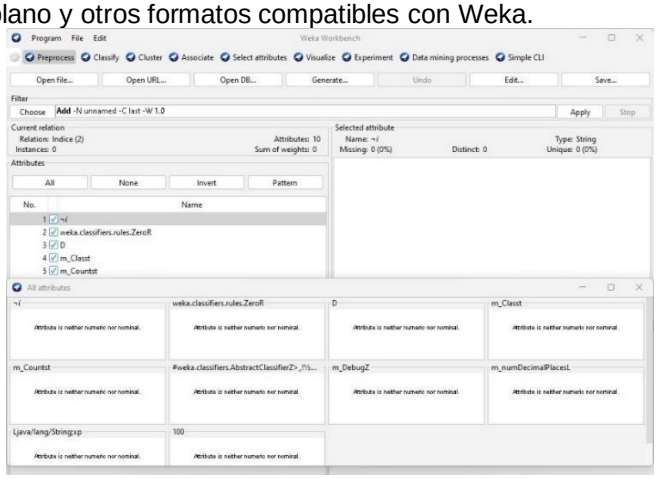


Figura 5 .Interfaz gráfica unificada Workbench

Simple CLI: (Command Line Interface) es una interfaz de línea de comandos que permite ejecutar tareas de Weka utilizando comandos desde una terminal o símbolo del sistema. Es útil para automatizar tareas y realizar operaciones en lotes. También admite archivos ARFF, CSV, texto plano y otros formatos compatibles con Weka.

Arboles de decisión en Python

Utilizando técnicas de minería de datos, como los árboles de decisión, es posible analizar datos históricos y patrones para predecir qué estudiantes pueden estar en riesgo de desertar, lo que permite tomar medidas preventivas y de apoyo, a tiempo.

Un árbol de decisión se representa gráficamente como una estructura jerárquica en forma de árbol. Cada nodo interno del árbol representa una pregunta o prueba sobre una característica específica y cada rama representa una posible respuesta a esa pregunta. Los nodos hoja del árbol representan las etiquetas de clasificación, es decir, las clases finales a las que pertenecerán los datos después de pasar por las pruebas en los nodos internos. (ver figura 6)

 ISSN: 2007 8102

Para generar un árbol de decisión en Python para el tema de deserción escolar, se requiere de instalar una biblioteca de aprendizaje automático como Scikit-learn. (ver figura 6)

```
pip install scikit-learn
```

Figura 6. Instalación de Scikit-learn

Importar las bibliotecas necesarias y preparar los datos (ver figura 7).

```
import pandas as pd
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier
from sklearn.metrics import accuracy_score, confusion_matrix, classificatior

# Datos de ejemplo ficticios
data = {
    'Dificultades Académicas': [True, False, True, False, True, False, False
    'Recursos de Apoyo': [True, True, False, False, False, True, False, True
    'Deserción Escolar': [1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0]
}

df = pd.DataFrame(data)
X = df.drop('Deserción Escolar', axis=1)
y = df['Deserción Escolar']

# Dividir los datos en conjuntos de entrenamiento y prueba
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, ran
```

Figura 7. Importar las bibliotecas

Creación del modelo de árbol de decisión, entrenarlo y realizar predicciones (ver figura 8)

```
# Crear el modelo del árbol de decisión
clf = DecisionTreeClassifier()

# Entrenar el modelo con los datos de entrenamiento
clf.fit(X_train, y_train)

# Realizar predicciones en el conjunto de prueba
y_pred = clf.predict(X_test)
```

Figura 8. Creación del modelo de arboles

Trabajo a futuro

Métricas de evaluación del Modelo de Predicciones.

La matriz de confusión [6] es una representación gráfica de los errores que comete un modelo ya entrenado, se utilizará para evaluar el rendimiento del modelo de clasificación al comparar sus predicciones con los valores reales de un conjunto de datos de prueba. Esta matriz proporcionará una representación visual de la calidad de las predicciones del modelo y permitirá identificar los aciertos y errores que realiza en sus clasificaciones.

De tal manera que dicha matriz nos permitirá evaluar a través de la herramienta de Weka y de los árboles de decisión quien nos proporcionará los mejores resultados de predicción.

Conclusiones

Al brindar apoyo y recursos adecuados, se ayudara a los estudiantes de diversos orígenes socioeconómicos a permanecer en la universidad y completar sus estudios. Esto contribuye a reducir la brecha de desigualdad y ofrece oportunidades educativas a aquellos que de otro modo podrían abandonar por razones financieras u otros desafíos.

Proporcionar tutorías, asesoramiento académico y recursos de apoyo, se pueden abordar las dificultades que enfrentan los estudiantes y ayudarles a mejorar sus resultados. Esto no solo aumenta la retención, sino que también eleva la calidad de la educación superior al promover un mejor desempeño académico.

Al ofrecer intervenciones tempranas, seguimiento y apoyo personalizado, se puede fomentar que más estudiantes completen sus programas de estudio y obtengan sus títulos. Un mayor índice de egreso no solo beneficia a los estudiantes, sino que también tiene un impacto positivo en la sociedad al proporcionar una fuerza laboral más calificada y preparada. Los egresados tienden a tener mejores oportunidades laborales y salarios más altos, lo que contribuye al crecimiento económico y a la mejora de la calidad de vida.

En resumen, el proyecto para reducir los índices de deserción en la educación superior en específico dentro del Instituto Tecnológico de Tlalnepantla puede tener un impacto positivo en el acceso y la equidad educativa, mejorar el rendimiento académico, aumentar los índices de egreso y generar beneficios económicos y sociales. Al brindar apoyo y recursos adecuados a los estudiantes, se promueve un entorno propicio para el éxito académico y se fortalece el sistema educativo en su conjunto.

Referencias

[1] P. y. E. E. Direccion General de Planeación, «Secretaría de Educación Pública,» 2019. [En línea]. Available: https://www.planeacion.sep.gob.mx/Doc/estadistica_e_indicadores/principales_cifras/principales_cifras_2018_2019_bolsillo.pdf. [Último acceso: Viernes Julio 2023].

[2] F. J. López Pedraza, M. d. C. Macías González y E. R. Sandoval García, «Minería de datos: Identificando causas de deserción en las instituciones públicas de educación superior de México.,» *Revista de Tecnología e Innovación en Educación Superior,* p. 2, 2019.

[3] J. A. Camargo García, Modelo para la predicción de la deserción de estudiantes de pregrado, basado en técnicas de minería de datos, Barranquilla, 2020.

[4] R. E. M. A. C. S. K. S. S. E. S. D. T. D. T. A. Tsamakis K, «COVID-19 pandemic and its impact on mental health of healthcare professionals.,» *Exp Ther Med. 2020,* pp. 3451-3453, 2020.

[5] B. Díaz , W. Marín , F. Lioo, L. Baldeos, D. Villanueva y J. Ausejo, «Deserción de estudiantes,factores asociados con árboles de decisión: Escuela de Posgrado de una Universidad pública en Perú,» *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação,* pp. 197-211, 2022.

[6] N. Torres Acero, Modelos para la Predicción de Deserción Universitaria de Estudiantes de Psicología de la Universidad el Bosque, Bogota, 2022.

ISSN: 2007 8102

DWSIM como herramienta auxiliar en prácticas de planta piloto

M.A. Pérez Fajardo, F. Caballero, N. Jardón Romero, A.M.A. Romero Pérez, A. F. Varela Martínez*[1]

[1]*Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza C. II, Universidad Nacional Autónoma de México, Batalla 5 de mayo s/n, Col. Ejército de Oriente, C.P. 09320, Iztapalapa CDMX, México.*

**miguel96angel@gmail.com*

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

En este artículo, abordamos la implementación de la simulación de procesos como una alternativa innovadora para superar los desafíos que impiden acceder a la planta piloto de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y realizar prácticas de laboratorio y taller de proyectos. Exploramos cómo la simulación de procesos puede proporcionar a los estudiantes una experiencia virtual que replica de manera efectiva los escenarios de laboratorio y proyectos, permitiéndoles desarrollar habilidades científicas y obtener una comprensión profunda de los conceptos fundamentales. Se presenta un estudio de caso en el que se implementó la simulación de procesos en la facultad, analizando los resultados obtenidos, los beneficios, los desafíos y las implicaciones para la educación científica.

Palabras Clave.

Simulación de procesos, planta piloto, distancia, DWSIM, open source.

Abstract

In this article, we address the implementation of process simulation as an innovative alternative to overcome the challenges that prevent accessing the pilot plant at the Facultad de Estudios Superiores Zaragoza and performing laboratory and project workshop practices. We explore how process simulation can provide students with a virtual experience that effectively replicates laboratory and project scenarios, allowing them to develop scientific skills and gain an in-depth understanding of fundamental concepts. A case study in which process simulation was implemented in faculty is presented, analyzing the results obtained, benefits, challenges, and implications for science education.

Introducción

La simulación de procesos como lo menciona Thomé es un proceso de diseño de un modelo operacional de un sistema y experimentos con este mismo modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar estrategias alternativas para el desarrollo del proceso o su operación [1]. Gracias a la simulación un ingeniero puede proponer diferentes condiciones del proceso a estudiar y obtener resultados de una manera rápida, segura y con alto grado de confiabilidad, sin embargo, esto último siempre debe ser contrarrestado con datos experimentales.

En años recientes, la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza ha enfrentado desafíos significativos que han impedido el acceso a las instalaciones de la planta piloto del campus II. Estos obstáculos pueden variar desde fallas en los equipos hasta restricciones de espacio y tiempo. En respuesta a esta situación, se ha explorado la implementación de la simulación de procesos como

 ISSN: 2007 8102

una alternativa viable para garantizar una experiencia de aprendizaje enriquecedora y efectiva para los estudiantes.

Hoy en día existe una amplia oferta de simuladores comerciales, entre ellos se encuentran Aspen Plus, Pro/II o CHEMCAD, muchos de ellos se usan en la industria química como fuente confiable de datos para nuevas formulaciones o productos, por lo cual el acceso a ellos es a través de una subscrición anual de un costo razonable. En respuesta a esto han surgido proyectos open source, esto quiere decir que son proyectos a los que la comunidad puede acceder al código base y son de distribución libre [2], esto último es de gran importancia ya que los alumnos en muchos casos no cuentan con los recursos para obtener una licencia de Aspen y una opción gratuita con el mismo grado de confiabilidad es una gran herramienta. En este artículo, examinamos cómo la simulación de procesos puede superar estos desafíos y proporcionar a los estudiantes una experiencia virtual que simula con precisión los escenarios propuestos en las prácticas de laboratorio y proyectos del sexto semestre.

Metodología

1. **Problemática**. La Facultad de Estudios Superiores ha enfrentado diferentes problemáticas por las cuales se ha imposibilitado el acceso a los equipos con los cuales se llevan a cabo las prácticas de sexto y séptimo semestre en la materia de Laboratorio y Taller de Proyectos, entre las problemáticas se encuentran los paros estudiantiles, fallas en los equipos y emergencias sanitarias. Teniendo en cuenta lo anterior se optó por el uso de la simulación en algunas de las prácticas permitiendo que el alumnado pueda obtener la experiencia de la experimentación sin tener que estar presente en la planta piloto.

2. **Selección de simulador.** Los aspectos por considerar para la selección de un simulador para esta alternativa son: la facilidad de uso, el costo y potencia requerida en la computadora para realizar los cálculos. Tomando en cuenta el segundo criterio, se optó por una solución de código abierto, en este caso se exploraron dos opciones “COCO (Cape-Open to Cape-Open)” o “DWSIM”, ambos son de código abierto y los requerimientos para ejecutarse son mínimos por lo que los alumnos no tendrían problema en ejecutarlos en cualquier equipo, en cuanto a DWSIM tiene la ventaja de ser compatible con los tres sistemas operativos más comunes, Windows, Linux y MacOS.

   Finalmente, el criterio de facilidad de uso se consideró más amigable al usuario la interfaz de DWSIM, por lo que se usará dicho simulador. Sus características principales son las siguientes:
   - Soporta simulaciones en estado estacionario y dinámico.
   - Cuenta con una amplia gama de modelos termodinámicos, entre ellos Peng-Robbinson, Lee-Kesler, Soave-Redlich-Kwong, NRTL y Ley de Raoult.
   - Permite modelar y simular controladores PID, con medidores analógicos y digitales.
   - Dentro de las operaciones unitarias que es capaz de simular, se destaca Separación, Mezclado, Compresión, Intercambio de calor, Reactores CSTR, Válvulas, Secciones de tubos, etc.
   - Realiza análisis de sensibilidad de diagramas de flujo.
   - Finalmente, cuenta con un sistema de scripting con Python/Iron Python con lo cual se tiene la posibilidad de agregar nuevas operaciones unitarias programándolas en dicho lenguaje de programación. [3]

3. **Selección de prácticas a simular**. Las practicas realizadas durante el sexto semestre en el Laboratorio y Taller de Proyectos se dividen en dos secciones**:** Laboratorio y Planta Piloto [4], este trabajo se enfocará en la segunda sección ya que en las primeras prácticas se realiza la medición de diferentes propiedades de diferentes compuestos y disoluciones, cosa que no sería necesario simular ya que estos datos se encuentran tabulados. Dentro de las practicas de laboratorio se realizan experimentaciones con operaciones

 ISSN: 2007 8102

unitarias como el transporte de fluidos, el filtrado, la molienda y el intercambio de calor, así mismo uno de los ensayos tiene como fin determinar el factor de fricción en las tuberías y la caída de presión a través de diferentes accesorios.
El presente trabajo se enfocará en estas dos últimas, simulando así, una red de tuberías (P2 Análisis y determinación de los factores de fricción, longitudes equivalentes y calibración de medidores de flujo) y dos intercambiadores de calor (P5 y P6 Análisis de un sistema de intercambio de calor), uno de vidrio y uno de metal, esto teniendo en cuenta las especificaciones de los equipos presentes en las instalaciones para validar los resultados obtenidos en las simulaciones con datos experimentales recabados en semestres anteriores. Se eligen estas prácticas ya que son las que mejor se puede apreciar un cambio en las propiedades del fluido presente en los equipos y por ende puede ser más atractiva para el alumno al momento de realizarse a distancia.

4. **Selección de las variables**. Haciendo uso del manual de prácticas [4], se determinará qué variables se tomarán como variables de diseño, es decir, las que corresponden a las especificaciones [5] de los equipos a simular; las variables de entrada, que serán aquellas variables que podrían manipular los estudiantes en el equipo y por último, las variables de salida, aquellas variables que se verán afectadas al termino de la experimentación.
4.1 **Practica P2** las variables a considerar serán las siguientes:

Tabla 1. Variables de Diseño en P2.

Variable	Descripción	Valor
Dint	Diámetro interno de la tubería	40.894 mm
Dext	Diámetro externo de la tubería	48.26 mm
Dr	Diámetro del orificio en la placa de orificio	10 mm
ε	Coeficiente de rugosidad del material (vidrio)	$1{,}5\text{x}10^{-6}$ m
Fluido	Fluido presente	Agua

Tabla 2. Variables de entrada en P2.

Variable	Descripción
Q	Flujo volumétrico a la entrada
%VC	Porcentaje de apertura en válvula de compuerta
%VG	Porcentaje de apertura en válvula de globo

Tabla 3. Variables de salida en P2.

Variable	Descripción
Pe	Presión a la entrada del accesorio
Ps	Presión a la salida del accesorio

ISSN: 2007 8102

4.2 **Practica P5.** Se usará un intercambiador de calor de tubos y coraza ingresando agua y vapor de agua.

Tabla 4. Variables de Diseño en P5.

Variable	Descripción	Valor
Dcint	Diámetro interno de la coraza	92.08 mm
Dtint	Diámetro interno de la tubería	23.42 mm
Dtext	Diámetro externo de la tubería	25.8 mm
L	Longitud de tubería	0.9906 m
Rug	Rugosidad del material (vidrio)	0.002 mm
Fluido	Fluido presente	Agua
k	Conductividad térmica del material	0.8 W/m·K
Tle	Temperatura de entrada del líquido	10 °C
Tve	Temperatura de entrada del vapor	138 °C
Ple	Presión de entrada de líquido	1.033 kgf/cm^2
Pve	Presión de entrada de vapor	3.5 kgf/cm^2
	Espaciamiento entre tubos	31.75 mm
	Pasos por la coraza	1
	Pasos por los tubos	1
	Tubos en la coraza	7
	Arreglo de tubería	Triangular
	Fluido en los tubos	Fluido frío
	Espaciamiento entre mamparas	101.6 mm
	Corte de mamparas	30 %

Tabla 5. Variables de entrada en P5.

Variable	Descripción
Q	Flujo volumétrico a la entrada
Pe	Presión de entrada del vapor

Tabla 6. Variables de salida en P5.

Variable	Descripción
Tvs	Temperatura de salida del vapor
Tls	Temperatura de salida del líquido

 ISSN: 2007 8102

4.3 **Practica P6.** Se usará un intercambiador de calor de tubos y coraza, igualmente se usará agua y vapor de agua.

Tabla 7. Variables de Diseño en P6.

Variable	Descripción	Valor
Dcint	Diámetro interno de la coraza	258 mm
Dtint	Diámetro interno de la tubería	16.6 mm
Dtext	Diámetro externo de la tubería	21.5 mm
L	Longitud de tubería	1.5 m
Rug	Rugosidad del material (acero al carbón)	0.002 mm
Fluido	Fluido presente	Agua
k	Conductividad térmica del material	398 W/m·K
Tle	Temperatura de entrada del líquido	10 °C
Tve	Temperatura de entrada del vapor	138 °C
Ple	Presión de entrada de líquido	1.033 kgf/cm^2
Pve	Presión de entrada de vapor	3.5 kgf/cm^2
	Espaciamiento entre tubos	31.75 mm
	Pasos por la coraza	1
	Pasos por los tubos	2
	Tubos en la coraza	19
	Arreglo de tubería	Triangular Rotado
	Fluido en los tubos	Fluido frío
	Espaciamiento entre mamparas	300 mm
	Corte de mamparas	20 %

Tabla 8. Variables de entrada en P6.

Variable	Descripción
Q	Flujo volumétrico a la entrada
Pe	Presión de entrada del vapor

Tabla 9. Variables de salida en P6.

Variable	Descripción
Tvs	Temperatura de salida del vapor
Tls	Temperatura de salida del líquido

5. **Realización de simulaciones**.

5.1 **Práctica P2**. Para realizar la simulación se tomará en cuenta el dfp incluido en el manual de prácticas, este diagrama se muestra a continuación en la figura 1. El equipo consta de cuatro segmentos de tubería de vidrio con válvulas y medidores de flujo a través del cual se bombea agua, a la entrada de cada accesorio se tiene una salida lateral la cual se conecta a un manómetro de mercurio con el cual se puede medir la diferencia de presión al pasar por cada segmento.
Si bien las tuberías no se consideran equipos, DWSIM incluye un complemento llamado “Segmento de Tubería” que permite simular, como su nombre lo dice, segmentos de tubería o accesorios [6] lo cual es de gran utilidad para este caso. Sin embargo, no cuenta con un simulador de medidor Venturi, por lo que se omitirá este medidor y los

 ISSN: 2007 8102

medidores S-1 y S-2 ya que estos no se encuentran físicamente en la planta piloto por lo que no se tienen datos para realizar la validación de los resultados.
Así mismo, las válvulas incluidas en el software no permiten manejar la apertura de estas por porcentaje así que se decidió añadir un divisor de corriente para simular una corriente de menor flujo.

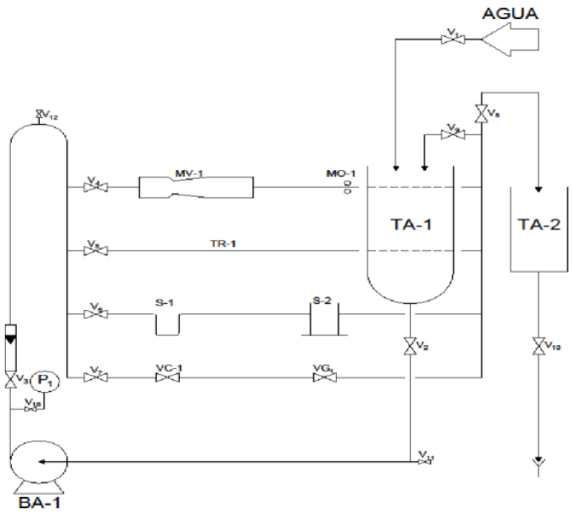


Figura 1. Equipo del flujo de fluidos de vidrio [4]

Una vez configurado cada accesorio y cada corriente con la información dada anteriormente se obtuvo el siguiente diagrama dentro de DWSIM, Figura 2, se adicionaron indicadores de nivel para representar los rotámetros e indicadores de presión de caratula los cuales muestran el valor de las presiones de entrada y de salida en cada ensayo, así como una tabla que facilita la lectura de los datos.



Figura 2 Simulación de la practica P2 en DWSIM.

 ISSN: 2007 8102

5.2 **Práctica P5.** Para el intecambiador de vidrio se hizo uso de un intercambiador de calor "riguroso" el cual permite alimentar dos corrientes de entrada y dos de salida, añadiendo agua de enfriamiento en una entrada y vapor de agua en la otra. El flujo de estos será contracorrriente y tomando en cuenta las especificaciones del equipo se tendrá el siguiente diagrama dentro de la simulación:

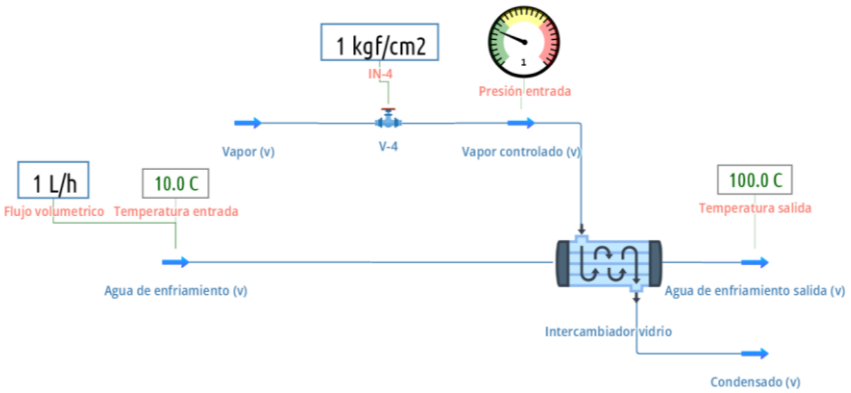


Figura 3. Simulación de la práctica P5 en DWSIM.

5.3 **Práctica P6.** Similar al anterior punto solo se cambiaron las especificaciones del equipo ya que las alimentaciones serán las mismas para ambos intercambiadores. Obteniendo así el siguiente diagrama de flujo:

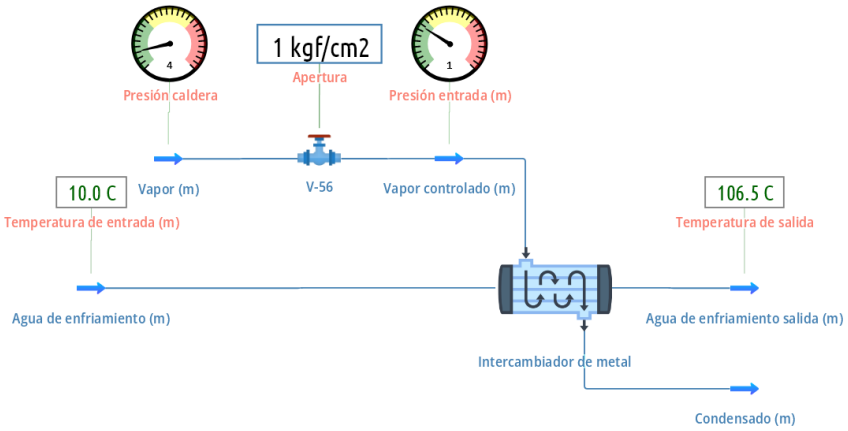


Figura 4. Simulación de la práctica P6 en DWSIM.

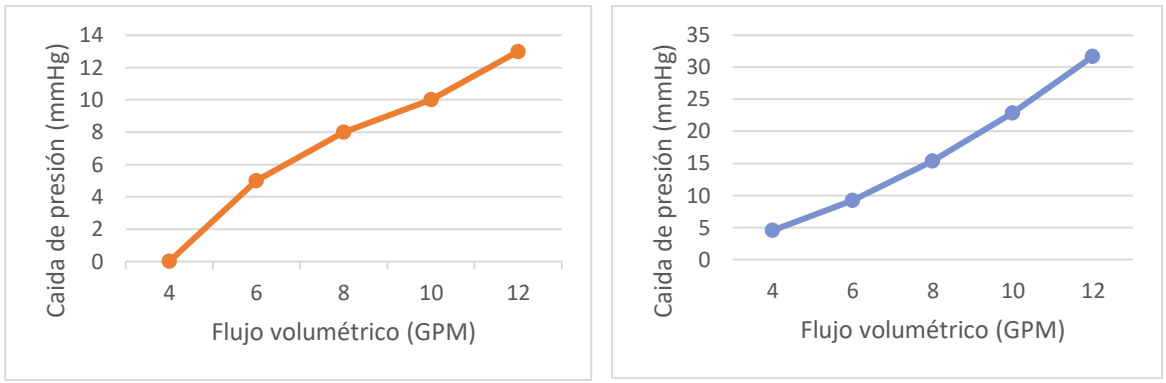
Resultados y discusión

Una vez realizadas las simulaciones para cada equipo se compararon los resultados obtenidos en cada uno con resultados obtenidos en semestres anteriores teniendo los siguientes resultados.

Práctica P2. En esta práctica se varió el flujo volumétrico tomando valores a 4, 6, 8, 10 y 12 gpm y se observó la caída de presión en los accesorios.

Para el tramo recto se encontraron los siguientes resultados:

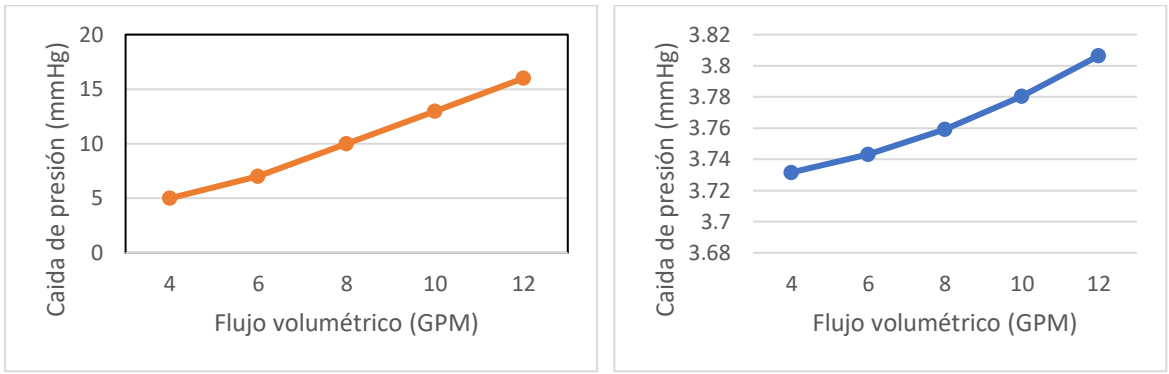
 ISSN: 2007 8102



(a) (b)

Figura 5. Gráfica Caída vs Flujo Volumétrico en tramo recto (a) Datos experimentales, (b) Datos de la simulación

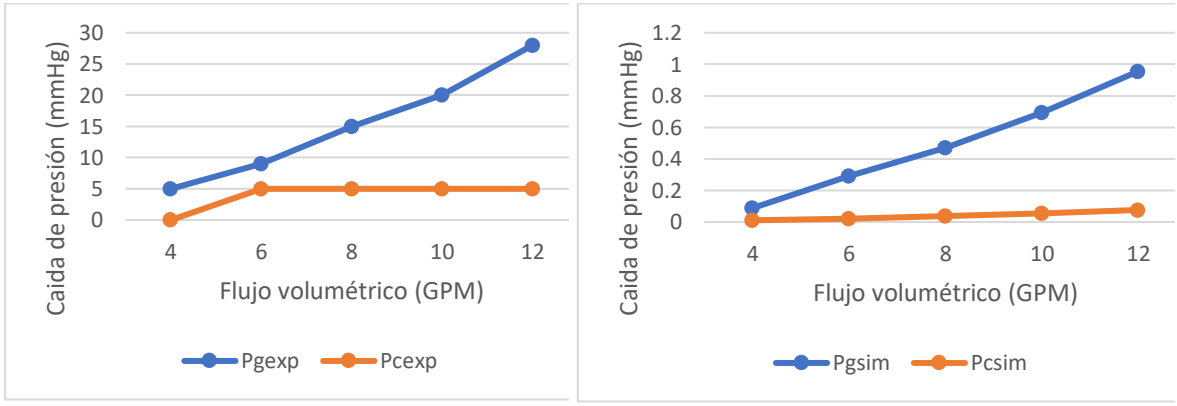
Para la placa de orificio se obtuvo:



(a) (b)

Figura 6. Gráfica Caída vs Flujo Volumétrico en una placa de orificio (a) Datos experimentales, (b) Datos de la simulación

Finalmente, para la simulación en válvulas se tuvo el siguiente comportamiento:



(a) (b)

Figura 7. Gráfica Caída vs Flujo Volumétrico en una placa de orificio (a) Datos experimentales, (b) Datos de la simulación

Como se puede observar en las diferentes graficas el comportamiento en los diferentes ensayos es muy similar, sin embargo el valor numérico no es el mismo esto se le atribuye a diferentes factores, falta de mantenimiento al equipo en la planta piloto, errores en la medición de los datos

 ISSN: 2007 8102

experimentales y falta de especificación en las simulaciones ya que no se cuenta con el valor de la distancia a la cual se tiene la salida para realizar la medición a través del manómetro de mercurio además en la simulación no se está considerando que la conexión para tomar las mediciones se realiza con una manguera plástica lo cual puede generar mayores caídas de presión por las propiedades del material y la limpieza de las mismas.

Sin embargo, estas simulaciones se consideran aceptables ya que de igual manera pueden representar de una forma muy parecida el comportamiento del flujo del agua a través de diferentes accesorios, con lo cuál los alumnos podrían calcular el factor de fricción del sistema

Práctica P5. Para los ensayos de intercambiadores de calor se tomaron las temperaturas a diferentes presiones del vapor de agua. En la tabla 4 se muestran los valores de las temperaturas a la salida del agua y el condensado al variar la presión del vapor a la entrada del intercambiador de calor de vidrio.

Tabla 4. Temperatura del agua y condensado a diferentes presiones en el intercambiador de calor de vidrio.

	Datos Experimentales		Simulación	
Presión de salida (kgf/cm2)	Temperatura del agua (°C)	Temperatura del Condensado (°C)	Temperatura del agua (°C)	Temperatura del Condensado (°C)
0.5	99	100	99.9743	100.801
1	100	101	99.9743	101.229
1.5	101	118	99.9743	110.657
2	102	122	99.9743	119.534

En el intercambiador de vidrio, como se puede observar en la tabla 4, se obtuvieron valores muy similares a los datos registrados experimentalmente, esto se debe a la información disponible de las especificaciones del equipo lo cual lleva a valores no muy alejados de la realidad dando así, una completa confiabilidad para usar esta simulación en caso de no tener acceso al intercambiador real.

Práctica P6. En el caso del intercambiador de calor de tubos y coraza de metal se observó la temperatura en el agua y en el condensado a tres diferentes presiones.

Tabla 5. Temperatura del agua y condensado a diferentes presiones en el intercambiador de calor de metal.

	Datos Experimentales		Simulación	
Presión de salida (kgf/cm2)	Temperatura del agua (°C)	Temperatura del Condensado (°C)	Temperatura del agua (°C)	Temperatura del Condensado (°C)
0.5	106	84	83.1967	99.9743
1	100	119	99.9743	99.061
3	100	132	99.9743	132.867

Finalmente para el intercambiador de tubos y coraza de metal se puede observar un comportamiento muy similar en el lado del condensado, sin embargo, el agua de enfriamiento tiene temperaturas diferentes por un delta de aproximadamente 10 grados centígrados, esto se puede atribuir a una mala medición de los alumnos en la experimentación o a una descalibración del termómetro encargado de reportar la temperatura del agua de enfriamiento a la salida del intercambiador.

Conclusiones

La implementación de la simulación de procesos en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza ha demostrado ser una solución innovadora y efectiva para superar los desafíos que impedían acceder a las instalaciones de la planta piloto. A través de la simulación de procesos con DWSIM, los estudiantes han podido experimentar de manera segura y controlada, y con esto llevar a cabo las actividades previamente programadas en la asignatura.

Esta alternativa ha brindado beneficios significativos, como el acceso continuo a experiencias prácticas de aprendizaje, la flexibilidad en términos de tiempo y espacio, y la reducción de costos asociados con el equipamiento físico de laboratorio. Además, la simulación de procesos ha proporcionado a los estudiantes la oportunidad de enfrentar escenarios realistas y complejos, mejorando así su capacidad para abordar situaciones del mundo real.

No obstante, es importante considerar los desafíos asociados con la simulación, como garantizar la autenticidad de la experiencia virtual y la transferencia efectiva de habilidades prácticas al mundo real. Además, se requiere capacitación y apoyo continuo para profesores y estudiantes, así como una adaptación curricular que integre la simulación de procesos de manera efectiva en los programas de estudio.

En resumen, la implementación de la simulación de procesos en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza ha demostrado ser una estrategia exitosa para superar las limitaciones de acceso a las instalaciones físicas de laboratorio. Esta alternativa ha brindado a los estudiantes oportunidades de aprendizaje enriquecedoras, fomentando su participación y su comprensión de los procesos científicos. La simulación de procesos tiene el potencial de transformar la educación científica al ofrecer una opción flexible y accesible que complementa y enriquece la enseñanza tradicional en el ámbito de la investigación educativa.

Agradecimientos.

Los autores agradecen al programa PAPIME con clave PE112423 por el apoyo brindado en la realización de este trabajo.

Referencias.

[1] B. Thomé, *Systems Engineering: Principles and Practice of Computer-Based Systems Engineering*. Chichester etc.: Wiley, 1993.

[2] “The open source definition,” Open Source Initiative, https://opensource.org/osd/ (accessed Jul. 13, 2023).

[3] D. W. Medeiros, “DWSIM – the open source chemical process simulator – just another WordPress site,” DWSIM The Open Source Chemical Process Simulator, https://DWSIM.org/ (accessed Jul. 13, 2023).

[4] A. D. la C. Rogel, B. E. García, and E. E. Herrera, *Manual de Laboratorio y Taller de Proyectos de 6° Semestre*. Ciudad de México, Ciudad de México: Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, 2021.

[5] M. C. Ramírez, *Desarrollo de Módulos de Simulación de Procesos En Ingeniería Química*. San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador, 2005.

[6] D. W. Oliveira de Medeiros, *DWSIM - Open Source Chemical Process Simulator User Guide*. Brasil: DWSIM, 2023.

 ISSN: 2007 8102

MODELO DE APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS APLICADO A LA AGRONOMÍA

M. J. Martínez- Hernández[1], V.R. Torres Pelayo[2]*
[1]Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Xalapa, Universidad Veracruzana.
[2] Facultad de Biología, Universidad Veracruzana.
**mhernandezmj@gmail.com*

***Área de participación**: : Investigación educativa*

Resumen

Cuando se ejerce el pensamiento crítico para manifestar una postura razonada sobre un tema en especifico, el estudiante utiliza su inteligencia y los conocimientos adquiridos, sin embargo, se busca que desarrolle habilidades cognitivas que le sirvan para resolver problemas teóricos y prácticos. El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) es una construcción de soluciones basándose en problemas reales que surjan de una necesidad o deficiencias por un sector de la sociedad. El problema debe ser relevante tener una cobertura sobre saliente por la sociedad y observar el grado de complejidad, para atender estas variables se propuso la utilización del Modelo de Periodos de Solución o Resolución de Problemas de Illescas 2017, metodología que permite conocer la problemática desde sus orígenes y transitar hasta una recuperación del sistema. Si bien es cierto, que la realidad a veces es muy general la aplicación de esté modelo lo particulariza observando todas las interacciones de sus componentes. La aplicación de esté modelo en el control de la roya, permitió observar oportunamente en el cuadro de problemas la solución e ir recuperando ala planta paulatinamente, evitando perdidas económicas por esta enfermedad.

***Palabras clave**: Problema, solución, Constructivismo*

Abstract

When critical thinking is exercised to express a reasoned position on a specific subject, the student uses his intelligence and the knowledge acquired, however, it is sought that he develop cognitive abilities that will help him to solve theoretical and practical problems. Problem-Based Learning (PBL) is a construction of solutions based on real problems that arise from a need or deficiencies by a sector of society. The problem must be relevant to have an outgoing coverage by society and observe the degree of complexity, to address these variables, the use of the Model of Solution Periods or Problem Resolution of Illescas 2017 was proposed, a methodology that allows knowing the problem from its origins and moving towards a recovery of the system. Although it is true that reality is sometimes very general, the application of this model makes it particular by observing all the interactions of its components. The application of this model in the control of rust allowed timely observation in the table of problems the solution and gradually recover the plant, avoiding economic losses due to this disease.

***Key words**: Problem, solution, constructivism*

Introducción

La base conceptual de esta estrategia metodológica es principalmente el constructivismo que plantea al conocimiento como una construcción del ser humano: cada persona percibe la realidad, la organiza y le da sentido en forma de constructos, gracias a la actividad de su sistema nervioso central, lo que contribuye ala edificación de un todo coherente que da sentido y unicidad de la realidad Existen múltiples realidades construidas individualmente y no gobernadas por leyes naturales: cada persona percibe la realidad de forma particular dependiendo de sus capacidades físicas y del estado emocional en que se encuentra, así como también de sus condiciones sociales y culturales[1]. Por otro lado, se puede mencionar que la ciencia no descubre realidades ya

 ISSN: 2007 8102

hechas, sino que construye, crea e inventa escenarios: de esta forma intenta dar sentido a lo que ocurre en el mundo, en la sociedad, en las personas [2].
Asumiendo los postulados del constructivismo, reflexionamos a cerca de la importancia que tiene el proceso de enseñanza-aprendizaje, donde se asume que el conocimiento no es absoluto, si no que es construido a través de conocimientos previos, esta tendencia logra avances considerables en el enfoque educativo dirigido a un nuevo aprendizaje basado en el desarrollo de nuevas competencias (conocimientos). Una forma integral de aprender y desarrollar competencias es el aprendizaje basado en problemas (ABP). Es un método de aprendizaje basado en el principio de usar problemas cómo punto de partida para la adquisición e integración de los nuevos conocimientos, esta forma de apropiarse del conocimiento los protagonistas asumen la responsabilidad de ser parte activa en el proceso [3]. El ABP busca desarrollar competencias a través de diversas estrategias aplicadas en contextos reales, relevantes mediante el trabajo colaborativo y autónomo para la toma de decisiones. El enfoque de aprendizaje activo señala que la ABP representa una estrategia eficaz y flexible que a partir de ellas se desarrollan y se trabajan diversas competencias, como resolución de problemas, habilidades de comunicación, desarrollo de actitudes y valores [4y 5], involucrando al estudiante en un reto (problema, situación o tarea) con iniciativa y entusiasmo, monitorea la existencia de objetivos de aprendizaje adecuados a nivel de desarrollo del estudiante. Sin embargo, se espera que de él una serie de conductas y participaciones distintas a las requeridas en el proceso de aprendizaje convencional [6].
El objetivo de la investigación es dar solución a un problema agronómico, mediante la aplicación de la estrategia medológica Períodos en la Solución o Resolución de Problemas de Illescas 2017. [7]

Metodología

Materiales y Métodos

De acuerdo con la metodología del Modelo Periodos en la Solución o resolución de problemas (Illescas 2017). Se establece la estructura del modelo:

Modelo: M_*P*sp=<P,S,*P*,E,H,Ts,M-COL>

M_*P*sp_< Problema, Solución(resolución), Período, Entropía, Homeostasis, T-sistemas, Modelo COL

En la Figura 1, se puede observar el Período de incubación (I): Este período abarca el tiempo transcurrido en el comienzo del problema. La dificultad ya está presente, pero aún no ocasiona los signos del problema. Estos períodos varían según sea la complicación del problema. Período prodrómico (P): Este período es característico porque incluye signos y datos, que se convierten en información del problema. Cuadro problemático (CP): Incluye el tiempo en el cual aparecen las manifestaciones (signos y síntomas) que caracterizan el problema; Durante dicha fase, los inicios de los síntomas del problema ocurren de forma brusca o paulatina. En esta fase pueden aparecer más de un problema a resolver (P1, P2, P3,…) Período de defervescencia (D): Incluye el tiempo en el cual los signos y síntomas del problema comienzan a desaparecer. En este período el problema parece estar resuelto. No obstante, el problema no necesariamente está resuelto, ya que puede reaparecer, incluso puede ser peor. Período de recuperación (R): Este período consiste en aquel tiempo donde la evidencia del problema desaparece y se regresa al funcionamiento normal.

Los períodos anteriores permiten identificar el lugar en una curva tanto el(los) problema(s) como la solución o resolución de éste(os); La tendencia de la curva queda dentro de la relación entre dos tipos de tiempos, que he denominado tiempo de entropía y tiempo de homeostasis. Tiempo de entropía (T-Entropía): El término “entropía” refiere a la medida de desorden de un sistema, tal desorden se da en un tiempo. Tiempo de homeostasis (T-Homeostasis): El término “homeostasis” es de origen griego “homoios” u “homos” (ὅμος) que significa “mismo o similar” y “estasis” (στάσις) que expresa “estabilidad”. De modo que el tiempo de homeostasis es aquel que un sistema requiere para lograr un grado de estabilidad favorable:

 ISSN: 2007 8102

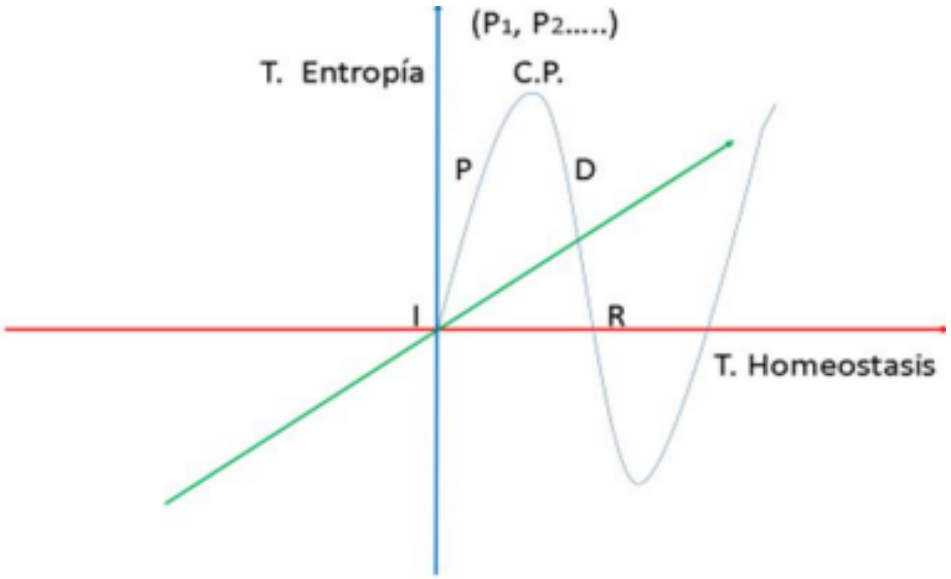


Figura. 1: Muestra las relaciones de los conceptos con tres elementos clave: dos ejes que representan los Tiempos sistémicos, una curva donde se identifican los periodos y una trayectoria ideal de equilibrio.

Planteamiento del problema a solucionar:

El hongo *Hemileia vastatrix* & Brome, representa un peligro para la economía de los productores de las zonas cafetaleras del estado de Veracruz.

Resultados y discusión

Diagnóstico de la situación

El cultivo del café es una actividad económica de gran importancia por su alto valor comercial, social y ambiental. Su producción contabiliza una superficie de más de 712 mil hectáreas de las cuales, aproximadamente el 90% de la superficie se concentra en Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Puebla y Veracruz. Sin embargo, está superficie se ve amenazada por la enfermedad de la roya del café, causada por el hongo *Hemileia vastatrix* & Brome, considerada la enfermedad más destructiva del cafeto y la de mayor importancia económica a nivel mundial. Debido a que provoca la caída prematura de hojas, propiciando la reducción de la capacidad fotosintética, respiración y transpiración. Al caer la mayoría de las hojas su impacto en el debilitamiento de la planta puede ocasionar muerte regresiva en ramas e incluso la muerte de plantas afectando severamente la producción y causando grandes perdidas económicas [8]. En México la roya del café se ha reportado en los estados de Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero, Hidalgo, Nayarit, San Luis Potosí, Jalisco, Colima, Tabasco, Estado de México, Querétaro, Morelos y Michoacán [9].

Aplicación del Modelo Periodos en la Solución o resolución de problemas (Illescas 2017).

Periodo de incubación.

El periodo de tiempo que transcurre para el inicio del problema.
En este periodo la enfermedad se empieza a incubar cuando se presenta la lluvia en zonas cafetaleras (figura 2 a,b), el agua líquida actúa a nivel de esporulación (transporte), depósito, germinación y penetración de las uredosporas en las hojas. Es por ello que la enfermedad se desarrolla durante la época de lluvias y que su descenso ocurra cuando se detiene el periodo de lluvias, la temperatura, la germinación es muy dependiente de las condiciones de temperatura, la formación del apresorio y progreso del hongo en la hoja depende también de ese factor. Mientras las condiciones climáticas no son favorables la enfermedad se esta incubando, pero no se

 ISSN: 2007 8102

manifiesta. Sin embargo, con un cambio en la temperatura y se presenta la humedad empieza la manifestación de signos dando lugar al Período Prodrómico.

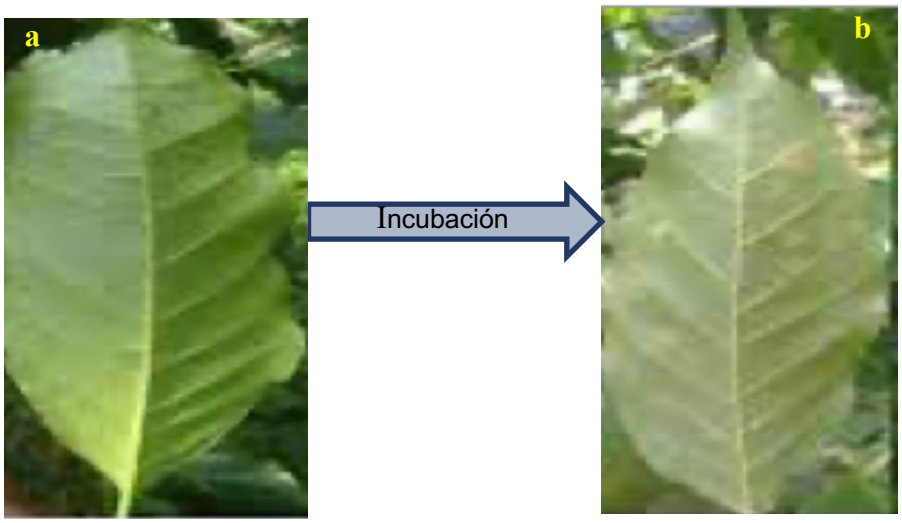


Figura 2. a) Hoja sana, b) hoja con 1-5 % de infestación

Periodo Prodrómico

La germinación de esporas requiere de la presencia de agua libre por lo menos 6 horas, temperaturas entre los 21-25 °C y condiciones de oscuridad. Una vez que el hongo ha germinado, penetra las hojas a través de las aberturas naturales (estomas) situadas en el envés de las hojas maduras. Los síntomas inician como pequeñas manchas de 1-3 mm, traslucidas y de color amarillo claro (figura 3 c,d). La lesión crece en tamaño y puede coalescer con otras manchas, hasta formar grandes parches con abundante polvo amarillo (esporas), en el envés de las hojas y que en el lado opuesto se observan como manchas amarillas [10].
Las lesiones viejas se necrosan, pero la esporulación puede continuar en el margen de la lesión [11].
Al paso de los días los daños se van volviendo cada vez mas complejos y se llega a tener un cuadro de problemas.

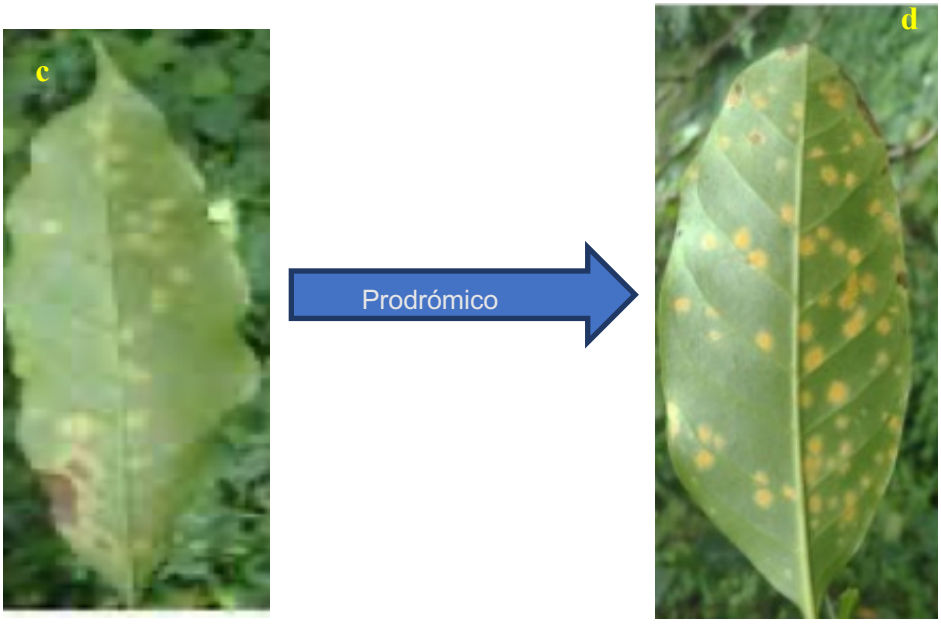


Figura 3. c) Hojas enfermas con 6-20% de daño, d) con el 21-50% de daño

Cuadro de problemas

El tiempo en el cual aparecen los síntomas y cada vez se van agudizando ya que los daños severos, mayores al 60 %, causan defoliación (figura 4 e,f). Si la infección ocurre en etapas tempranas se puede presentar una reducción en el rendimiento. Pero si se presenta en esas etapas tardías el efecto se observa en los niveles de amarre de fruto del siguiente ciclo del cultivo. La infección ocurre en un corto periodo de tiempo de 6-8 horas aproximadamente, produciendo nuevas esporas infecciosas de 7 a 10 días.

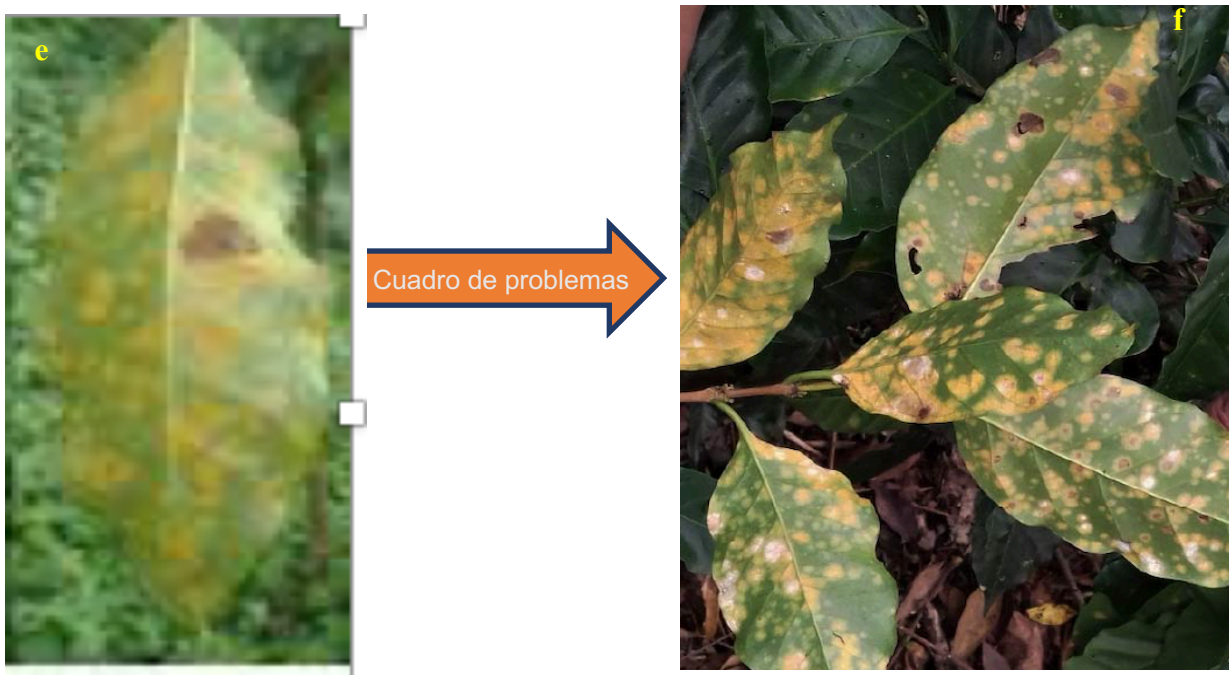


Figura 4. e) hojas con daños >50%, f) hoja 100% dañada

La intervención humana con productos químicos o orgánicos el problema puede pasar al periodo de defervescencia.

Periodo defervescencia.

En este periodo la enfermedad empieza a desaparecer, habiendo un periodo de recuperación aparente, sin embargo, el problema no esta resuelto por que puede volver aparecer, incluso con mayor fuerza. Pero a medida que excitan factores como la absorción de nutrientes, la planta se nutre y puede adaptarse a las nuevas condiciones y convertirse una planta resiliente, por que logra sobrevivir seguir creciendo y reproduciéndose, entonces la planta de café entraría en un periodo de recuperación.

Periodo de recuperación.

En este periodo la respuesta de la planta actúa inhibiendo la expresión del gen del hongo e incluso en la degradación de la pared fúngica, aunque la planta de café después de haber defoliado todas sus hojas, empieza generar nuevas hojas regresando a su funcionamiento normal [12].

Contestando la pregunta problemática con los datos obtenido y observando la ruta de la estrategia medológica se puede mencionar lo siguiente: La zona cafetalera del estado de Veracruz esta en riesgo si no se controla esta enfermedad debido a que es el principal problema fitosanitario a nivel Latinoamérica se calcula que existen perdidas en un rango del 30-50% de las cosechas, sin embargo, si no se atiende a tiempo la enfermedad las perdidas pueden ser del 100%.
Es importante considerar que el conocimiento basado en un modelo que permite hacer referencia a sus componentes y sus relaciones entre sí, representa una oportunidad de una solución con éxito.
Entonces el Modelo es:

< P,S,TS,TN,E, M-*Psp*>.

Problema (P), Solución (S), Teoría Sistema (TS), Teoría Necesidad, Entorno (E), Modelo Illescas Periodos en la Solución o resolución de problemas (M-*Psp*).

El modelo desarrollado induce procesos cognitivos y metacognitivos para desarrollar el pensamiento critico, mediante situaciones basadas en problemas reales de la propia disciplina del estudiante. El aprendizaje basado en problemas el estudiante es el protagonista de sus conocimientos, habilidades y actitudes, además de gestionar empatía, emociones y comunicación, aumenta la motivación y las ganas de aprender adaptándose a los cambios que ocurren en su forma de pensar y actuar dado que el estudiante es el protagonista de su propio aprendizaje.

Trabajo a futuro

Se pretende seguir generando Modelos basados en Problemas, es importante que los estudiantes desarrollen el pensamiento crítico a través de proyectos de investigaciones que se generen en su entorno social, cultural y económicos con el objetivo que los modelos generados sean un abanico de oportunidades de aplicación en sus diferentes entornos.

Conclusiones

El modelo Períodos en la Solución o Resolución de Problemas permitió observar que el hongo *Hemileia vastatrix* & Brome es una enfermedad devastadora para las zonas cafetaleras. El conocer su evolución a través del cuadro de problemas donde aparecieron las manifestaciones de la sintomatología de la enfermedad, permitió demostrar que es el momento de controlar la enfermedad utilizando métodos químicos, biológicos y manejo integrado antes de que avance y la situación se vuelva critica. Una vez controlada la enfermedad la planta entra en el período de recuperación, donde tiene la capacidad de tolerar la enfermedad e ir recuperándose paulatinamente hasta llegar a su funcionamiento normal. Por lo tanto, el modelo del Periodos en la Solución o resolución de problemas es una interpretación de los componentes y la relación que existen entre si, es una estrategia metodológica innovadora que permite ubicar el problema desde su origen hasta el punto más crítico y descender hasta llegar a la recuperación, la aplicación de modelos en la enseñanza aprendizaje basado en problemas fomenta a que el estudiante sea autónomo en su toma de decisiones y transite a crear modelos problemáticos complejos que sobresalen al sector productivo dando soluciones puntuales que impacten a la economía del sector cafetalero.

Agradecimientos

Agradecemos a la Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Xalapa de la Universidad Veracruzana por el apoyo para esta investigación

Referencias

[1] Universidad San Buenaventura, Las corrientes constructivistas y los modelos autoestructurantes. En: N.N., Los modelos pedagógicos (pp. 143-185). Bogotá: Universidad San Buenaventura. 2015.
[2] L. Segal,Soñar la realidad: el constructivismo de Heinz von Foerster. España: Paidós.1986
[3]. H.S. Barrows, A Taxonomy of problem-based learning methods, en Medical Education, 20/6, 481–486. 1986
[4] M. De Miguel Díaz, Metodologías para optimizar el aprendizaje. Segundo objetivo del Espacio Europeo de Educación Superior. Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado, 20(3), 71-91.2006.
[5] L. Prieto, Aprendizaje activo en el aula universitaria: el caso del aprendizaje basado en problemas, en Miscelánea Comillas. Revista de Ciencias Humanas y Sociales Vol.64. Núm.124. Págs. 173-196. 2006.
[6] G. Guevara Mora, Aprendizaje Basado En Problemas Como Técnica Didáctica Para La Enseñanza del Tema De La Recursividad. InterSedes: Revista de las Sedes Regionales, XI (20), 142-167, 2011.
[7] C.Illescas. Períodos en la solución o resolución de problemas, en Ergo, Nueva Época, No (33), México: Universidad Veracruzana, 2017.

ISSN: 2007 8102

[8] J.C.Florez, L.Souto-Mofatto, R. Do Livramento Freitas-Lopes, S.Siqueira-Ferreira, E. Maciel Zambolim, M. Falsarella-Carazzolle, L. Zambolim, & E.Teixeira-Caixeta). High throughput transcriptome analysis of coffee reveals prehaustorial resistance in response to *Hemileia vastatrix* infection. Plant Molecular Biology. doi 10.1007/s11103-017-0676-7, 2017.

[9] SIAP. 2016. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola en México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. En línea: http://www.siap.gob.mx.,2023

[10] D. Fernandez, E. Tisserant, P. Talhinhas, H. Azinheira, A.N.A,Vieira, A.Petitot, & S. Duplessis, 454-pyrosequencing of *Coffea arabica* leaves infected by the rust fungus *Hemileia vastatrix* reveals in planta -expressed pathogen-secreted proteins and plant functions in a late compatible plant – rust interaction. *Molecular Plant Pathology, 13*, 17–37. doi:10.1111/J.13643703.2011.00723.X 2012

[11]. F.R. Castro, E.H. Charles, & R.W. Barreto. Confirmation of the occurrence of teliospores of Hemileia vastatrix in Brazil with observations on their mode of germination. Tropical Plant Pathology, 34 (2):108-113.2009.

[12] A. Loureiro, H. Gil,C.Maria, P. Talhinhas, & N.P Money, N.P. A method for obtaining RNA from *Hemileia vastatrix* appressoria produced in planta, suitable for transcriptomic analyses. *Fungal biology*, *119*, 1093-1099. doi:10.1016/j.funbio.2015.08.008.2015

 ISSN: 2007 8102

Caracterización de la empleabilidad en egresados de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Mexicali

R.M. Rodríguez Loo [1], Z.Y. Medrano Hurtado[2], J.C. Medina Aguirre[3], A. Castillón Barraza[4]

Tecnológico Nacional de México, campus Mexicali[1,2,3,4]
roxanarodriguez@itmexicali.edu.com[1],
zulmamh@itmexicali.edu.com[2],
jcmaitm@itmexicali.edu.mx[3],
acelacastillon@itmexicali.edu.mx[4]

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen
La brecha actual en la conexión entre las instituciones de educación superior y las oportunidades de empleo para los graduados es un problema crítico latente. Las universidades deben abordar los desafíos sociales y del mercado laboral, por lo que este artículo tiene como objetivo identificar los rasgos de empleabilidad que pueden aumentar la probabilidad de que los graduados en ingeniería industrial se integren rápidamente al campo laboral. Dentro de la presente investigación se encontraron hallazgos relevantes, como egresados que no laboran en su profesión e incluso un porcentaje pequeño pero significativo de egresados que no ha logrado conseguir empleo, una vez terminado el estudio se concluye que dichos egresados presentaron indiferencia a cuatro de los cinco factores analizados dentro de la escala de empleabilidad utilizada que fueron: comportamientos protectores del empleo, riesgo laboral, conductas para la búsqueda de empleo y autocontrol.

***Palabras clave**: empleabilidad, egresados, industrial.*

Abstract
The current gaps in the connection between higher education institutions and employment opportunities for graduates is a critical issue. Universities must address societal and labor market challenges. This article aims to identify employability traits that can increase the likelihood of industrial engineering graduates quickly integrating into relevant sectors of the labor market. The focus is on Latin America, specifically Baja California, Mexico, and the industrial engineering program at the Technological Institute of Mexicali (ITM).

***Key words**: employability, graduates, industrial.*

Introducción

Los egresados de las Instituciones de Educación Superior (IES) enfrentan grandes retos para la búsqueda de un empleo en su área afín, ya que para algunos egresados esto pudiera ser su primer encuentro con el mundo laboral; la falta de experiencia o carencia de ciertas competencias y habilidades, pueden ser un factor detonante para desertar en la búsqueda de un empleo relacionado con su carrera, aunado a esto, las recientes crisis globales de salud han generado mayores tasas de desempleo, lo que conlleva también a la precarización de los empleos, donde trabajadores fungen en actividades para las cuáles están sobrecalificados, reciben ingresos por debajo de lo deseado, trabajan más allá de una jornada laboral completa de 40 horas semanales y en ocasiones tienen la necesidad de conseguir un segundo empleo a tiempo parcial.

El sistema educativo en México tiene el objetivo de formar integralmente a estudiantes con los conocimientos, habilidades y destrezas necesarias para acceder a un empleo digno, alcanzar mejores niveles de vida, aprovechar los beneficios del crecimiento económico e impulsar el desarrollo sostenible general y local del país [1].

 ISSN: 2007 8102

Sin embargo, las cifras de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), evidencian que aproximadamente el 40% de los egresados de educación superior con empleo, trabaja en una ocupación que no está relacionada con su área de estudio. Cerca del 26% de la población trabajadora en México está sobrecalificada y alrededor del 31% no está suficientemente calificada para su empleo [2].

En 2019, expertos del OCC mundial (Online Career Center por sus siglas en inglés) realizaron una encuesta, donde los profesionistas comentaron la dificultad de elevar la empleabilidad y que para lograrlo es necesario contar con: competencias profesionales, desarrollo de más habilidades personales, capacitaciones continuas, mayor experiencia laboral y elevar el nivel de responsabilidad [3].

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) establece que la empleabilidad se refiere a competencias y cualificaciones transferibles que refuerzan la capacidad de las personas para aprovechar las oportunidades de educación y formación que se les presenten con miras a encontrar y conservar un trabajo decente [4]. Por lo que cuanto más especializada sea la preparación de un graduado universitario o cuanto más estrechamente definido sea el perfil ocupacional de un programa determinado, los empleadores tendrían que hacer inversiones menores en el desarrollo de habilidades especializadas para los puestos de trabajo [5].

Además, se sabe que los universitarios que realizan prácticas están en una situación de ventaja frente a otros candidatos a un primer empleo y esto se ha convertido en un referente importante en el currículum de los recién titulados a la hora de conseguir trabajo, lo cual significa un primer contacto con el mundo laboral, el inicio de la carrera profesional y un puente directo a la inserción profesional [6].

También se debe aumentar la comunicación entre las IES y el medio productivo; la capacidad de las instituciones educativas para preparar adecuadamente a los estudiantes se verá obstaculizada si no se consulta a las empresas sobre sus demandas de modo temprano. Por otro lado, si se consulta regularmente a los empleadores, las IES podrán adaptar o ajustar sus programas de manera oportuna [7].

Incluso, existe evidencia estadística que sustenta esta problemática de cómo generar empleo a pesar de los altos índices de desempleo y subempleo, el cual sigue siendo un tema de preocupación e investigación. Un ejemplo de esta evidencia es un estudio realizado en la Universidad de Colima con una muestra de 4 generaciones de egresados entre 2014 y 2017, donde el objetivo fue estimar la significatividad estadística que un conjunto de variables predictivas como titulación, elementos académicos, elementos curriculares y habilidades personales, ejercen sobre la variable dependiente que es la inserción laboral. Los resultados mostraron que los titulados, y más los titulados por el Examen General para el Egreso de Licenciatura (EGEL), así como variables de emprendimiento, trabajo en equipo, ambiente de trabajo, prácticas de talleres, laboratorios y manejo de las tecnologías de la información y comunicación (TIC), se asocian significativamente con la inserción laboral. Al gestionar estas variables, es posible incrementar la probabilidad de los egresados de insertarse en el mercado laboral [8].

Metodología

Es importante contar con una caracterización de empleabilidad que aporte una perspectiva integral uniendo todos los elementos propuestos por el Modelo bioecológico. La presente investigación se enfoca en la caracterización de la empleabilidad de los egresados de la carrera de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Mexicali en Baja California, México; utilizando el Modelo bioecológico en el contexto laboral en el que se basa la escala de empleabilidad utilizada.

Desde la perspectiva bioecológica de la empleabilidad, una caracterización debería tasar una única metacompetencia para todos (egresados de cualquier carrera universitaria, sujetos con experiencia, sujetos sin experiencia, hombres, mujeres, jóvenes, personas mayores, etc.). Los indicadores analizan las pautas para la integración en empresas y destacan elementos individuales y sociales [9].

Los elementos individuales se refieren al trabajador e incluyen atributos personales (como honestidad, disposición para el trabajo, etc.); habilidades y competencias (habilidades básicas, habilidades laborales o sociales, como el trabajo en equipo o la gestión positiva de conflictos); salud; movilidad geográfica y flexibilidad laboral. Los elementos sociales condicionan el desempeño en el trabajo (como las responsabilidades familiares, la cultura

 ISSN: 2007 8102

laboral, acceso a recursos como el transporte, vivienda, etc.) [10]. Por tanto, el objetivo del presente estudio es desarrollar y validar una caracterización de la empleabilidad que tenga en cuenta ambas dimensiones.

Al ser objeto de estudio el nivel de empleabilidad de los egresados de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Mexicali, es necesario realizar una caracterización de ésta, tomando como punto de partida la encuesta institucional de egresados que genera su propia área de vinculación donde se identifican factores como: tiempo transcurrido para obtener su primer empleo, situación laboral actual, medida de coincidencia entre sus estudios de licenciatura y su actividad laboral, medida en la que la formación de licenciatura lo preparó para integrarse al campo laboral; la principal dificultad para conseguir su primer empleo, así como el tiempo de transición del primer empleo al empleo actual.

Una vez aplicado el instrumento, se organizó, analizó y comparó la información de tal manera que se encontraron patrones de coincidencia que evidencian porque algunos egresados tardan más tiempo que otros en encontrar empleo en su área afín; al realizar un comparativo de otras encuestas que han sido aplicadas a egresados de carreras universitarias, podemos establecer habilidades y competencias necesarias para incrementar el nivel de empleabilidad de los recién egresados, incluso de aquellos egresados que a través de los años han estado rezagados o desempleados por no contar con ciertas características de egreso necesarias para su carrera.

Al realizarse el análisis de la encuesta institucional del Instituto Tecnológico de Mexicali fueron considerados 46 egresados de Ingeniería Industrial, dicha encuesta consta con un total de 35 preguntas, de las cuales 12 son de comportamientos protectores del empleo, 10 son de riesgo laboral, 6 conductas para la búsqueda de empleo, 4 son de autocontrol y 3 son de autoaprendizaje.

A continuación, se procedió a seleccionar la escala de medición de empleabilidad en que se basa este estudio, se seleccionó la llamada Employability Appraisal Scale (escala de valoración de la empleabilidad) que consta de 35 reactivos organizados para medir 13 indicadores: a) perseverancia, b) tolerancia al estrés y la frustración, c) cualificaciones personales, d) aprender a aprender, e) tiempo, f) administración de las tareas, g) iniciativa, h) habilidades sociales, i) autonomía, j) deseo y voluntad de trabajar, k) habilidades profesionales, l) cuidado personal y m) experiencia de trabajo. Dichos reactivos están organizados en 5 factores: 1. Comportamientos protectores del empleo, 2. riesgo laboral, 3. conductas para la búsqueda de trabajo, 4. autocontrol y 5. autoaprendizaje.

La encuesta en donde se aplicó la citada escala se añadieron datos personales de los encuestados a efecto de robustecer la información y poder implementar un proceso de evaluación de acumulados reactivos organizados por factores de tal manera que se pueda pesar la importancia de cada reactivo dentro del factor y poder adaptar a la circunstancia local de los egresados de la carrera de Ingeniería Industrial a dicha escala.

Se realizó una prueba piloto en una muestra inicial (n = 18), esta muestra estuvo compuesta por egresados universitarios voluntarios de la carrera de ingeniería industrial. Se les pidió que respondieran el cuestionario y agregaran sus observaciones, críticas y sugerencias, con lo que sus respuestas permitieron evaluar la efectividad y pertinencia del cuestionario, y finalmente se colocó un mensaje para completar el cuestionario garantizando la confidencialidad, el anonimato y la participación voluntaria, así como reconociendo su colaboración en la investigación.

Resultados y discusión

La Escala de Evaluación de la Empleabilidad (EAS) mide los elementos básicos individuales y sociales de la empleabilidad. La puntuación no muestra la probabilidad de conseguir un trabajo, sino el nivel adecuado de la metacompetencia para conseguir y conservar un trabajo.

La versión final de la escala de 35 reactivos (Tabla 1) se midió mediante una escala tipo Likert de 5 puntos (que van desde “Muy en desacuerdo”-1 hasta “Muy de acuerdo”-5) para la puntuación sumativa y 5 puntos (que van desde “Muy en desacuerdo”-5 hasta “Muy de acuerdo”-1) para puntuación inversa, la cual tiene cuatro variables de clasificación (edad, género, estudios, estudios complementarios), y cuatro variables centradas en elementos sociales (estado civil, número de hijos, disponibilidad horaria y experiencia laboral).

Tabla 1. Categorizaciones de la Escala de Evaluación de la Empleabilidad (EAS) y su modelo de cuatro factores. Tomado/Adaptado de [10].

FACTOR 1. Comportamientos protectores del empleo
1. Logro lo que me propongo 2. Tengo confianza en mis propias opiniones, incluso si son a las de las otras personas 3. Me pongo a trabajar cuando decido lo que quiero hacer 9. Se diseñar un buen plan de acción cuando tengo que hacer algo importante relacionado con mis estudios o mi trabajo 12. Me implico en lo que hago y me entusiasman las tareas que realizo 13. Para mí, es más importante sentirme bien conmigo mismo que recibir la aprobación de los demás 15. Me considero eficaz en mi trabajo 20. Soy responsable de mis acciones y decisiones 25. Soy una persona práctica, sé que tengo que hacer y lo hago 27. Puedo organizar mi tiempo para aprovecharlo al máximo 29. Soy persistente y constante. Término lo que empiezo 34. Soy una persona con iniciativa para comenzar las tareas, tomar decisiones rápidas o buscar soluciones a problemas
FACTOR 2. Riesgo laboral
4. Me aburro haciendo las actividades de la vida diaria 5. Suelo cambiar muchas veces de actividad durante el día sin un fin concreto 7. No consigo ser constante cuando debo realizar una tarea larga y difícil 10. No tengo suficiente formación para poder trabajar 11. No tengo la experiencia suficiente para que me contraten 14. Hay otros profesionales mejor preparados que yo para trabajar 16. Suelo dejar las cosas para el último momento 18. Cuando tengo que hacer algo me cuesta mucho ponerme en marcha 19. Suelo tener problemas para organizarme las tareas que debo hacer 23. Creo que no puedo hacer todas las actividades que deben hacerse todos los días
FACTOR 3. Conductas para la búsqueda de empleo (Puntuación inversa)
6. Tengo mala presencia y creo que por eso no encuentro trabajo 24. No puedo encontrar trabajo porque no sé cómo buscarlo 26. No puedo encontrar trabajo porque me falta la capacidad de expresarme y relacionarme con otras personas 28. No puedo encontrar trabajo porque me falta confianza en mí mismo 30. No puedo encontrar trabajo porque tengo que ser más persistente cuando busco empleo y no desanimarme 31. No puedo encontrar trabajo porque no me mantengo al día con mi profesión y no soy competente
FACTOR 4. Autocontrol (Puntuación inversa)
17. Me cuesta controlar mi ira 21. Algunas cosas me molestan mucho 32. Me enfado con facilidad 33. Tengo mal genio
FACTOR 5. Autoaprendizaje
8. Cuando necesito saber algo en el trabajo suelo preguntar o pedir que me enseñen 22. Me gusta aprender cosas nuevas sobre mi trabajo, aunque se trate de pequeños detalles 35. Veo los cambios como una oportunidad para aprender, y no como una dificultad

Los datos fueron recolectados a través de un cuestionario autoadministrado, los participantes en la muestra 1 fueron 18 egresados de la carrera de ingeniería industrial. La distribución por género de esta muestra fue $44{,}44\%$ femenino y $55{,}55\%$ masculino, con un rango de entre 20 a 25 años se encuentra el $40{,}90\%$, con un rango de entre 26 a 30 años se encuentra el $22{,}72\%$, con un rango de entre 31 a 35 años se encuentra $22{,}72\%$, con un rango entre 36 a 40 años se encuentra el $4{,}54\%$, con un rango mayor de 40 años se encuentra el $9{,}09\%$. En cuanto a su nivel de estudios, la mayoría contaba con estudios universitarios completados, títulos universitarios $(31{,}81\%)$, seguidos de títulos de posgrado $(4{,}54\%)$.

 ISSN: 2007 8102

Los participantes en la muestra 2 fueron 46 egresados de la carrera de ingeniería industrial en diferentes organizaciones industriales, comerciales y de servicios, desempleados y titulados. Participaron más hombres (60,87%) que mujeres (39,19%), con un rango de 20 a 25 años. En cuanto a su nivel de estudios, la mayoría contaba estudios universitarios completados (52,17%), seguidos de con título universitario (47,83%).

Los cuestionarios fueron enviados y recogidos en forma digital a través de la plataforma oficial del Instituto Tecnológico de Mexicali, y procesados a través de Google Workplace (Google forms) y Oficinas de servicios sociales utilizando los correos institucionales de los participantes, estos recibieron instrucciones e información sobre el procedimiento para llenar el cuestionario. Los investigadores enfatizaron que los datos proporcionados por los participantes eran anónimos y que no había respuestas correctas o incorrectas, la participación fue totalmente voluntaria, las respuestas fueron anónimas, el consentimiento obtenido de los participantes fue informado y por escrito, y la muestra no recibió compensación económica alguna.

Para la prueba piloto representada por 18 egresados, se pesaron los valores por cada factor obtenidos del análisis de empleabilidad que 15 de ellos se encontraban trabajando y tuvieron una puntuación acorde con el peso asignado a cada factor, 1 (5,55%) de los egresados su puntuación se encontraba fuera de los valores esperados para el análisis de empleabilidad, 3 de ellos contestaron que no se encontraban laborando y de acuerdo al peso asignado a los factores es coherente con el resultado.

Para la prueba de 46 egresados, se pesaron los valores por cada factor obteniéndose del análisis de empleabilidad que 40 se encontraban trabajando y tuvieron una puntuación acorde con el peso asignado a cada factor, 3 (6,52 %) de los egresados su puntuación se encontraba fuera de los valores esperados para que estuviera trabajando, 3 de ellos contestaron que no se encontraban laborando y de acuerdo al peso asignado a los factores es coherente con el resultado.

El alfa de Cronbach fue de 0,82 para la prueba piloto (18 egresados) indicando que la magnitud en que los ítems de un instrumento están muy altamente correlacionados.

El alfa de Cronbach fue de 0,78 para la prueba completa (46 egresados) indicando que la magnitud en que los ítems de un instrumento están Altamente correlacionados.

Para la prueba piloto (18 egresados), en la categoría de “comportamientos protectores del empleo” de los egresados que no están laborando o están laborando, pero no en su profesión, el 55,55% refleja un alto nivel de indiferencia ante el compromiso y la responsabilidad de tareas.

En cuanto a la categoría de “riesgo laboral”, el 94,44% de los egresados refleja una falta de iniciativa, constancia y perseverancia en el desempeño de actividades, a la vez de una alta indiferencia.

En la categoría de “búsqueda de empleo”, el 94,44% se observa que se presentan factores como la falta de seguridad, habilidades de comunicación y competencias de su profesión, que le impiden al egresado encontrar un empleo.

En la categoría de “autocontrol”, 27,77% se manifiesta un buen manejo de sus emociones al controlar molestia o ira ante ciertas situaciones de estrés.

Y finalmente en la categoría de “autoaprendizaje” el 11,11% refleja un nivel de falta de disposición a darse la oportunidad de aprender o mejorar en las distintas áreas de oportunidad que se pudieran presentar en un trabajo. Para la prueba completa (46 egresados), en la categoría de “comportamientos protectores del empleo” de los egresados que no están laborando o están laborando, pero no en su profesión, el 78,26% refleja un alto nivel de indiferencia ante el compromiso y la responsabilidad de tareas.

En cuanto a la categoría de “riesgo laboral”, el 100% de los egresados refleja una falta de iniciativa, constancia y perseverancia en el desempeño de actividades, a la vez de una alta indiferencia.

En la categoría de “búsqueda de empleo”, el 63,04% se observa que se presentan factores como la falta de seguridad, habilidades de comunicación y competencias de su profesión, que le impiden al egresado encontrar un empleo.

 ISSN: 2007 8102

En la categoría de “autocontrol”, 4,35% se manifiesta un buen manejo de sus emociones al controlar molestia o ira ante ciertas situaciones de estrés.

Y finalmente en la categoría de “autoaprendizaje” el 4,35% refleja un nivel de falta de disposición a darse la oportunidad de aprender o mejorar en las distintas áreas de oportunidad que se pudieran presentar en un trabajo.

Conclusiones

En el análisis de las 5 categorías de empleabilidad: 1 búsqueda de empleo, 2 autoaprendizaje, 3 protectores del empleo, 4 riesgo laboral y 5 autocontrol, aplicada a 46 voluntarios egresados del Instituto Tecnológico de Mexicali de la carrera de Ingeniería Industrial, se encontró con alguna de las 2 situaciones siguientes: no estar laborando o estar laborando pero no en su profesión, en términos de porcentajes, nos arrojó que el 6,52% no está laborando y el 17,39% de las personas están laborando pero no en su profesión.

Dentro de los demás hallazgos encontrados de este grupo de personas, se observa indiferencia de sus respuestas hacia cada una de las 5 categorías establecidas, exceptuando el “autoaprendizaje”, colocando en primer plano a las categorías de “protectores del empleo” y “riesgo laboral”, siguiendo posteriormente con “búsqueda de empleo” y finalmente “autocontrol”.

Además podemos concluir que los egresados que no están laborando o están laborando pero no en su profesión, son personas que estarían dispuestas a darse la oportunidad de aprender o mejorar en las distintas áreas de oportunidad que se pudieran presentar en un trabajo, esto dado por la categoría de “autoaprendizaje”; también se manifiesta un buen manejo de sus emociones al controlar molestia o ira ante ciertas situaciones de estrés, debido a las preguntas planteadas en la categoría de “autocontrol”; en la categoría “protectores del empleo” se refleja un alto nivel de indiferencia ante el compromiso y la responsabilidad de tareas; en cuanto a la categoría de “riesgo laboral” se refleja una falta de iniciativa, constancia y perseverancia en el desempeño de actividades, a la vez de una alta indiferencia; y finalmente en la “búsqueda de empleo”, que es la categoría con mayor porcentaje de respuestas negativas, observamos que se presentan factores como la falta de seguridad, habilidades de comunicación y competencias de su profesión, que le impiden al egresado encontrar un empleo.

Referencias

[1] Secretaría de Educación Pública. (2020). Programa Sectorial de Educación 2020-2024. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/562380/Programa_Sectorial_de_Educaci_n_2020-2024.pdf

[2] OCDE. (2019). La educación superior en México: Resultados y relevancia para el mercado laboral. https://www.oecd.org/employment/educacion-superior-en-mexico-a93ed2b7-es.htm

[3] OCCMundial. (2019). Elevar nivel de empleabilidad en México: ¿Mito o realidad? Recuperado de https://www.occ.com.mx/blog/elevar-empleabilidad-mito-o-realidad/

[4] Ruiz Lara, L. (2020). Noción de Empleabilidad: Una mirada desde la perspectiva de las organizaciones. Guía N° 1: Trabajo en Pareja. Instituto Superior de Comercio de Talca.

[5] Navarro Cendejas, J. (2012). La inserción laboral de los egresados universitarios. Perspectivas teóricas y tendencias internacionales en la investigación. ANUIES.

[6] Martínez Martín, R. (2003). La inserción laboral de los universitarios a través de las prácticas en empresas. Reis. Revista Española de Investigaciones Sociológicas, 27

[7] Rosenberg, S., Heimler, R., & Morote, E. (2012). Basic employability skills: A triangular design approach. Education + Training, 54(1), 7-20. https://doi.org/10.1108/00400911211198869

[8] Pérez Cruz, O. A., & Pinto Pérez, R. (2020). Determinantes de la inserción laboral en egresados universitarios en México. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, 10(20), 127-150. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-74672020000200127.

[9] McQuaid, R.W., & Lindsay, C. (2002). The 'Employability Gap': Long-Term Unemployment and Barriers to Work in Buoyant Labour Markets. Environment and Planning C: Government and Policy, 20(4), 613-628. https://doi.org/10.1068/c22m

[10] Llinares Insa, L. I., González-Navarro, P., Zacarés González, J. J., & Córdoba Iñesta, A. I. (2018). Employability Appraisal Scale (EAS): Development and Validation in a Spanish Sample. Frontiers in psychology, 9, 1471. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01471

 ISSN: 2007 8102

Experiences of teachers and students for the development of engineering skills in a context of confinement.

M. V. Chan Pavón[1], J.F. Escalante Euán[2], R.J. Gil Herrera[3], A. García Lira[4]*
[1]Universidad Americana de Europa (UNADE), Universidad Autónoma de Yucatán, cpavon@correo.uady.mx
[2] Universidad Autónoma de Yucatán, jesus.escalante@correo.uady.mx
[3] UNADE, Universidad Internacional de La Rioja (UNIR), richard.dejesus@aulagrupo.es
4 Universidad Autónoma de Yucatán, glira@correo.uady.mx

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

La investigación explora las experiencias de profesores y estudiantes de la carrera de ingeniería industrial durante el confinamiento, donde se han evaluado las competencias para diseñar e implementar un programa de mejora continua a través de una situación problemática real. Se aplicó una técnica de análisis factorial múltiple para evaluar el despliegue de prácticas docentes en escenarios reales de aprendizaje. Se está desarrollando un marco modelo para sistematizar la evaluación del aprendizaje basado en proyectos, identificar los componentes clave y evaluar en qué medida contribuyen al fortalecimiento de las competencias genéricas, disciplinarias y profesionales. Como resultados obtenidos, el 58% de los participantes reportaron no tener experiencia previa utilizando la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos. Sin embargo, las expectativas y motivación en la configuración y estructura del proyecto integrador fueron cubiertas en un 92%. En conclusión, tanto las etapas del ABP como las competencias de graduación están fuertemente correlacionadas. La metodología ABP contribuye a fortalecer la comunicación efectiva, el trabajo en equipo, la identificación de problemas, el diseño y la resolución de problemas.

***Palabras clave**: Competencias, Aprendizaje basado en proyectos, virtual, confinamiento.*

Abstract

The research explores the experiences of professors and students of the industrial engineering program, where the competencies to design and implement a continuous improvement program have been evaluated through a real problem situation. A technique of multiple factorial analysis had applied to assess the deployment of teaching practices in real learning scenarios. A model framework is being developed to systematize the evaluation of project-based learning, identify the key components and assess to what extent they contribute to strengthening generic, disciplinary and professional competences. As results obtained, 58% of the participants reported not having previous experience using the Project-Based Learning methodology. However, the expectations and motivation in the configuration and structure of the integrating project were covered by 92%. In conclusion both the PBL stages and the graduation competencies are strongly correlated. The PBL methodology strengthens effective communication, teamwork, problem identification, design and resolution of solutions.

***Key words**: Skills, Project based learning, virtual, Confinement.*

ISSN: 2007 8102

Introduction

The research describes the lessons learned from the design of a model used to evaluate project-based learning and to assess to what extent they contributed to strengthening generic, disciplinary and professional skills in students based on the Competency Model. The research propose the use of various technologies and design of relevant materials for the construction of learning in the virtual modality. The courses that were part of the study were: Methods Engineering I, Methods Engineering II, Planning and Design of Facilities and Theory of Systems and Processes. The framework model uses an online platform for training the students in the discipline, which allowed the administration of resources, the management of learning activities and the implementation of evaluation instruments figure 1.



Figure 1. Virtual (online) platform.

Objective

The objective of these research, consisted of exploring the perception that students and professors have about the development of competences defined for the courses and assess whether there are linear relationships between the variables.
The two objectives search to summarize the correlation matrix and find for synthetic variables to answer the following questions: Will be similarities between individuals for all variables? Is it posible to establish different profiles of individuals to strengthen strategies during the teaching-learning process?

In addition, by documenting the experiences and lessons learned from the different phases of the process, especial attention has been placed on some of the benefits suggested by [2]:

- Provide skills during the collection, organization, synthesis, use, and dissemination of knowledge generated by the PBL in real learning scenario.
- Develop the learning capacity of the participants through the use of PBL.
- Identify to what extent the PBL contributes to the development of graduation skills.

To facilitated the learning evaluation process, a methodological framework has proposed (figura 2) to systematize the evaluation and documentation of data and evidence in the different stages. Each stage has been necessary to obtain pertinent information and assess the impact of the PBL and its associated variables.

 ISSN: 2007 8102

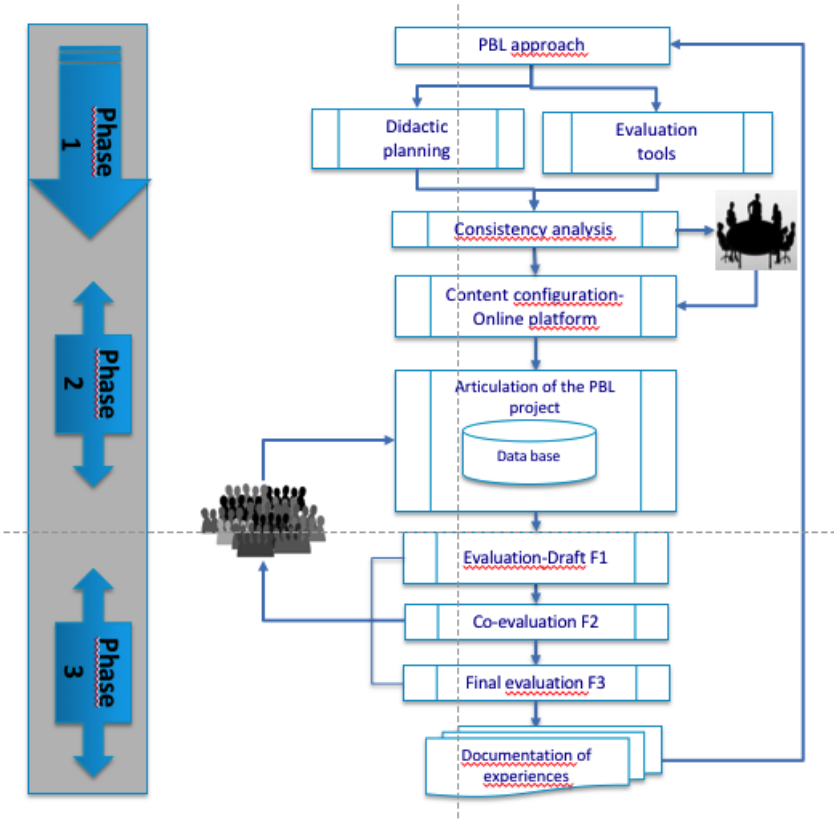


FIgure 2. Conceptual model for learning assessment.

Project based learning an approach

Project Based Learning (PBL) had its roots in the progressive era Dewey in 1902, who advocated a student-centered approach to education that would engage students in experiences as active participants in learning, thus promoting interest and motivation [2]. The PBL has based on the main theoretical ideas based on research: (a) active construction [7], (b) situated learning [8], (c) social interactions [13], and (d) cognitive tools [6]. There are many different versions of PBL environments [9] [14]. PBL approaches share a set of features: ones The Leading Question (DQ), where the students explore that question engaging in situated and authentic inquiry practices as part of a collaborative activity. The professor structuring the student learning focused in the learning objectives. On the other hand, the students create a set of products that address the leading question [8].

The PBL helps students to obtain best performances in real scenarios or simulated activities specific to the context. In the same way, it offers results of quantitative feedback as well as qualitative [4].

Metodology

Materials

For the analyses, we used the RStudio software (version 0.99.491). The collection of the analyzed data corresponds to a set of variables that were obtained during the exit evaluation at the end of the project implementation.

Design of the tool for collecting information

 ISSN: 2007 8102

The evaluation instruments were evaluated by expert professionals in the area and were administered through the online platform during the 2021 academic year.

The tool was designed in four dimensions, the first explores student profiles solely based on their assessments. The active variables will be only those that concern the impact scores obtained in each of the PBL stages (1. Define the Problem, 2. Solution Criteria, 3. Solution Research, 4. Pick a Solution, 5. Create, Run and Inspect Solution, and 6. Reflect on Solution). The other variables were: Challenge (categorical variable that assessed whether the project was stimulating or not), Skills (assesses the qualification regarding the development of disciplinary and generic competencies achieved during the course), and finally (Score) the final score obtained in the course from 0-100 categorized on a scale of 1-5.

The second defines the generic and disciplinary skills in situations involving problem identification, resolution, design, effective communication and teamwork (Skills). The third dimension is made up of the final score obtained in the course (Score). Finally, the fourth dimension assesses the student's expectations regarding the challenges of the project (Challenge).

Through the pre-test, the semantic coherence and discrimination of those items that were confusing or inconsistent were verified. The survey included gender, final score, 6 items related to the PBL and five items to assess the development of the Skills (Table 1).

Table 1. Variables of interest.

Variable	Descripción	Escala
PBL	Score in each of the stages of the process.	Likert scale (1-5)
Skills	Assessment of the degree of compliance with the competencies.	Thurston scale (1-10)
Score	Final score obtained by the student.	Final score (0-100)
Challenge	Evaluation of the expectation of the project.	Likert scale (1-5)

Methods

The main objective of the following methods is to analyze the common structure of the different data tables, revealing which elements are heterogeneous, that is, different from the rest. In addition to the classic results, the global measures of relationship between the groups allow quantifying the global similarity between them with partial indicators according to the methodology of [3].

Multivariate methods

The purpose of multivariate analysis is to measure, explain and predict the degree of relationship that exists between the variation (weighted linear combination of variables). The multivariate character of the analysis rests not only on the number of variables but also on the multiple combinations existing between the variables.

The first method is the Principal Component Analysis, ACP, considers a matrix R of data non-symmetric character initials: their components, rij, are numerical values that continuously measure the jth variable (columns) in the i–th individual (rows). So, we have a data table R = (rij); i = 1, . . . , n; j = 1, . . . , p; on which we are going to carry out in the first place the analysis in Rp, after specifying the matrix X.

The second analysis will be the Multiple Factor Analysis (MFA). It is a factorial method that allows the simultaneous analysis of several groups of variables given a set of individuals [1] [5]. The MFA is considered as a PCA Principal Component Analysis, given the influence and balance between the groups and the variables, the latter can be different even in nature and number. The only restriction is that the variables that make up a group are of the same nature, quantitative or qualitative. The MFA aims to compare the typologies of individuals at a global and group level. The objective of the analysis is to assess the stability of the results obtained in a PCA. The data structure

 ISSN: 2007 8102

starts from a table X composed of I rows and K columns that provide each of the i individuals of a population of the measures of K variables. The steps for this analysis are as follows:

1. Partial analysis. Performs a normed PCA of each data table (k=1, ..., K) and retains the first eigenvalue of each of them.
2. Overall analysis. It performs a PCA of the global table that results from juxtaposing all the tables, each of which was previously weighted by the inverse of the first eigenvalue obtained in the first stage. Through this weighting it is possible to maintain the structure of each table, since all the variables have received the same weighting, but it manages to balance the influence of the groups, since the maximum inertia of each of the clouds of individuals defined by the different groups, with value 1 in any direction.

The RV coefficient can be used as a measure of similarity between two configurations; is defined as the dot product between pairs of matrices (the Hilbert-Schmidt product), see also [10] [12]; this scalar product induces a norm and therefore a distance. If the vector correlation between two matrices is equal to unity, this means that both matrices are equivalent in the sense that both structures are congruent, that is, the closer to one, the more similar the structures will be. In contrast, if the results are equal to zero, it means that there is no relationship between the variables of the two groups considered. This measure is completed with the coefficients Lg that can be ordered in a matrix of order KxK and that measure the dimensionality (number of factors of considerable inertia) of each group.

Results

The population was made up of 364 students who took the subjects Methods Engineering I, Methods Engineering II, Systems and Process Theory, and Facilities Planning and Design. Table 2 describes other relevant characteristics regarding the profile of the participants, groups and equivalent semesters, both belonging to the educational model by competencies.

Table 2. Descriptive statistics

Gender	No	Groups	No	Semester
		IM2	113	6
Men	132	IM1	115	5
Women	232	TSP	106	4
		PDI	30	7

According to the survey at the beginning of the course, 58% of the participants reported not having had previous experience participating in projects with a focus on PBL. Regarding whether the configuration of the project allowed them to meet their expectations (Challenge), as well as whether the configuration and structure of the integrating project was stimulating for them (Stimulate), both items were positively valued with 92%.

 ISSN: 2007 8102

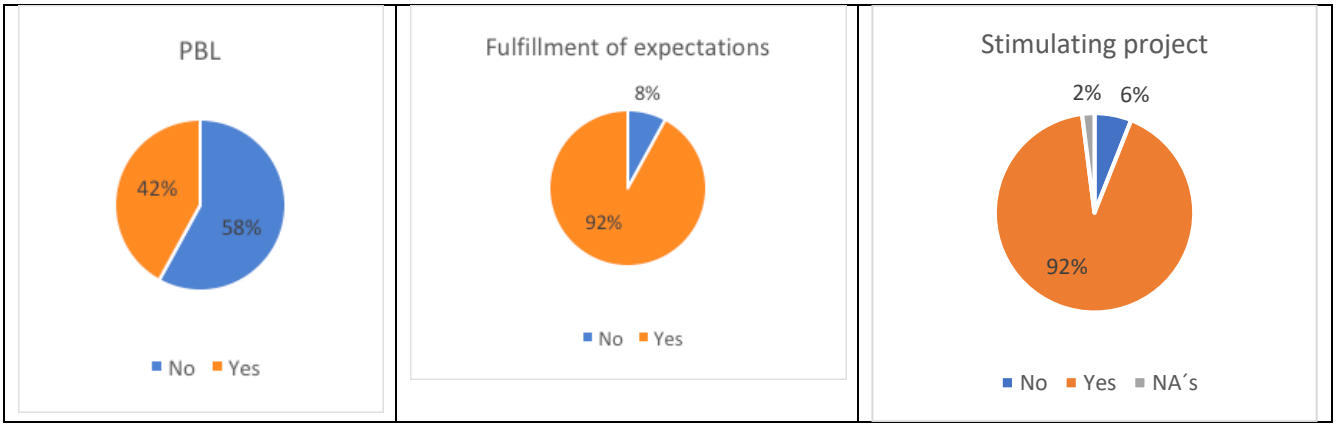


Figure 3. Preliminary results of the project

The set of variables are represented in the factorial plane Figure 4a; Figure 4b identifies all the variables represented in two dimensions of the factorial plane. From now on it is possible to infer some important correlations for each of the two dimensions. For example, both the development of the skills acquired during the project (Skills) according to the PBL methodology are part of two dimensions. However, the final score (Score) and the evaluation with respect to the expectation of the project only maintain a correlation with the first.

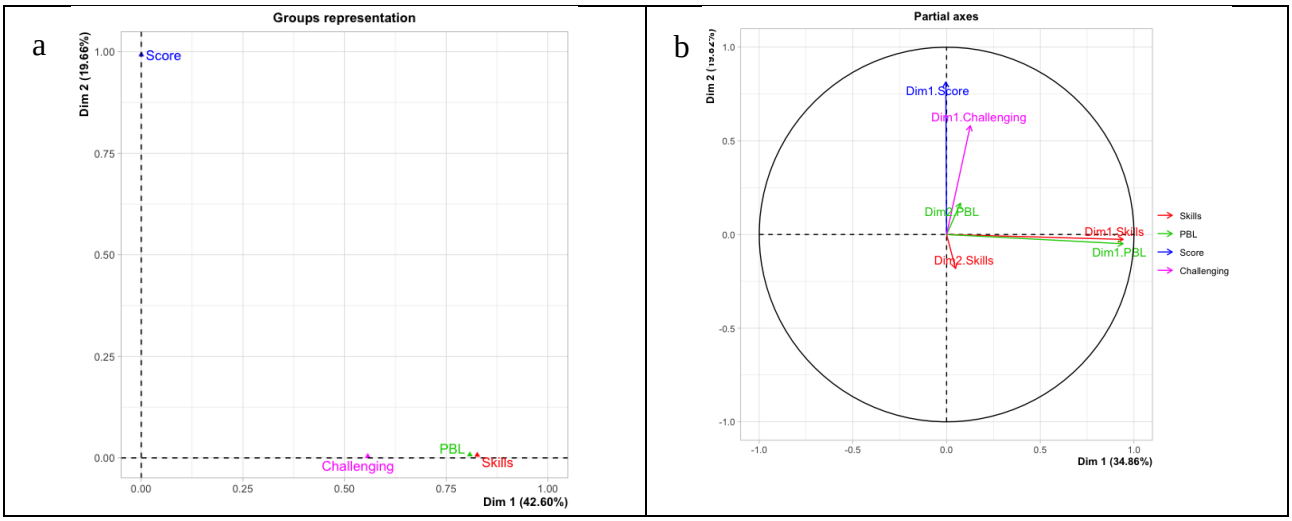
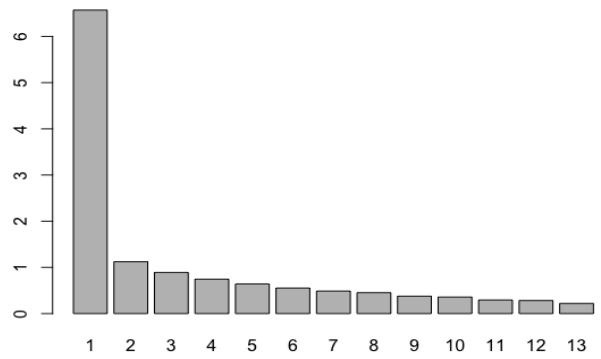


Figure 4. Variable Group of engineering skills in a context of confinement approach

According to stage 1 described in Figure 2, a normed PCA was proposed in each data table. Figure 5a describes the results associated with the thirteen components, the first being the most important and representative, as can be seen in Figure 5b. It is also observed that 83% of the variables are explained and correspond to the first five components Figure 5c. This characteristic is relevant for the study since it allows us to discriminate the first factorial axes, then analyze their impact and their correlation.

 ISSN: 2007 8102

a



b

1	2	3	4	5
6.570	1.123	0.891	0.745	0.642

c

	eigenvalue	percentage of variance	cumulative percentage of variance
comp 1	2.192	42.596	42.596
comp 2	1.012	19.664	62.260
comp 3	0.598	11.623	73.883
comp 4	0.289	5.613	79.496
comp 5	0.195	3.792	83.288
comp 6	0.149	2.896	86.184
comp 7	0.144	2.801	88.985
comp 8	0.128	2.491	91.476
comp 9	0.118	2.299	93.775
comp 10	0.103	2.006	95.781
comp 11	0.082	1.598	97.380
comp 12	0.076	1.470	98.849
comp 13	0.059	1.151	100.000

Figure 5. Global eigenvalues.

Table 3 illustrate the correlations linked to the first dimensión, where the main characteristics, similarities and differences of the variables are represented, they stand out in the first dimension: criteria (0.813), define (0.809), Team work and pick sol and final score (0.797) in the second dimension. For this research work we have discriminated the last three components, since the variables are particularly represented in the first two.

Table 3. Correlation coefficients between partial factors of engineering skills in a context of confinement approach

	correlation	p.value
Q32_Criteria	0.813	1.33E-82
Q31_Define	0.809	5.40E-81
Q03_Final.score*	0.797	5.75E-77
Q30_Team.work	0.765	1.30E-67
Q34_Pick.Sol	0.761	2.00E-66
Q26_Identification	0.755	8.02E-60
Q29_Effective.communication	0.749	3.43E-63
Q27_Resolution	0.741	3.34E-61
Q36_Reflect	0.737	3.00E-60
Q33_Research	0.720	2.07E-56
Q35_Create	0.712	1.19E-54
Q28_Design	0.709	6.65E-54
Q04_Challenging	0.583	9.26E-33

*2nd dimension

The correlation between the partial factors of each of the variables and the main components have summarized in Table 4, where the main characteristics, similarities and differences are represented on the first axis the variables Leadership (0.621), Role (0.652) and Semester (0.890). In the second axis it is made up of Age (0.874) as the predominant one, in axis 3 again Leadership (0.877) and Role (0.576) among the most important.

 ISSN: 2007 8102

For this research we have discriminated the last three components, since the variables are particularly represented in the first two components.

Table 4. Square cosines of the partial factors of engineering skills in a context of confinement approach

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
Q03_Final.score	0.000	0.635	0.329	0.005	0.020
Q04_Challenging	0.340	0.014	0.001	0.478	0.113
Q26_Identification	0.571	0.009	0.018	0.083	0.068
Q27_Resolution	0.549	0.034	0.000	0.025	0.127
Q28_Design	0.502	0.030	0.153	0.031	0.006
Q29_Effective.communication	0.560	0.107	0.092	0.009	0.003
Q30_Team.work	0.586	0.069	0.099	0.001	0.042
Q31_Define	0.654	0.012	0.003	0.004	0.000
Q32_Criteria	0.661	0.010	0.003	0.011	0.061
Q33_Research	0.519	0.005	0.014	0.050	0.183
Q34_Pick.Sol	0.579	0.095	0.077	0.009	0.001
Q35_Create	0.507	0.072	0.077	0.013	0.015
Q36_Reflect	0.543	0.029	0.025	0.025	0.002

Figure 6a shows that most of the vectors are strongly related to the variable (challenging). It can be concluded that the project had a very important impact for the development of the five competencies and additionally a good response for each stage of the PBL process. Both groups of variables are strongly correlated, in figure 6b an angle with stable behavior in both environments is illustrated.

In relation to the first factorial plane, an important relationship between the variables (Q29, Q30 and Q31, Q32 and Q33) associated with (challenging) is identified. The second factorial plane correlates the variables (Q26, Q27 and Q28 with the variables (Q34, Q35 and Q36). Some important conclusions are: both the stages of the pBL and the graduation competencies are strongly correlated. The PBL being an important factor for strengthening effective communication, teamwork, problem identification, solution design and resolution. Likewise, the PBL stages such as Define, criteria, research, pick solution, create yourself and reflect have been decisive in achieving the achievements identified with the variables (Challenging and score).

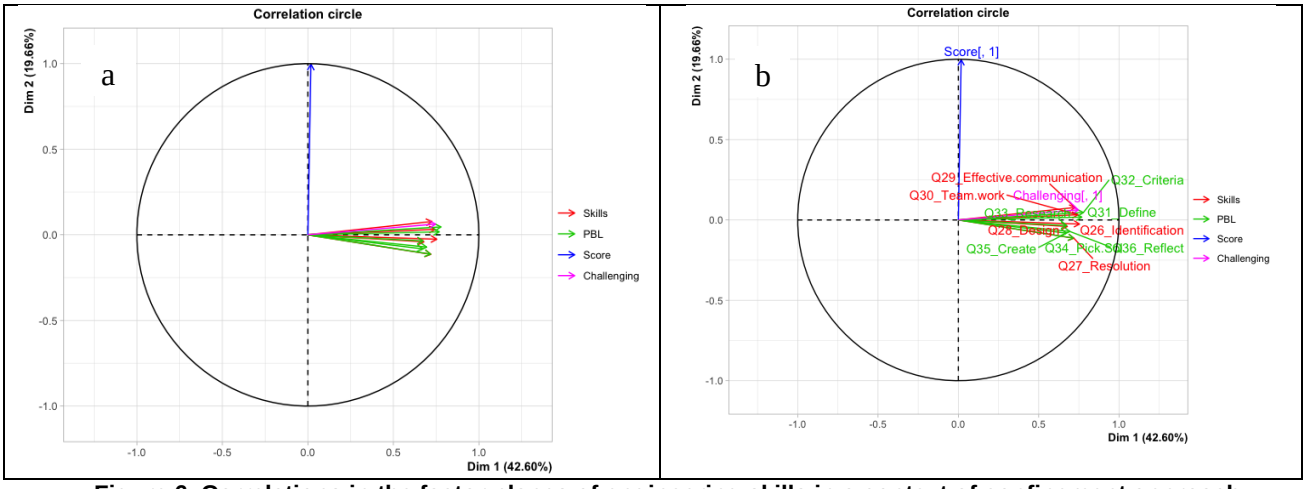


Figure 6. Correlations in the factor planes of engineering skills in a context of confinement approach

In conclusion, we can conclude that the representations of the two analysis groups on the first two global axes reflect a common reality for all the study variables. The global factor (Challenging) had a better performance for

 ISSN: 2007 8102

the variables effective communication, teamwork and for the PBL stages such as criteria, define, design and all with very significant responses associated with the variable (Score).

Future work

Future research guides us to explore new findings by incorporating alternative factors into the study, such as the degree of development of competencies and their contrasts between interest groups. As well as extending this study towards the impacts of these same factors in professional practices.

Conclusions

Multiple Factor Analysis (MFA) is a statistical technique used to analyze and draw conclusions from a dataset that includes multiple sets of variables. It aims to identify relationships and patterns among these variables to provide insights into the underlying structure of the data.

Variable Grouping: MFA can reveal which variables tend to cluster together. For example, it might show that leadership, effective communication, and teamwork are strongly related, suggesting that these factors are interdependent when assessing team performance (see Dim 1, Table 4).

Key Drivers: MFA can identify which variables have the most significant influence on the overall performance or outcome you are studying. It might show that "meeting expectations" (Q04_Challenging) and "effective communication" (Q29) are the most critical factors in determining success, while "creativity" (Q34) and "design" (Q35) have a weaker association.

Dimension Reduction: MFA can reduce the dimensionality of your dataset by summarizing the relationships among the variables into a smaller number of factors or components. For instance, it might reveal that all the variables can be summarized into three main factors: leadership/teamwork, effective communication, and creativity/design.

Correlation Strength: MFA can quantify the strength and direction of correlations between different variables. You might find that "meeting expectations" and "resolution" are negatively correlated, suggesting that when one is high, the other tends to be low.

Factor Loadings: MFA provides factor loadings, which indicate the degree to which each variable contributes to a particular factor. This can help prioritize areas for improvement. For example, if "teamwork" has a high factor loading on the "leadership/teamwork" factor, it suggests that focusing on teamwork is essential for improving team performance.

Interactions and Confounding: MFA can reveal interactions and confounding effects between variables. It might show that effective communication has a stronger positive effect on meeting expectations when combined with creativity.

Recommendations: Based on the conclusions drawn from MFA, you can make recommendations for improving the assessed aspects. For instance, if teamwork and leadership are closely related, you might recommend leadership training to enhance overall team performance.

In summary, Multiple Factor Analysis allows you to explore and understand the relationships between multiple variables, enabling you to make informed decisions and recommendations to optimize the aspects of interest in your dataset. The specific conclusions you draw will depend on the data and the relationships it reveals during the analysis.

References

 ISSN: 2007 8102

[1] Abdi, H., Williams, L. J., & Valentin, D. (2013). Multiple factor analysis: Principal component analysis for multitable and multiblock data sets. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 5, 149–179. https://doi.org/10.1002/wics.1246
[2] Alves, A. C., Sousa, R. M., Fernandes, S., Cardoso, E., Carvalho, M. A., Figueiredo, J., & Pereira, R. M. S. (2016). Teacher's experiences in PBL: implications for practice. European Journal of Engineering Education, 41(2), 123–141. https://doi.org/10.1080/03043797.2015.1023782
[3] Bécue-Bertaut, M., & Pagès, J. (2008). Multiple factor analysis and clustering of a mixture of quantitative, categorical and frequency data. Computational Statistics and Data Analysis, 52, 3255–3268. https://doi.org/10.1016/j.csda.2007.09.023
[4] Brown, S., & Pickford, R. (2013). Evaluación de habilidades y competencias en educación superior. Narcea.
[5] Escofier, B. (2003). Analyse des correspondances (P. Dunod (ed.)).
[6] Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. a. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). Educational Psychologist, 42(2), 99–107. https://doi.org/10.1080/00461520701263368
[7] Hunter-Doniger, T. (2018). Project-Based Learning: Utilizing Artistic Pedagogies for Educational Leadership. Https://Doi.Org/10.1080/00043125.2018.1414542, 71(2), 46–51. https://doi.org/10.1080/00043125.2018.1414542
[8] Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. Improving Schools, 19(3), 267–277. https://doi.org/10.1177/1365480216659733
[9] Kolmos, A., Graaff, E. D. E., & Du, X. (2009). Diversity of pbl – pbl learning principles and models. In Research on PBL Practice in Engineering Education (pp. 9–21). https://doi.org/10.7771/1541-5015.1180
[10] Lebart, L., Salem, A., B. M. (2000). Análisis estadístico de textos (Milenio (ed.)).
[11] Murata, R. M., Moss, M. E., Wright, W., & Pardi, V. (2021). Knowledge to action: Integrating evidence-based practice into online PBL cases during COVID-19. In Journal of Dental Education (Vol. 85, Issue S3, pp. 1938–1939). John Wiley and Sons Inc. https://doi.org/10.1002/jdd.12594
[12] Pagès, J. (2004). Multiple factor analysis: Main features and application to sensory data. Revista Colombiana de Estadistica, 27, 1–26.
[13] Pravita Sari, P., & Ardianti, D. (2021). Implementation of Problem Based Learning (PBL) on Interactive Learning Media. Journal Of Technology And Humanities, 2(2), 24–30. https://doi.org/10.53797/jthkkss.v2i2.4.2021
[14] Thomas, J. W. (2000). A Review of Research on Project-Based Learning. Learning, 94903, 46. https://doi.org/10.1007/s11528-009-0302-x

 ISSN: 2007 8102

Realidad virtual inmersiva como método para descontextualizar aprendizajes en educación superior

G. Sánchez García[1*]
[1] *Estudiante del posdoctorado en ciencias por la Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores, Michoacán, México.* gaspar.sg@tuxtepec.tecnm.mx

Resumen
La presente revisión sistémica de la literatura, tiene el propósito de brindar al lector información sobre la realidad virtual inmersiva (RVI) como método de descontextualización del aprendizaje en nivel superior; se utilizó la metodología de revisiones sistemáticas exploratorias propuesta por Arksey y O'Malley con metaanálisis, la muestra integró 26 artículos que fueron resultado de establecer fórmulas con operadores en buscadores académicos de investigación y de una criba con el instrumento del Doctor Colín; obteniendo 13 artículos filtrados. El análisis estadístico de normalidad se realizó con Kolmogórov-Smirnov y el análisis de medias con ANOM. Los resultados obtenidos son los siguientes: La RVI es una herramienta eficaz para descontextualizar el aprendizaje en las aulas; sin embargo, al ser una tendencia de reciente irrupción en el ámbito educativo, no existe en México suficiente software de RVI para los temarios de universidad y la RVI no puede utilizarse en educación inclusiva.

Palabras clave*: Realidad virtual, Inmersiva, Universidad, Descontextualizar.*

Abstract
The present systemic review of the literatura, has the purpose of providing the reader with information about immersive virtual reality (VRI) as a method of decontextualizing learning at a higher level; the methodology of exploratory systematic reviews proposed by Arksey and O'Malley with meta-analysis was used. , the sample integrated 26 articles that were the result of establishing formulas with operators in academic research search engines and a sieve with the instrument of Doctor Colín; obtaining 13 filtered articles. The statistical analysis of normality was performed with Kolmogorov-Smirnov and the analysis of means with ANOM. The results obtained are the following: RVI is an effective tool to decontextualize learning in the classroom; however, as it is a recent trend in the educational field, there is not enough RVI software in Mexico for university syllabuses and RVI cannot be used in inclusive education.

Key words: *Virtual reality, Immersive, University, Decontextualize.*

Introducción
Durante mucho tiempo, la cátedra en nivel superior se centró en establecer una transferencia de conocimiento práctico, la cual se basó en escritos y métodos dialógicos; actualmente, la digitalización ha marcado un nuevo rumbo para las instituciones, introduciendo nuevas didácticas basadas en la construcción y distribución del conocimiento a través de la descontextualización del aprendizaje. Esta es una técnica aplicada a un tema escolar en el cual, el conocimiento es extraído de los contextos tradicionales para recontextualizarlo en un ambiente de trabajo con la finalidad de transformarlo en un tema y un instrumento de actividad cognitiva para los alumnos.

Diversos estudios confirman que los videojuegos son una tecnología educativa de utilidad dentro de las aulas, porque arrojan beneficios significativos para el proceso de enseñanza-aprendizaje. Por ende, la misma esencia de la RVI provee un medio eficaz para descontextualizar diversos tópicos en nivel superior y recontextualizarlos en un ambiente virtual controlado; empero, esta tecnología per se no debe ser considerada autónoma sino de apoyo, ya que requiere la supervisión directa de los docentes. Durante la pandemia, se desarrolló la aceleración de la evolución de la educación por medio de la creación de entornos virtuales de aprendizajes (EVA) [1], y la realidad virtual favorece el uso de dichos ambientes y además proporciona escenarios educativos que no son accesibles para la mayoría de las instituciones de nuestro país [2].

El Observatorio de Innovación Educativa del Instituto Tecnológico de Monterrey en su informe EduTrends [3], define la Realidad Virtual (RVI) como "la inmersión en la simulación digital de un mundo en el que el usuario puede manipular los objetos e interactuar con el ambiente".

 ISSN: 2007 8102

La creación de los nuevos modelos pedagógicos debe considerar primordialmente los objetivos, propósitos y conocimientos que se desean potenciar en los alumnos, para que de esta manera se construyan las estrategias didácticas que incluyan las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), no como simples herramientas de comunicación sino como herramientas de formación que propicien un conocimiento de valor en los estudiantes [4]. En consecuencia, la tecnoeducación definida por Mujica-Sequera [5]: como “la práctica pedagógica apoyada en tecnología, posee la capacidad de interconectar distintas dimensiones”.

Por su parte Sousa Ferreira et al. [6] describen las características que definen la realidad virtual inmersiva de la siguiente manera:.

- Medio comunicativo.
- Necesita la inmersión física.
- Otorga simulación sensorial a los usuarios.
- Es interactiva.
- Tiene la capacidad en algunos casos de sumergir mentalmente al usuario.

Esta tecnología emergente se encuentra a la vanguardia y, por ende, la investigación de los efectos tanto positivos como negativos en el proceso de aprendizaje se encuentra en una etapa de expansión [3].

Metodología

Para desarrollar la presente revisión sistemática exploratoria, se aplicó la metodología desarrollada por Arksey y O’Malley [7] combinada con el metaanálisis, en la Figura 1, se puede observar las 8 fases en la que consistió la metodología aplicada:



Figura 1. Metodología para revisión sistemática de la literatura con metaanálisis.

1) Pregunta de investigación

La estructura de la pregunta de investigación se apoyó de la metodología PICO [8] (población, intervención, comparadores y resultados) los cuales se identificaron en el proceso como:

Población: Alumnos de educación Superior
Intervención: Realidad virtual inmersiva
Comparadores: Aprendizaje contextual vs tradicional.
Outomes (resultados): Descontextualización del aprendizaje

Al final, la pregunta quedó formulada de la siguiente manera: ¿Puede la realidad virtual inmersiva ser un método de descontextualización de las practicas pedagógicas tradicionales en la educación superior?

 ISSN: 2007 8102

2) Búsqueda de la literatura

En la Tabla1, se detallan los resultados de la búsqueda de información adecuando el texto al tema de interés; como puede observarse, en algunos buscadores no se obtuvieron artículos.

Tabla 1. Resultados de tipear el título "Realidad virtual inmersiva como método para descontextualizar aprendizajes en educación superior" al 7 de julio del 2023.

Buscador	*Artículos encontrados*
https://scielo.org/es/	0
https://www.redalyc.org/	650861
https://scholar.google.com/	368
https://dialnet.unirioja.es/	0
https://www.elsevier.com/es-mx	2040

3) Establecimiento de los criterios de selección.

Con la pregunta de investigación formulada y artículos disponibles sobre el tema de interés para su revisión, en Google Académico, Redalyc y Scopus, se realizó una búsqueda avanzada utilizando operadores para incluir la palabra realidad virtual y forzar que fuera inmersiva excluyendo aumentada y no inmersiva en educación superior o universidad, y que incluyera el criterio descontextualización entre el periodo 2018 a 2022, la expresión quedo de la siguiente manera adaptándola para cada buscador, los resultados se observan en la Tabla 2:

- Para Google Académico y elsevier:
  "realidad virtual"+"inmersiva"-"aumentada"-"no inmersiva" + "educación" + "Universidad" OR "Superior" + "descontextualización"
- Para Redalyc a través de Google académico, ya que Redalyc no tiene la opción de búsqueda avanzada solo filtros muy generales:
  "realidad virtual"+"inmersiva" + "educación" + "Universidad" OR "Superior" site:redalyc.org

Tabla 2. Resultados de tipear la formula con operadores en los buscadores que arrojaron artículos del tema de investigación al 7 de Julio del 2023.

Buscador	*Artículos encontrados*
https://www.redalyc.org/	29
https://scholar.google.com/	25
https://www.elsevier.com/es-mx	0

4) Recopilar publicaciones

Al ser la RVI una tecnología de reciente disrupción en el ámbito educativo, al igual que el concepto de descontextualización del aprendizaje; hay pocos estudios que incluyan ambas herramientas como paradigma en el proceso de enseñanza-aprendizaje en educación superior.

Para recopilar las publicaciones a considerar para la formulación del presente artículo se analizó el título, resumen, introducción y palabras clave, para determinar si obedecían o no al tema de interés; con los que si pertenecían, se revisaron completamente para dar respuesta a las siguientes preguntas. Figura 2.

1. ¿Qué hicieron?
2. ¿Cómo lo hicieron?
3. ¿Qué aporta a la pregunta de investigación?
4. ¿La información es útil para el marco teórico, conceptual o referencial?

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	No. Artículo	Título	Autores	Que hicieron?	Cómo lo hicieron?	A qué resultados llegaron?	Aporte a mi investigación		Tipo de marco
4	3	Aplicación de Realidad Aumentada para Laboratorios de Química	Diógenes Hernández, Elizabeth Bottner , Fernando Cataldo y Eduardo Zaragoza	Desarrollaron mediante realidad aumentada, tres experiencias de laboratorio que son comunes para todos los cursos de Química General, con el objeto de que los(as) alumnos (as) pudiesen realizar prácticas utilizando sus diferentes dispositivos digitales (Tablet, celulares y computadoras), para comprender mejor los contenidos tratados en el aula, por medio de los recursos virtuales y lúdicos.	Se seleccionaron 3 experimentos comunes de laboratorio que se ocupan en química general, para explicar los principios básicos de la ley de conservación de la materia, temperatura de ebullición y titulación ácido-base. Seleccionados los experimentos, se realizó una selección de materiales y reactivos, los cuales fueron modelados en 3D, utilizando el software de Blender versión 2.79. Utilizaron los softwares de UNITY3D para programar las prácticas. Las experiencias programadas y probadas se guardaron dentro de	Los resultados demostraron que un 91% de los alumnos y alumnas de las carreras de Ingeniería civil Mecánica e Ingeniería civil Mecatrónica, se sintieron familiarizados con esta potente herramienta informática, ya que es fácil de trabajar y muy interactiva, no haciendo tan necesario disponer de un laboratorio de Química, ya que utilizando esta tecnología es posible simular un proceso químico para demostrar muchas de las teorías del aula.	Realizaron una experiencia de RV programando 3 prácticas de laboratorio, que posteriormente instalaron y observaron la aceptación de los alumnos a dicha tecnología.	Los resultados de aceptación de la RV, y tipo de software para diseñar objetos 3D.	REFERENCIAL
	4	Virtual Reality Simulation-Based Learning / Aprendizaje basado en simulación con realidad virtual	Gonzalo Mariscal, Eva Jiménez , María Dolores Vivas-Urias, Sara Redondo-Duarte , Sonia Moreno-Pérez	Evaluaron el impacto de la simulación con realidad virtual (del inglés, VR-SBL) en el aprendizaje y satisfacción del estudiante.	Evaluaron dos casos: El primero consiste en una experiencia de formación en primeros auxilios ante una emergencia de tráfico mediante el uso de tecnología de realidad virtual inmersiva, donde se ha comparado cómo aprenden los estudiantes con esta nueva	La satisfacción de los estudiantes en los dos casos denota una valoración alta. Además, en el primer caso, el grupo experimental que utiliza la realidad virtual inmersiva mejora significativamente el rendimiento académico. En	Realizaron dos casos de estudio para medir el impacto de la RV inmersiva atendiendo un paciente de un accidente de trafico una contingencia en un laboratorio, al final	Concepto de RV y que es un tema de moda en la educación superior, el impacto de usar un Visor en lugar de una pc o telefono, establece un ranking de las mejoras marcas	REFERENCIAL

Figura 2. Ejemplo del procedimiento de recopilación de artículos.

Con los artículos cuya información era acorde al tema de investigación, se procedió a revisar las fuentes de referencia de cada artículo, con la finalidad de encontrar más investigaciones a fines que pudieron pasarse por alto en la fórmula de búsqueda; ya que existía poca concordancia en ambos paradigmas, al finalizar quedaron 26 artículos seleccionados.

5) Valoración de las publicaciones.

En la Tabla 3 se enlistan los criterios de selección o exclusión a los que fueron sometidos cada uno de los artículos que se seleccionaron en la etapa de recopilación.

Tabla 3. Preguntas que conforman la criba del Dr. Colín para el filtrado final de los artículos. Tomado de [9].

Preguntas	Respuestas
1. ¿El estudio proviene de una fuente de información confiable?	1. Universidades 2. Organizaciones 3. Artículos con ISBN, ISSN 4. Bibliotecas virtuales EBSCOHOST 5. Science Direct, etc. Si cumple al menos 1 de los anteriores = 4
2. ¿El estudio contiene la información de los elementos básicos de una investigación científica para efectuar una buena evaluación?	Factor — Valor Likert 1. Journal o conference — 0.4 2. Título y autores — 0.8 3. Resumen — 1.2 4. Palabras clave — 1.6 5. introducción — 2 6. Metodología — 2.4 7. Resultados — 2.8 8. Discusión — 3.2 9. Conclusiones — 3.6 10. Referencias — 4
3. ¿El artículo contiene al menos quince referencias bibliográficas para su respaldo?	Factor — Valor Likert 1. Referencia (1 a 5) — 1 2. Referencias (6 a 10) — 2 3. Referencias (11 a 14) — 3 4. Referencias (15 o más) — 4

 ISSN: 2007 8102

4. ¿El estudio muestra de forma clara el tipo de estudio que trata?	El estudio menciona lo siguiente: El para qué es el estudio (4)
5. ¿La redacción del artículo, es entendible?	La lectura del estudio está articulada gramaticalmente correcta (4)
6. ¿El estudio utiliza diagramas, gráficas u otros elementos que permiten una mayor comprensión del estudio?	Factor / Valor Likert 1. Tablas, diagramas y gráficas — 4 2. Diagramas y gráficas — 3 3. Diagramas — 2 4. Ninguna de lo anterior — 1
7. ¿El estudio se enfoca en la realidad virtual inmersiva en educación superior?	El estudio menciona claramente que se logró= 1- 4 (criterio del evaluador)
8. ¿El estudio menciona la metodología utilizada para desarrollar aplicaciones de RVI enfocada en el aprendizaje de educación superior?	El estudio menciona claramente que se logró= 1- 4 (criterio del evaluador)
9. ¿El estudio proporciona factores que determinan el éxito o fracaso de la implementación de aplicaciones de RVI en educación superior?	El estudio menciona claramente que se logró= 1- 4 (criterio del evaluador)
10. ¿El estudio ayuda a acrecentar el conocimiento y aporta algo nuevo en la aplicación de RVI en educación superior como método de descontextualización del aprendizaje?	El estudio menciona claramente que se logró= 1- 4 (criterio del evaluador)
11. ¿El estudio tiene resultados que son cuantitativos (cantidades, productividad, eficiencia, porcentajes, etc.)?	Los resultados muestran datos cuantificables 1-4 (criterio del evaluador)
12. ¿El estudio aporta resultados cualitativos (percepciones propias del autor, instrumentos de medición de la percepción de los actores involucrados en el estudio, pruebas estadísticas no paramétricas, etc.)?	Los resultados se expresan en características cualitativas = 1-4 (criterio del evaluador).
13.- ¿El estudio tiene suficiente validez para que los resultados y/o las teorías presentadas sean generalizados?	Los resultados son expresados como aplicables en forma general=1-4 (criterio del evaluador).

6) Resumir los datos

En la Tabla 4 se detallan los resultados de pasar cada artículo por la criba del Dr. Colín, los cálculos de cada sección de la tabla se calcularon de la siguiente manera:

- **Total =** Suma de las respuestas a los ítems 1-13.
- **Promedio =** Promedio redondeado de las respuestas 1-13.
- **Calificación =** (Total * 100) / 52 (total de puntos máximos de las respuestas 1-13)
- **Decisión=** Aceptado si la calificación es mayor a 75 puntos.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 4. Resumen de las respuestas a cada ítem del Dr. Colin, con el criterio de aceptación de los artículos que obtuvieron una calificación redondeada mayor a 75.

No.	*Preguntas*													*Total*	*Promedio*	*Calificación*	*Decisión*
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
1	4	3	4	4	4	1	3	4	4	4	1	1	1	38	3	73	NO
2	4	4	4	4	4	4	1	2	4	4	4	4	4	47	4	90	SI
3	4	4	4	4	4	4	1	1	3	3	4	4	4	44	3	85	SI
4	4	4	2	4	4	4	1	2	1	1	2	1	1	31	2	60	NO
5	4	4	4	4	4	3	1	1	3	3	4	4	4	43	3	83	SI
6	4	3	2	3	4	4	2	4	4	3	2	2	4	41	3	79	SI
7	4	2	3	4	4	2	2	4	4	4	4	3	2	42	3	81	SI
8	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	3	4	4	49	4	94	SI
9	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	28	2	54	NO
10	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	51	4	98	SI
11	4	4	4	4	4	2	1	2	1	1	1	4	3	35	3	67	NO
12	4	3	2	4	2	4	2	2	3	3	3	3	2	37	3	71	NO
13	4	3	2	4	2	4	2	2	2	4	2	3	3	37	3	71	NO
14	4	3	3	3	3	3	2	2	0	1	3	3	3	33	3	63	NO
15	4	3	3	3	3	3	2	2	0	1	3	3	3	33	3	63	NO
16	4	2	2	3	4	3	4	4	2	4	3	3	2	40	3	77	SI
17	4	3	3	2	2	4	3	3	2	4	3	2	2	37	3	71	NO
18	4	4	4	4	4	2	2	2	4	2	4	4	1	41	3	79	SI
19	4	2	4	4	4	3	2	2	2	3	2	3	4	39	3	75	NO
20	4	2	4	3	3	1	2	2	4	2	1	1	2	31	2	60	NO
21	4	4	3	4	4	4	1	3	2	4	4	2	3	42	3	81	SI
22	4	2	4	3	4	3	1	2	4	3	1	1	1	33	3	63	NO
23	4	4	4	4	4	1	1	2	1	1	1	2	1	30	2	58	NO
24	3	4	4	4	4	4	1	4	3	3	4	3	3	44	3	85	SI
25	4	2	3	2	3	4	4	2	3	3	4	4	2	40	3	77	SI
26	4	2	4	3	3	2	3	4	2	2	4	4	3	40	3	77	SI

7) Procedimientos estadísticos

Con la matriz de los datos resultantes, se realizó la prueba de bondad de ajuste con el software Minitab®, contrastando si los datos pertenecen a una distribución de Poisson, ya que cada variable del instrumento fue discreta. El interés fue observar la naturaleza de los datos; para saber si pueden o no producirse de una manera determinística a través de la prueba Kolmogorov-Smirnov; el resultado se observa en la figura 3, donde puede concluirse que al ser el p.valor menor a 0.05 que los datos no pertenecen a una distribución normal.

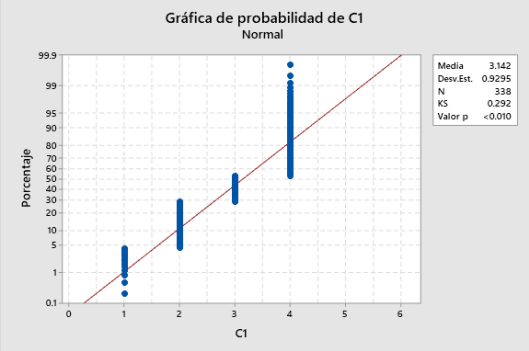


Figura 3. Prueba de Kolmogorov-Smirnov.

 ISSN: 2007 8102

Debido a que los datos no se comportan de manera determinista; es decir, no se precisa de asumir una distribución de la variable, se aplicó la prueba estadística no paramétrica ANOM en Minitab® para la comparación de medias. El resultado se observa en la figura 4, donde se detallan los 3 límites (límite superior, limite promedio y el límite inferior) los limites inferior y superior son los límites de decisión, todas las evaluaciones quedaron dentro de los limites; por lo que se concluye que todas las evaluaciones realizadas tienen confiabilidad.

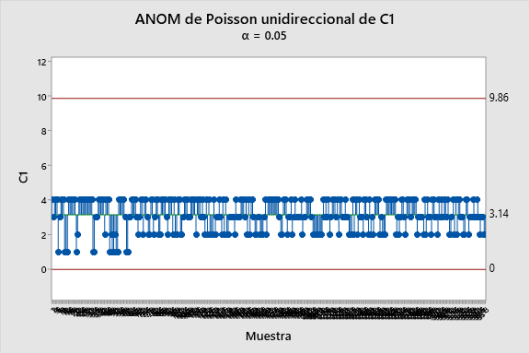


Figura 4. Gráfico de salida de la prueba Anom.

8) Resultados

Después del metaanálisis y la criba del Dr. Colín, quedaron solo 13 artículos con información enfocada en utilizar la RVI como método de descontextualización del aprendizaje en educación superior; en la Tabla 5 se puede observar los artículos que incluyeron técnicas de RVI con alumnos y documentaron los resultados como un caso de éxito o fracaso.

Tabla 5. Resultados de caso de éxito o fracaso de los artículos que incluían el análisis de los resultados obtenidos.

Articulo	*Incluyen Caso de*	
	Éxito	**Fracaso**
Poliedros con NeotriVR [9]	SI	NO
RVI en aerogeneradores [10]	SI	SI
Experiencia docente “VR-Triage” [3]	SI	NO
RVI en la enseñanza de diseño [11]	SI	NO
Usabilidad RVI: Caso práctico [12]	SI	SI

En la Tabla 6 se resume las ventajas y desventajas que, a criterio de los autores consultados, son el resultado de implementar técnicas de RVI dentro de las aulas.

Tabla 6. Análisis de las ventajas y desventajas descritas por los artículos.

VENTAJAS	*DESVENTAJAS*
La respuesta de los alumnos a la implementación de RVI en las aulas es afectiva y positiva [9].	Esta tecnología por sí misma, no se constituye como una herramienta exclusiva; por lo que, necesita de la supervisión e intervención de los profesores, la cual, debe ir acompañada de cierta capacidad y experiencia para la integración de la tecnología a los procesos de enseñanza-aprendizaje [5, 13].
Se desarrollan ecosistemas no conocidos y únicos, donde se proporcionaran aprendizajes específicos mediante un avatar [14].	Al ser tecnología disruptiva, en el ámbito educativo existen carencias de estudios empíricos que analicen las implicaciones de su inclusión en las aulas [9].

 ISSN: 2007 8102

Otorgan al usuario una experiencia en 3D que es altamente interactiva y muy cercana a la realidad, esto se logra gracias a la inmersión y la interacción [10].	No puede ser usada en educación inclusiva, ya que depende totalmente de los sentidos del cuerpo, más comúnmente del oído y la vista; en consecuencia, las personas que padecen algún tipo de discapacidad sensorial no pueden utilizar esta tecnología [12].
Son un método efectivo para descontextualizar el aprendizaje en educación superior, recontextualizándolo en un entorno virtual controlado que de otra manera serian inaccesibles para los alumnos.	La brecha digital que existe entre la población, quedo en manifiesto por la pandemia de COVID-19, implementar las herramientas de virtualización y digitalización de los procesos de enseñanza-aprendizaje en este tipo de población, por el momento resulta difícil [14]. El desarrollo de la cybersickness en usuarios que utilizan esta tecnología como son: náusea, vértigo o mareos, entre otros [15].

En la Figura 5, se detallan los países de donde provienen los artículos consultados; como puede observarse, España es el país donde se encontró la mayor aportación del uso de la RVI como método para descontextualizar el aprendizaje en las aulas de educación superior.

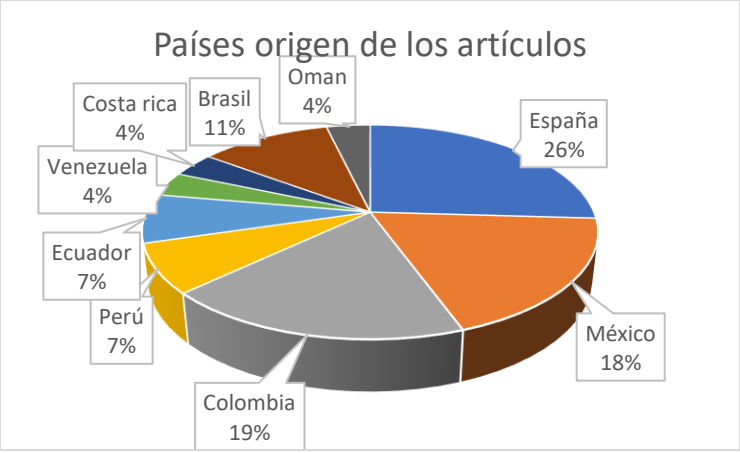


Figura 5. Países de origen de los artículos consultados.

En la Tabla 7, se enlista el software utilizado en los artículos científicos que incluyeron el desarrollo de un ambiente virtual para su proceso de enseñanza.

Tabla 7. Clasificación del software mayormente utilizado en el desarrollo de ambientes virtuales.

Nombre	*Modelado*	*Realidad Virtual*	*Programación*
Neotrie VR Multiplayer	SI	SI	NO
VRML	SI	SI	SI
Google Tour Creator	NO	SI (Descontinuado)	NO
Blind VR	SI	SI	SI
Autodesk 3ds Max	SI	SI	NO
Blender	SI	NO	NO
Solid Works	SI	SI	NO
Unity	SI	SI	SI
Maya	SI	SI	NO

Trabajo a futuro

Considerando la buena aceptación y resultados de la implementación de RVI en las aulas arrojados en el análisis de la búsqueda sistémica de la literatura realizada, se debe expandir el área de búsqueda a países diferentes del habla hispana; con la finalidad de mejorar la perspectiva y ampliar el conocimiento sobre el tipo de tecnología y los resultados que están obteniendo en otras partes del mundo.

Conclusiones

A pesar de todas las ventajas que ofrece la realidad virtual inmersiva, se pudo observar que en los países de habla hispana existen muy pocos artículos que apliquen o expliquen la enseñanza de esta disciplina en los planes de estudio de educación superior; esto se debe a varios factores como la brecha digital, la alfabetización informática, costo de los equipos entre otros; empero, se puede dar respuesta a la pregunta de investigación:

¿Puede la realidad virtual inmersiva ser un método de descontextualización de las prácticas pedagógicas tradicionales en la educación superior?

Hay suficiente evidencia bibliométrica que demuestran que la realidad virtual inmersiva facilita el aprendizaje de temas de interés virtualizados en ambientes complejos controlados que brindan un apoyo visual práctico además de poseer la capacidad de transferir habilidades de entornos virtuales a los reales; estos ambientes gozan de la aceptación, generan interés y conocimiento en la generación Z, que son los estudiantes que actualmente se encuentran en las aulas universitarias y que responden a la tecnoeducación favorablemente.

Esta tecnología vanguardista, es el futuro de la educación y la mejor manera de llegar a las generaciones tecnológicas que están en las aulas actualmente y para recibir a las futuras generaciones que están naciendo en esta etapa de evolución educativa; sin embargo, no hay que olvidar que estas tecnologías por sí mismas no son autónomas, sino que dependen de la supervisión de los docentes, los cuales no deben pasar por alto que éstas son únicamente apoyo para el proceso de enseñanza-aprendizaje y que por ningún motivo debe reposar sobre ellas la responsabilidad de educar a los estudiantes.

Lo anterior, pone en manifiesto la necesidad de actualización profesional docente constante en miras hacia este nuevo metaverso educativo; no olvidemos, que la pandemia dejo en manifiesto que no actualizarse con respecto a la tecnología educativa, tendrá un costo alto e impacto negativo en las competencias de los estudiantes a la hora de afrontar los retos de un mundo digital en constante evolución.

Referencias

[1] R. N. Bravo Alvarado, "Comunicación efectiva a través de la Virtualidad en la Formación Universitaria," *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores,* vol. 8, no. SPE3, 2021.

[2] G. L. Lledó, "Análisis de la producción científica en el uso de la realidad virtual en la educación a partir de la estructura conceptual, social e intelectual," *Revista de Educación a Distancia (RED),* vol. 22, no. 69, 2022.

[3] N. G. Aracil, D. R. Fernández, J. V. B. Martínez, L. J. Alcaide, B. M. Lopez, and M. E. C. de la Encina, "Experiencia docente con la herramienta “VR-Triage” de realidad virtual inmersiva," in *Redes de Investigación e Innovación en Docencia Universitaria: Volumen 2022*, 2022: Instituto de Ciencias de la Educación, pp. 97-107.

[4] N. I. Miranda Villagómez, F. J. Neira Saavedra, and A. Moreno Romero, "Análisis de la experiencia virtual inmersiva 360º en el proceso de auto estructuración del aprendizaje de los estudiantes del curso producción y realización publicitaria de una universidad privada de Lima-2020," 2020.

[5] R. M. Mujica-Sequera, "El Metaverso como un Escenario Transcomplejo de la Tecnoeducación," *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0,* vol. 13, no. 1, pp. 20-28, 2022.

[6] R. Sousa Ferreira, R. A. Campanari Xavier, and A. S. Rodrigues Ancioto, "La realidad virtual como herramienta para la educación básica y profesional," *Revista Científica General José María Córdova,* vol. 19, no. 33, pp. 223-241, 2021.

[7] H. Fernández-Sánchez, K. King, and C. Enríquez-Hernández, "Revisiones Sistemáticas Exploratorias como metodología para la síntesis del conocimiento científico. Enfe Univer [Internet]. 2020 [citado 01/07/2022]; 17 (1): 1-8," ed.

[8] J. L. Pardal-Refoyo and B. Pardal-Peláez, "Anotaciones para estructurar una revisión sistemática," *Revista ORL,* vol. 11, no. 2, pp. 155-160, 2020.

[9] A. Codina Sánchez, M. d. M. García López, I. M. Romero Albaladejo, and J. L. Lupiáñez Gómez, "Poliedros con el software de realidad virtual inmersiva NeotrieVR, una experiencia con maestros en formación," *Revista interuniversitaria de formación del profesorado,* 2022.

[10] D. Cantón Enríquez, J. J. Arellano Pimentel, M. Á. Hernández López, and O. S. Nieva García, "Uso didáctico de la realidad virtual inmersiva con interacción natural de usuario enfocada a la inspección de aerogeneradores," *Apertura (Guadalajara, Jal.),* vol. 9, no. 2, pp. 8-23, 2018.

[11] S. Husted Ramos, "Realidad virtual inmersiva e interactiva en la enseñanza del diseño: un ambiente enriquecido para la enseñanza-aprendizaje interdisciplinar," *Instituto de Arquitectura Diseño y Arte,* 2019.

[12] M. Y. S. Ruiz and R. O. Diaz, "Usabilidad en aplicaciones de Realidad Virtual Inmersiva Accesible e inclusiva Multi-escenario: Caso práctico," *Investigación e Innovación en Ingenierías,* vol. 9, no. 3, pp. 82-92, 2021.

[13] B. Fainholc, "Educación Hibrida: una propuesta para la formación del profesorado de nivel superior en tiempos a reconstruir," *EducaT: Educación virtual, Innovación y Tecnologías,* vol. 3, no. 2, pp. 15-23, 2022.

[14] D. P. Barráez-Herrera, "Metaversos en el Contexto de la Educación Virtual," *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0,* vol. 13, no. 1, pp. 11-19, 2022.

[15] P. C. Prieto, I. M. de Oliveira, G. R. Fuentes, and J. M. C. Carral, "Realidad Virtual Inmersiva en personas mayores: estudio de casos," *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación,* no. 39, pp. 1001-1005, 2021.

ISSN: 2007 8102

Análisis de la deserción escolar en alumnos del Instituto Tecnológico de Zacatecas

Elsa Ortega de Avila[1], Juan Carlos Pino Acevedo[2], Luis Ángel Correa García[3]*

[1]Instituto Tecnológico de Zacatecas elsa.ortega@itz.edu.mx, [2]Instituto Tecnológico de Zacatecas juan.pinoacevedo@itz.edu.mx,[3] Instituto Tecnológico de Zacatecas luisangel_zac@hotmail.com

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

El sector educativo es fundamental para el desarrollo del país, desafortunadamente está afectado por una grave problemática que es la deserción escolar, debido a que los estudiantes no logran terminar sus estudios por diversos factores, lo que ocasiona dificultades en el plan de vida del estudiante. El objetivo del estudio es analizar las variables que afectan la deserción escolar en ocho carreras del Instituto Tecnológico de Zacatecas. La metodología empleada fue modelo de regresión lineal múltiple. Los resultados muestran que la deserción se hace más presente en el cuarto semestre y que la variable que más afecta es la reprobación. Se concluye que es necesario fortalecer el programa de becas y profundizar en los estudios socioeconómicos de los alumnos en los primeros años, para comprender el entorno familiar, así como estipular el decreto de la Ley General de los Derechos de niños, niñas y adolescentes la obligatoriedad de la educación superior.

***Palabras clave**: Educación, Deserción, Reprobación, Estudiantil.*

Abstract

The Education Sector is fundamental for the development of the country, unfortunately it is affected by a serious problem that is school dropout, because students fail to finish their studies for varios varios factors, which causes difficulties in student's life plan. The objective of the study is to analyze the variables that affected the school dropout in eight careers of the Technological Institute of Zacatecas. The methodology used was a multiple linear regression model. The results show that dropout occurs mainly in the fourth semester and that the variable that most affects is reproof. It is concluded that it is necessary to strengthen the scholarship program and deepen the socio-economic studies of students in the early years to understand the family environment, as well as stipulate the decree in General Law on the Rights of Children and Adolescents the obligatory nature of higher education.

***Key words**: Education, Dropout, Failure, Student.*

Introducción

La deserción escolar es un problema grave que se presenta en todos los niveles educativos. Se considera de especial interés destacar los factores que la afectan en la educación superior. Es un fenómeno que aqueja a las Universidades alrededor del planeta, y es que, en el actual proceso de globalización, por el incremento en la disponibilidad de información a través del desarrollo de la Tecnología de la Información y Comunicación (TIC), proporciona nuevos matices a la forma en el que el estudiante aprende por medio de una educación presencial o híbrida. Restando con ello importancia a la primera, aunado a una mayor oferta en las opciones de estudio puesto que se está incrementando la cobertura en las zonas rurales. Incluso estudios a distancia, que, a pesar de las fronteras, ya son una opción real cuando se tienen barreras geográficas. Esa mayor disponibilidad hace que entre las instituciones educativas estén en constante competencia por la atracción de nuevos estudiantes. A su vez, el candidato puede elegir entre las diversas opciones. Como resultado, para el estudiante la movilidad de una escuela a otra no representa una dificultad, sino al contrario, es fácil cambiar cuando algo no le satisface.

 ISSN: 2007 8102

La deserción a pesar de ser un fenómeno globalizado tiene peculiaridades de acuerdo con el lugar donde se presenta. Por ende, el objetivo de la presente investigación es conocer las causas de deserción escolar en el Instituto Tecnológico de Zacatecas. Cuando el estudiante deja de asistir a clases presenciales es cuando se establece el problema de la deserción. Las limitantes que impiden al estudiante asistir a clase son muy diversas y variadas. Van desde impedimentos físicos, aquellos que limitan su capacidad de trasladarse, o factores económicos, que afectan el poder solventar la alimentación y los gastos de manutención, en especial cuando su procedencia es lejana, los costos son elevados y vuelven insuficientes el costo de la renta de un lugar donde quedarse y los gastos propios de la escuela. Puede haber otros factores como los psicosociales, cómo cuando el estudiante se encuentra desmotivado y pierde el interés por asistir a clases. La inseguridad es otro factor actual que hace que el estudiante ante una amenaza latente de riesgo a su integridad personal se desanime por seguir asistiendo a clase. El documento se estructura en primera instancia por la revisión de literatura, donde se desarrolla el planteamiento del problema, después se expone el marco teórico, seguido de la metodología, por último se presentan los resultados y las conclusiones a las que se llegaron.

Revisión de literatura

Planteamiento del Problema

El estudio de la deserción escolar está entre las problemáticas sociales que necesitan ser atendidas de manera urgente [1], ya que conlleva la definición de la situación del estudiante, consecuencia de los procesos psicológicos y sociológicos, determinadas por las actividades del sujeto y el entorno en el que se desarrolla [2]; por ejemplo el ambiente familiar y de amigos; también la necesidad de trabajar, la pérdida de becas y la carencia de recursos financieros para el pago de inscripciones o colegiaturas y en algunas ocasiones la presencia de enfermedades [3]; por ende, en el presente documento de investigación se estudian las causas que generan la deserción escolar, debido a que cuando se presenta, se traduce en una reducción de la calidad en la educación en el Instituto Tecnológico de Zacatecas.

El acceso a la educación superior es una de las mayores problemáticas que existen en México, debido a que nuestro país se caracteriza por condiciones de desigualdad educativa [1] explicado porque las personas de escasos recursos presentan dificultades para permanecer en la educación, debido a que los niveles educativos en la población son limitados, ya que por ejemplo existen entre los indígenas analfabetismo y la mayoría posee el nivel primario, y rara vez estudios universitarios [4]; lo anterior, sin duda incide en los procesos sociales, políticos y culturales de los países en desarrollo con un impacto negativo para la población, el estudiante, al igual que para el centro educativo [5; así mismo limita el acceso a empleos bien remunerados lo que agrava la situación de pobreza [6] que generalmente se acompaña de violencia familiar [1], lo que conlleva a un alto costo social [7].

La importancia del abandono escolar se empezó a documentar a partir de la década de los años cuarenta [1], otros autores señalan que fue a partir de la década de los años 50's con el desarrollo de la educación básica donde la deserción se concibe como una adaptabilidad del estudiante [8]; en la década de los 90´s la deserción se volvió relevante [9] y se constata que la fecha la educación es crucial en las economías de los países como México [10]; la masificación de la educación en Latinoamérica se dió con la ampliación de la cobertura educativa [11], empero, la equidad en las condiciones de acceso no están garantizadas en nuestro país, debido a que la mayoría de las Universidades en México tienen problemas de infraestructura e implementación de tecnología y en las escuelas rurales las condiciones de accesibilidad de caminos no son adecuadas, la señal de teléfono es intermitente y en ocasiones la escasez de agua es un problemática que afecta el desarrollo de los alumnos.

En la educación superior, uno de los grandes problemas es la existencia de alumnos que no logran terminar sus estudios debido a las deficiencias en la vocación, el nulo rendimiento académico y los rasgos de personalidad del estudiante. Otra grave dificultad que es primordial atender, es la escasez de estudios que profundicen en el estudio de datos de deserción[12]. La literatura revisada señala que la deserción se relaciona con los factores personales, como la carencia de motivación y embarazos [13], la dificultad de concentración [14], en algunos alumnos provoca depresión [15], estrés y ansiedad [16]; así como la falta de orientación vocacional y el desinterés de los estudiantes, otros factores que afectan la autoestima, la salud física, mental y las adicciones [1]. Otras afectaciones son el daño y sufrimiento psicológico convirtiéndose en un problema que se extiende al ambiente familiar [17].

La deserción es un fenómeno preocupante en las Instituciones de Educación Superior (IES) y tiene estrecha relación con la calidad del nivel académico [8]. La deserción estudiantil, actualmente es la principal problemática

 ISSN: 2007 8102

que enfrentan las instituciones de educación superior al momento de evaluar la oferta educativa a nivel superior [18]. Las causas de la deserción escolar son diversas como la desmotivación y el desinterés, el nulo deseo de la obtención de un grado y la inexistencia de compromiso institucional, la carencia de apoyo social y las condiciones del entorno que puede ser rural o urbano [14]. Otras causas que destacan son la escasez de recursos económicos, la mala calidad de la educación, la desorientación vocacional y la interacción entre los alumnos y las instituciones educativas [19]; por lo tanto, las oportunidades para permanecer en el nivel superior dependen directamente del nivel socioeconómico aunado a la alta demanda en las instituciones públicas [11]. En el sector productivo, la deserción escolar limita la obtención de capital humano y afecta la colocación en empleos bien remunerados que ayude a la población a salir del rezago y la pobreza; en el aspecto individual afecta las metas laborales y trunca el proyecto de vida los universitarios que abandonan los estudios [8]. En ese sentido, es importante precisar las características de la deserción escolar en cada contexto, con el propósito de identificar las variables que afectan el no finalizar los estudios los cuales pueden ser individuales, sociológicos, económicos, institucionales y académicos [10].

Además de lo anterior, consideran otras situaciones como cuando el estudiante suspende o abandona los estudios, ya sea por deficiencia académica que los lleve a quedar fuera de la institución por normatividad, cambio de carrera y la expulsión por indisciplina de acuerdo con el reglamento de estudiantes [20]. La deserción se presenta cuando el estudiante se deslinda de la escuela temporal o definitivamente [13]. Sin embargo, es de interés particular, diferenciar a la deserción con aquellos motivos que hacen del estudiante perder el interés por estudiar. Cuando las causas son intrínsecas al estudiante, tienen un especial interés en la presente investigación. Si las causas son extrínsecas, se considera que la deserción no es motivada por la pérdida del deseo de seguir estudiando, sino por el contrario, la imposibilidad de seguir con sus estudios. No obstante, cuando por causa de una reprobación reiterada en una o más materias, sin dejar de cumplir el requisito del reglamento para su expulsión, pierde el deseo de seguir estudiando, se considera deserción [21]. Es decir, su motivación por continuar con sus estudios se pierde al sentirse incapaz de poder acreditar las asignaturas de la carrera.Del análisis anterior surge la pregunta de investigación, cuáles son las variables que influyen en la deserción en el Instituto Tecnológico de Zacatecas.

Marco teórico

I.- El concepto de Deserción y las variables que la afectan.

1.- La Deserción Escolar

El concepto de deserción está asociado con el abandono voluntario de los estudios universitarios [12] y puede ser explicado por varios factores como el comportamiento económico, la pobreza, los aspectos demográficos, las variables tecnológicas y socioculturales [28]. Otro concepto es cuando el alumno se desvincula del sistema educativo formal [13] o cuando es un abandono prematuro de un programa escolar antes de obtener el título [5] [18]. También se considera como el proceso de abandono de la carrera por la influencia de factores internos y externos [19], otro aporte es que la deserción es la interrupción de las actividades académicas [16] y tiene relación con los factores cognitivos relacionados a la terminación del bachillerato [29].

La deserción escolar está compuesta por el abandono de la educación superior y se les denomina desertores y es el fenómeno que se puede conceptualizar como retiro forzoso, el cual es una vacante que causa serios problemas financieros [7], la deserción física se refiere a la falta de sentido que los estudiantes encuentran en la escuela [8] y el grado de deserción puede ser explicado por el grado de motivación del estudiante y se relaciona con la integración académica y social, destaca que las mujeres son las que más retienen las universidades [19]. Según Fuertes y Uc, la deserción se relaciona con las percepciones así como los sentimientos del estudiante y del resultado del entorno socioeconómico [30]. La deserción escolar es también sinónimo de abandono estudiantil, que se refiere a la separación entre la escuela y el alumno, está vinculado a las condiciones económicas que limitan el acceso y provocan el retiro de la escuela. Además es sinónimo de absentismo, retiro involuntario, abandono prematuro y es un fenómeno multifactorial [12].

2.- Reprobación

Una de las principales causas de la deserción es la reprobación y el rendimiento de los estudiantes en los primeros semestres de la carrera [5] [9], el fenómeno de la deserción ha estado muy de cerca la relación de la emocionalidad y la construcción de estructuras matemáticas, donde las emociones negativas imposibilitan el

equilibrio cognitivo lo que repercute en el estudiante en la construcción del conocimiento matemático y finalmente en la deserción escolar [8]. Existen investigaciones sobre la incidencia de las habilidades en el rendimiento, deserción y mortalidad académica, explicado por un dominio inadecuado de la lectura comprensiva así como de la escritura expositiva y argumentativa (elaborar informes, responder exámenes, redactar ensayos, etc.) para obtener mejores resultados académicos, lo cual, en gran medida, también garantiza la disminución de la deserción [19]. En otros estudios se ha encontrado como resultado que los factores individuales y académicos tienen una relación directa y significativa con la deserción escolar. Por lo cual las instituciones deben enfocarse en las variables que son controlables por la institución y con posibilidad de ser fortalecidas en beneficio de los estudiantes [18].

La deserción como modelo conceptual considera factores académicos, sociales e institucionales [7]. Asi mismo, dentro de la búsqueda de modelos predictivos de la deserción académica en estudiantes de primer año de diferentes carreras, encuentran que solo las variables de edad, sexo y promedio de enseñanza media destacan como variables predictoras y en la enseñanza media destacan características como: hábitos de estudio, responsabilidad y disciplina [9], por otra parte, a mayor número de créditos, menor riesgo de deserción [12]. Siguiendo con el estudio de variables predictivas de la deserción inicial para generar un sistema de alerta temprana, se menciona que la deserción y permanencia son el resultado del grado de motivación que poseen los estudiantes la cual se relaciona con la integración académica y social del estudiante. Se obtiene como resultado que las variables recursivas de colinealidad son los promedios ponderados de notas provenientes de la reprobación [29].

Específicamente, la normatividad del Tecnológico Nacional de México (TecNM), el Manual de Lineamientos [23], en los puntos 5.4.2.1. y 5.4.2.2 se hace énfasis en que el estudiante debe cumplir con el 100% de las competencias de cada asignatura en curso ordinario, ya sea en primera o segunda oportunidad. En caso de no hacerlo, tiene derecho a repetir la asignatura inmediatamente en que se ofrezca y, si tampoco lo hace, hasta una tercera ocasión en curso especial. El lineamiento 5.4.6.7 indica que quien no acredite una asignatura en curso especial, o 5.4.6.8 quien sobrepase los 12 periodos semestrales permitidos como máximo para concluir su carrera, serán dados de baja definitiva.

3.-Recursos Económicos

Desde el enfoque económico se han encontrado varios tipos de deserciones que hay desde el enfoque voluntario e involuntario, por transferencia institucional o de carrera; estas deserciones se presentan más en instituciones privadas, donde se clasifican en involuntarias, por no poder pagar colegiaturas y en otras ocasiones pueden ser por transferencia a una institución menos costosa [5]. El nivel socioeconómico es un factor determinante en la deserción, ya que en las escuelas privadas es menor el riesgo de deserción intrínseca, solo impacta el aspecto económico [12]. En la deserción en los posgrados, se realiza una clasificación de los tipos de deserción, encuentran los factores determinantes de la deserción como lo son los individuales, los sociológicos, socioeconómicos, institucionales y académicos [10], se han realizado estudios sobre alternativas de financiamiento donde enfatizan en el grave problema que es el que no existen igualdad de oportunidades para estudiar la universidad, ya sea por la preparación de los padres o por no haber ningún tipo de financiamiento. [11]. En investigaciones cualitativas de análisis transversal se obtiene que en primer lugar dejan de estudiar por tener que trabajar, luego por perder el porcentaje de beca, después el costo beneficio con respecto a la situación académica del alumno, el rezago en los pagos y por último por enfermedad [3].

4.- Inseguridad

Existen nulos estudios sobre cómo la inseguridad afecta a la deserción, una investigación parte de una universidad en jornada vespertina enfocándose en cuatro factores: imprevistos o circunstancias adversas, experiencias con la oferta institucional, capital y desempeño académico, condiciones y características personales o situacionales [6]. Aunado a lo anterior, según INEGI las ciudades con mayor porcentaje de población de 18 años y más que se siente insegura fueron: Fresnillo (92.8 %), Zacatecas (91.7 %), Ciudad Obregón (90.3 %), Ecatepec de Morelos (87.6 %), Irapuato (87.3 %) y Naucalpan de Juárez (87.2 %), donde las dos primeros lugares pertenecen al contexto del tema de estudio [31].

5.- La tecnología

 ISSN: 2007 8102

En México existe una gran dificultad para que los estudiantes cuenten con dispositivos electrónicos [3], dada la escasez de recursos económicos, acceder a la tecnología es un obstáculo que sigue presente en las IES, por lo tanto se ha propuesto hacer uso de los diversos beneficios de los recursos tecnológicos y específicamente que el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) y las Tecnologías del Empoderamiento y la Participación (TEP) pueden motivar al estudiante para disminuir las causas de la deserción, con base en la creatividad e innovación en los procesos formativos dentro del salón de clases [30]. Por lo anterior, la propuesta de la creación de laboratorios de práctica para las asignaturas basado en trabajos intensivos de ejercicios, ensayos e investigaciones sobre temas impartidos en las materias, para aumentar el nivel académico, minimizar la deserción, rezago y repetición universitaria por problemas de bajo rendimiento [15]. El desafío de la educación superior especialmente en la pandemia fué por no contar con recursos tecnológicos necesarios para mantenerse en formación, sumándole la falta de conocimiento de los softwares necesarios [16].

6.- Docentes no flexibles

En estudios cualitativos algunas de las causas señaladas fueron los planes y programas de estudio, las deficiencias en la preparación y actualización del personal docente, las dificultades familiares que debe enfrentar el estudiante o la carencia de un objetivo o proyecto de vida donde la responsabilidad recae directamente en los docentes que no siempre están dispuestos a poner un extra de tiempo de su parte. La deserción se relaciona con la práctica pedagógica inadecuada, la formación docente limitada y las condiciones laborales precarias, la infraestructura y equipamiento insuficiente, la incompatibilidad de cultura, un currículum no pertinente, gestión escolar deficiente y la no participación de los padres [13]. Por lo tanto, las acciones realizadas en la tutoría son imprescindibles y hacen la diferencia en la retención de estudiantes, de ahí que a mayor niveles de tutoría, expectativas académicas y competencias docentes, existirán menores niveles de desmotivación [32].

II.- El Contexto de la deserción en los alumnos del Instituto Tecnológico de Zacatecas

En Latinoamérica los más altos índices de deserción escolar corresponden a Guatemala con 82%, Bolivia con 73% y Uruguay 72%, en Chile la tasa de deserción es de 53.7%, que se presenta con mayor importancia en las universidades privadas más que en las públicas [7]. En el caso de México, el porcentaje de deserción varía, por ejemplo en el Instituto Tecnológico de Sonora, oscila entre 31.37% a 35.25% [32]. En Chile las características de los alumnos asisten más hombres que mujeres y tienen 25 años o más y desde su egreso del nivel anterior transcurren alrededor de tres años y trabajan para poder costear sus estudios [6]. Los países Argentina, Brasil y México cuentan con gran cobertura de IES y están bien posicionadas en América Latina, empero, los países mencionados presentan altos índices de deserción especialmente en los primeros semestres [9].

De acuerdo con lo anterior, el contexto en el que se desarrolla el fenómeno que se estudia, se sitúa en el estado de Zacatecas. Cuenta con una extensión territorial (75,284 km^2), [INEGI] es la entidad número ocho de los Estados Unidos Mexicanos. Situado en el centro norte de la República Mexicana, lugar que, aún y cuando es la zona de mayor contribución a la economía nacional, su participación en el Producto Interno Bruto (PIB) estatal es de las más bajas [22]. Referente al contexto universitario, El Instituto Tecnológico de Zacatecas (ITZ) actualmente oferta carreras de ingenierías eléctrica, en materiales, sistemas, informática, industrial y gestión empresarial, las licenciaturas en administración y en arquitectura. Además, a nivel posgrado las maestrías en administración, en sistemas y arquitectura. Para el año 2023 la matrícula estudiantil ronda los 3,000 estudiantes [27], después de haber sufrido una pérdida importante de alrededor de 1,000 estudiantes por la pandemia.

No obstante, en el presente estudio se analiza la deserción posterior al regreso a clases presenciales tras tan imponente fenómeno de salud, no sin antes entender su comportamiento previo. De acuerdo con datos del Programa de Desarrollo Institucional 2019-2024 del Instituto Tecnológico de Zacatecas [24], al año 2019 se contaba con una matrícula de alumnos de alrededor de 4,000 estudiantes con una proyección de crecimiento del 5% anual, que para el año 2020 ascendía a 4,201 y así consecutivamente hasta llegar al 2030 a un total de 6,702 alumnos. De acuerdo con el Informe de Rendición de Cuentas 2020 del ITZ [25] al año 2020 en el periodo agosto-diciembre la matrícula de nivel licenciatura descendió a 2,907 estudiantes. Lo que significa una disminución del 31% respecto a lo proyectado para ese periodo. El índice de deserción respecto al año 2020 del primer al segundo semestre aumentó un 53%, la tendencia al aumento se mantuvo al siguiente semestre.

Para el año 2021, el índice de deserción para el primer semestre fue del 7.77%, para el segundo semestre 9.53%, dando un promedio anual de 8.65% [26]. Aún y cuando pareciera que el índice de deserción descendió

exponencialmente al pasar del 53% al 9.53%, este sigue siendo alto. Lo cual se explica ante el abrupto cambio en la impartición de clases en el contexto de pandemia, que animó a muchos estudiantes a posponer o dejar sus estudios. Tras ello, aún dentro de la pandemia, muchos de los estudiantes continuaron con la educación virtual a pesar de sus limitaciones. Sin embargo, continuó disminuyendo, si bien a menor ritmo, pero con una tendencia sostenida. Peor aún, para el primer semestre del año 2022 la matrícula llegó a 2,618 estudiantes. En el periodo enero-junio de 2022 el índice de deserción fue de 2.82%, para el periodo agosto-diciembre del mismo año fue de 2.70%, cabe destacar que en las carreras que presentan los índices más altos son las de Ingeniería en Sistemas Computacionales e Ingeniería en Informática. También de acuerdo con la tendencia presentada en el periodo de estudio, se muestra una clara disminución en el índice correspondiente al año 2022, es decir, corresponde a la estabilización del índice de deserción en el regreso a clases presenciales [27].

III.- Teorías de la deserción

Para el estudio de la variable deserción, se realiza el análisis con base en las Teorías del Comportamiento, que proporcionan un Marco Teórico adecuado para su estudio, por ejemplo en la literatura revisada los estudiantes refieren que la vida académica no es congruente con sus gustos y preferencias [6], de acuerdo con Díaz (2008) los factores que tienen mayor impacto en la deserción son los individuales,como la capacidad para cubrir los costos de las cuotas, el nivel educativo de los padres [7]; los académicos, entre los que destaca el papel del docente y las interacciones entre él y los demás compañeros. Otra investigación como “Los Estadíos del Desarrollo de la personalidad” de Piaget tratan del desarrollo intelectual de acuerdo a la edad sobre todo en la deserción por causa académica, sin embargo, predomina el modelo organizacional planteado por Vincent Tinto donde básicamente trata de las cualidades de la organización en la integración social [33], en las últimas décadas se han desarrollado varios modelos teóricos, ya que los estudios sobre la deserción son escasos y dirigidos por estimaciones cuantitativas, en los cuales se han podido identificar cinco enfoques que explican el fenómeno: psicológico, sociológico, económico, de organización y de interacción. El enfoque de interacción se encuentra representado por el modelo de Tinto [34][33][35] que se basa en el modelo de Spady el cual explica el proceso de permanencia a partir de experiencias académicas y sociales de la integración del estudiante a la institución [36].

El enfoque “teóricamente informado” se relaciona entre la emocionalidad y la construcción de estructuras matemáticas, donde las emociones negativas imposibilitan el equilibrio cognitivo, lo que hace que el estudiante cambie su dominio de acción, impidiendo la construcción del conocimiento matemático [8]. “La teoría de intercambio de Nye” expone que los seres humanos evitan conductas que impliquen costo para ellos; si el estudiante percibe un beneficio mayor en otra actividad externa a la que ofrece la institución, el estudiante tenderá a desertar [37]. Para finalizar el apartado teórico, las teorías de “Bean y Eaton” son cuatro teorías psicológicas: la de actitud y comportamiento contiene la estructura del modelo de comportamientos, la segunda es la “teoría de comportamiento de Copia” donde señala la habilidad para entrar y adaptarse a un nuevo ambiente. La tercera es “la teoría de la autoeficacia” la cual aporta a la percepción individual sobre la capacidad de hacer tareas y situaciones específicas. Y por último la teoría de “atribución” donde un individuo tiene un fuerte sentido de control interno [38].

Metodología

El estudio es de corte cuantitativo, exploratorio y correlacional. El instrumento aplicado fue una encuesta estructurada de manera virtual con la herramienta Google Form, dirigida a 188 alumnos inscritos en las Carreras de Ingeniería en Gestión Empresarial, Licenciatura en Administración, Ingeniería Industrial, Arquitectura, Ingeniería en Sistemas Computacionales, Ingeniería en Informática, Ingeniería en Materiales e Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Zacatecas. La recolección de datos se realizó de manera electrónica vía formulario y se envió por las redes institucionales en el periodo del 01 de junio de 2022 al 30 de junio de 2023. La muestra se seleccionó por conveniencia, se consideraron a los estudiantes que quisieran responder. Las variables independientes estudiadas en este trabajo de investigación fueron a través de las preguntas: ¿El traslado es la mayor dificultad en los estudios?; ¿El reprobar es el obstáculo que más decepciona en los estudios?; ¿El no contar con el suficiente dinero es el factor más decepcionante en el estudio?¿La inseguridad es el obstáculo que impide seguir con los estudios? y ¿El no contar con computadora o tecnología adecuada es un factor para no seguir con los estudios? ¿Los docentes, hacen que no se puedan continuar con los estudios? Las cuales se midieron en una escala tipo Likert 5 puntos donde 1 = nunca; 2 = casi nunca; 3 = rara vez; 4 = casi siempre y 5 = siempre. La variable dependiente es el semestre que cursan se midió por la variable “semestre”.

ISSN: 2007 8102

Para el análisis de datos se utilizó la técnica de mínimos cuadrados, debido a que es uno de los métodos más eficaces. En primera instancia se creó un modelo matemático el cual se detalla en la ecuación 1:

$y = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$ (ecuación 1)

Dónde: y = Semestre cursado; X_1=Reprobación; X_2= Contar con dinero suficiente; X_3= Inseguridad; X_4=Tecnología adecuada y X_5= Los docentes universitarios. Posteriormente se estima el modelo econométrico, el cual está expresado en la ecuación 2.

$y= \beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\beta_3X_3+\beta_4X_4+\beta_5X_5 + \mu$ (ecuación 2)

Dónde: y= es la variable dependiente del modelo de investigación; X_1, X_2, X_3, X_4 y X_5 son las variables del constructo “deserción escolar”; β_1, β_2, β_3, β_4 y β_5 son los parámetros poblacionales de modelo y μ es el término de error aleatorio. Para la prueba de hipótesis, el modelo econométrico, establece la hipótesis nula de que las variables consideradas en la ecuación 2, no influyen en el semestre cursado, la hipótesis de investigación se establece en la ecuación tres (3).

$H0: \beta_1=0, \beta_2=0, \beta_3=0, \beta_4=0, \beta_5=0$ (ecuación 3)

$H_1 = H_0$ no es verdadera.

En la tabla 1, se presenta el análisis de consistencia interna con el estadístico Alpha de Cronbach, el cual se encuentra demasiado cerca a los límites recomendados (.70) [4].

Tabla 1. Estadístico de confiabilidad

Coeficiente alpha de Cronbach	.684

Fuente. Elaboración propia.

En la tabla 2, se exponen los resultados del análisis de regresión lineal, donde se aprecia el estadístico F = (3.942) el cual prueba la hipótesis de ajuste del modelo global, el cual es significante, lo cual indica la pertinencia del modelo. La cual estima la relación de las variables de la ecuación 3. El coeficiente de correlación (R) mide la relación entre la variable dependiente (semestre) y las variables independientes (reprobación, recursos económicos, inseguridad, tecnología adecuada y comportamiento docente), El coeficiente de determinación (R2), indica el porcentaje de variación de las variables dependientes respecto a la variable independiente.

Tabla 2. Análisis de regresión lineal múltiple

R	R2	R corregido	Error típico	F	Sig.
.313	.098	.073	1.989	3.942	.002

Fuente. Elaboración propia.

Continuando con el análisis, la tabla 3 presenta la salida del análisis de regresión del software SPSS,la cual presenta el coeficiente β, con un valor constante de 4.29, que es el semestre de deserción, la variable que es más significativa es la reprobación (p <.005), lo que indica que la reprobación el en ITZ se presenta al pasar del 3er al 4to semestre debido a que su signo es negativo -.381, por lo tanto, la línea de regresión es y =4.298- .381, lo que indica que la reprobación se presenta al finalizar el tercer semestre = 3.917. La otra variable significativa son los recursos económicos (X2), (p< .077), ya que el factor financiero es muy importante para continuar con los estudios, la deserción escolar en el Instituto Tecnológico de Zacatecas. Las variables de inseguridad, la implementación de tecnología y los docentes no tienen influencia en la deserción escolar. Con lo que damos respuesta a nuestra pregunta de investigación.

Tabla 3. Coeficientes estandarizados

Modelo	B	Error	Beta	t	Sig
Constante	4.298	.682		6.300	.000

 ISSN: 2007 8102

Reprobación (X1)	-.381	.134	-.228	-2.387	.005
Recursos Económicos (X2)	.254	.142	.142	1.780	.077
Inseguridad (X3)	.225	.138	.127	1.634	.104
Tecnología adecuada (X4)	.223	.139	.131	1.601	.111
Docentes (X5)	.015	.144	.008	.105	.917

Fuente. Elaboración propia.

Resultados y discusión

Los resultados son muy consistentes con los presentados por Díaz y Tejedor (2017), ya que los autores señalan que la reprobación y el bajo rendimiento académico de los estudiantes de los primeros semestres son la principal causa de deserción [5]. Al igual con los de los autores Sinchi y Gómez (2018), quienes encuentran que los recursos financieros son la principal causa de deserción y la no aprobación de los exámenes [11]. Por su parte Henríquez y Vargas (2022) encontraron que los índices de deserción se presentan en los primeros años de la carrera lo que concuerda con los resultados de esta investigación [9].

Los hallazgos pueden ser explicados por el excesivo número de materias y exámenes que incrementa el nivel de frustración de los estudiantes (t=-2.387) y que eleva la carga de trabajo, así como por la carencia de integración social y el no contar con los suficientes recursos económicos [23] (t=1.780), por lo tanto podemos afirmar que al finalizar el tercer semestre y comenzando el cuarto, son cruciales en la deserción, ya que el 95% de la deserción ocurre en este periodo [28]. Por su parte Tinto (1989) señala que existen períodos críticos en la trayectoria estudiantil, el primero se presenta durante el período de admisión, ya que el estudiante genera expectativas no realistas e imprecisas acerca de las características de la vida institucional. La segunda es la transición entre la enseñanza media y el acceso a la institución, por lo tanto, en la adaptación universitaria intervienen aspectos preuniversitarios académicos y los sociales sobre todo sí provienen de comunidades rurales y poseen condiciones económicas adversas. Y la tercera se considera la incapacidad de satisfacer necesidades académicas y produce deserciones voluntarias al final del primer año de estudios [39].

Trabajo a futuro

Se propone profundizar en el estudio de la deserción escolar y ampliar el análisis a otras instituciones de educación superior como las Universidades Autónomas, los Institutos Politécnicos y las universidades privadas con el propósito de contrastar los resultados, lo que permitirá entender las causas de la deserción escolar. Además conviene considerar otro tipo de variables como la motivación y la calidad percibida en la educación y aplicar un análisis como la prueba de hipótesis con ecuaciones estructurales.

Conclusiones

Las principales conclusiones de esta investigación, son que las causas de deserción escolar en el Instituto Tecnológico de Zacatecas se presentan en los primeros dos semestres cuando el estudiante se da cuenta que la carrera elegida no cumple con sus expectativas, algo natural al no ser su primera opción en la elección de carrera y de escuela, y por parte de la institución, al no tener filtros de ingreso rigurosos, como lo es el bachillerato y los resultados del examen de ingreso, a excepción de la carrera de arquitectura. Al finalizar el tercer semestre y comenzando el cuarto, principalmente por la reprobación, la cual puede ser explicada por la carga de materias y exámenes, así como por la carencia de recursos económicos, como se observa son debido a los aspectos personales de los estudiantes [17]. La reprobación involucra factores psicológicos como el estrés y desmotivación; la carencia de recursos económicos se relaciona con el nivel socioeconómico y el contexto personal del alumno. Estas dos variables son las razones por las que los alumnos abandonan sus estudios. De acuerdo a la perspectiva de March y Simon (1980) la deserción puede ser explicada como consecuencia de los procesos psicológicos y sociológicos que incluyen las actividades del estudiante y el entorno o el medio ambiente que lo rodean, por lo tanto, para disminuir la reprobación estudiantil conviene incluir y potencializar herramientas tecnológicas como la gamificación y la impartición de clases con la mayor tecnología disponible ya que esto ayuda a aumentar la

motivación de los estudiantes y disminuir la deserción escolar [40], de acuerdo con la revisión de literatura, conviene desarrollar los servicios de asesoría personalizada que ayuden a entender las expectativas y beneficios de concluir con éxito la universidad. para contribuir al aumento de la autoestima y la motivación [14].

Es necesario replantear la calidad de la educación, estableciendo mayor confianza entre los alumnos, así como fomentar el respeto y hacer énfasis en el estudio e identificación de las necesidades y expectativas de los estudiantes con el propósito de motivar el deseo de continuar con el proceso de formación y terminación de sus estudios [31], con lo que se esperaría disminuir los índices de deserción. Otra propuesta es en el cuarto semestre clasificar en deciles a los alumnos de acuerdo con los estratos de los niveles de deserción, específicamente en la reprobación, que puede ser por inasistencias, nivel de aprovechamiento, grado de rezago y calificaciones parciales para brindar un mayor seguimiento y disminuir la deserción.

Se concluye que es conveniente crear programas de inclusión de padres de familia, ya que son un apoyo económico y emocional importante en la finalización del proceso formativo en la universidad [13], y a nivel Secretaría de Educación Pública un Sistema de Prevención y Seguimiento de la Deserción para todos los niveles como el que existe en Colombia [16], así mismo, conviene profundizar en el mejoramiento de la calidad educativa a través de la acreditación de programas ante el Consejo Nacional de Humanidades y Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) con el desarrollo de capacidades innovación en los procesos, eficientar la organización de las instituciones y el incremento de la competitividad en la investigación [7]. Es una realidad que el estudio de la deserción escolar afecta el desarrollo de las naciones [41], por lo tanto se requiere la implementación de estrategias (en el largo plazo) como las aquí propuestas que ayuden a minimizar el riesgo del abandono escolar.

Referencias

[1] R. Ventura, y A. Moctezuma, "Abandono escolar en la educación media superior de México," *IE Revista de Investigación Educativa de la REDIECH,* vol. 14, pp. 1-15, 2023.
[2] J. G. March and H. A. Simon. *Teoría de la organización.* Barcelona: Ariel, 1980.
[3] T. Montes de Oca,"Educación superior: factores económicos que inciden en la deserción escolar. Caso de las licenciaturas de la UNID Tlalnepantla," *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo,* vol. 12, no. 23, pp. 1-16, 2021
[4] L.A.. Correa, "The cultural aspects and economic performance of Small Wixarica Artisan Businesses," *Equidad y Desarrollo,* no. 38, pp. 1-21, 2022.
[5] P. Díaz y A. Tejedor, "EL CADESUN. Un instrumento para analizar la deserción estudiantil universitaria" *REencuentro. Análisis de problemas universitarios,* vol. 28, no. 73, pp. 199-216, 2017.
[6] R. A. Carvajal, y C. T. Cervantes "Aproximaciones a la deserción universitaria en Chile," *Educación & Pesquisa,* vol. 44, pp. 1-20, 2018.
[7] C. Díaz, "Modelo conceptual para la deserción estudiantil universitaria chilena," *Estudios pedagógicos,* vol. 34, no. 2, pp. 65-86, 2008
[8] A. Jiménez, A. y Mercedes, "Las emociones en la deserción del conocimiento matemático," *Praxis & Saber,* vol. 1, no. 1, pp. 191-216, 2010.
[9] N. Henriquez, y D. Vargas,"Modelos predictivos de rendimiento y deserción académica en estudiantes de primer año de una universidad pública chilena," *Revista de Estudios y Experiencias en Educación,* vol. 21, no. 45, pp. 299-316, 2022.
[10] O.K. Hernández, R. Pérez, y G. González, "La deserción en posgrados, un problema no menor," *Diálogos sobre educación,* vol. 5, no.8, pp. 1-18, 2014.
[11] E. R. Sinchi y G. P. Gómez, "Acceso y deserción en las universidades. Alternativas de financiamiento," *Alteridad. Revista de Educación,* vol. 13, no. 2, pp. 274-287, 2018.
[12] P. Barahona, E. Veres and V. Aligata, "Deserción académica de la Universidad de Atacama, Chile," *Comunicación, Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo,* vol. 7, no. 2, pp. 27-37, 2016.
[13] F. L. Rochin, "Deserción escolar en la educación superior en México:revisión de literatura," *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo,* vol. 12, no. 22, pp. 1-11, 2021.
[14] C. Staiculescu, y E. R. Richiteani, "University Dropout. Causes and solution," *Mental Health Global Changes,* vol. 21, pp. 1-7, 2018.
[15] J. G. Vargas, L.S. Bustos y R. Moreno,"Propuesta para aumentar el nivel académico, minimizar la deserción, rezago y repitencia universitaria por problemas de bajo rendimiento académico en la Universidad Tecnológica de Pereira en el programa Ingeniería de Sistemas y Computación," *Scientia Et Technica,* vol. XI, no. 28, pp. 145-150, 2005.
[16] L. T. M. Chalpartar, A. M. Fernández, S. Betancourth y Y. A. Gómez,"Deserción en la población estudiantil universitaria durante la pandemia, una mirada cualitativa," *Revista Virtual Universidad Católica del Norte,* vol. 66, pp. 37-62, 2022.

[17] O. Lorenzo, S. Galdón y A. Lendínez, "Factors contributing to university dropout: a review," *Frontiers in education,* vol. 8, pp. 1-13, 2023.
[18] D. O. Viera, M. A. Flores, y E. Pachari-Vera "Factores de deserción estudiantil: un estudio exploratorio desde Perú," *Interciencia,* vol. 45, no. 12, pp. 568-573, 2020.
[19] G. Olave-Arias, M. Cisneros-Estupiñan,e I. Rojas-García. "Deserción universitaria y alfabetización académica," *Educación y Educadores,* Vol. 16. no. 3, pp. 455-471,2013.
[20] F. Dzay y O. Narvaez, "*La deserción escolar desde la perspectiva estudiantil",* Universidad de Quintana Roo, 2012.
[21] INEGI, "*Producto Interno Bruto por entidad federativa 2021",* Comunidad de prensa núm. 734/22, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI, 7 de diciembre de 2022, consultado en https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/PIBEF/PIBEF.pdf, el 21 de julio de 2023.
[22] INEGI, *"Información de México/Zacatecas"*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, consultado en https://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/zac/territorio/, el 21 de julio de 2023.
[23] "*Manual de Lineamientos del TecNM",* Tecnológico Nacional de México, 2015.
[24] R. Herrera, *"Informe de Rendición de Cuentas",* Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Zacatecas, México, 2018
[25] R. Ortiz, *"Informe de Rendición de Cuentas",* Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Zacatecas, México, 2020.
[26] R. Ortiz, *"Informe de Rendición de Cuentas",* Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Zacatecas, México, 2021.
[27] R. Ortiz, *"Informe de Rendición de Cuentas",* Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Zacatecas, México, 2022.
[28] S. P. Robbins, and M. Coulter, *Administración*. México: Mc Graw Hill, 2006.
[29] C. Contreras, "Determinación de variables predictivas de deserción inicial para generar un sistema de alerta temprana. Análisis sobre una muestra de estudiantes beneficiarios de la beca de nivelación académica en una universidad pública en Chile," *Calidad en la educación,* no. 54, pp. 12-45, 2021.
[30] Y. N. Fuertes, y C. E. Uc,,"Aporte de las tecnologías de la Información y la comunicación (TIC) para minimizar la deserción de carreras universitarias en tecnología," *Revista Virtual Universidad Católica del Norte,* vol. 68, pp. 4-36, 2023.
[31] INEGI, Encuesta Nacional de Seguridad pública urbana, Comunicado de prensa, No. 410/23, p. 1, 2023.
[32] I. González, M. A. Vázquez y M.A. Zavala,"La desmotivación y su relación con factores académicos y psicosociales de estudiantes universitarios," *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria,* vol. 15, no. 2, pp. 1-12, 2021.
[32] V. Tinto, Theories of student departure revisited. En Smart D (Ed.) Higher Education Handbook of Theory and Research. Vol. 2 Agathon. Nueva York, EEUU. pp. 359-384, 1986.
[33] V. Tinto, Dropout From Higher Education: A Theoretical Synthesis of Recent Research, Journal of Higher Education. No 45: 89-125.1975.
[34] V. Tinto, El abandono de los estudios superiores: una nueva perspectiva de las causas del abandono y su tratamiento. Universidad Nacional Autónoma de México, Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior. 55 , 1987.
[35] W. Spady, Dropouts from higher education: An interdisciplinary review and synthesis, 1970.
[36] J. Nye, Independence and Interdependence. Foreign Policy. Spring, No 22: 130-161, 1976
[37] J. P. Bean, and S. Eaton The psychology underlying successful retention practices. Journal of College Student Retention Research, Theory & Practice Vol. 3, N° 1: 73-89. Berger, J. and J. Milem (2000). Organizational Behavior in Higher Education and Student Outcomes, 2001.
[38] V. Tinto, Definir la deserción: una cuestión de perspectiva. Revista de Educación Superior, 1989.
[49] J. G. March y H. A. Simon. "Teoría de la Organización" Barcelona: Ariel.1980.
[40] L. Patiño, y A. M. Cardona, "Review of some studies on university student dropout in Colombia and LatinAmerica," *Acta Universitaria,* vol. 23, num. 4, pp. 37-46, 2013.

 ISSN: 2007 8102

PERCEPCIÓN DE ESTUDIANTES: NIVEL MEDIO SUPERIOR PARA ELEGIR UNA CARRERA PROFESIONAL EN LA UARM

Anselmo Tecolapa Crescencio, Flor Yesenia García Hernández, Yesenia Santana Cardoso.

[1] Programa Educativo de: Desarrollo de Negocios. atecolapac@utrng.edu.mx
[2] Programa Educativo de: Contaduría. Correo: fgarciah@utrng.edu.mx
[3] Programa Educativo de: Tecnologías de la Información. Correo: ysantanac@utrng.edu.mx.
Unidad Académica en la Región de la Montaña, Carretera Chilapa-Zitlala desviación a Tecoyutla S/N, Chilapa de Álvarez, Gro., perteneciente a la Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero, Av. Catalina Pastrana s/n, C.P 40025 Iguala de la Independencia, Guerrero, México.

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen
La presente investigación pretende identificar la toma de decisión que tienen los estudiantes de Educación Media Superior (EMS) para elegir una carrera universitaria, que ofrece el modelo educativo de las Universidades Tecnológicas y Politécnicas (UTyP), de la oferta educativa en la Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero (UTRNG) en su Unidad Académica en la Región de la Montaña (UARM), ubicada en Chilapa de Álvarez, Guerrero, México. El método de investigación fue mixto. Los resultados arrojan que la mayoría de los estudiantes encuestados prefieren la carrera de Técnico Superior Universitario (TSU) en Desarrollo de Negocios, área: Mercadotecnia. Además, se visualiza que un alto porcentaje de estudiantes tienen una opción para continuar los estudios a nivel superior, por la cercanía del lugar de origen, el turno matutino que se ofrece e implementar un nuevo programa educativo de TSU en Gastronomía, ofreciendo un abanico de oportunidades más para los estudiantes.

***Palabras clave**: educación media superior, modelo educativo, carrera universitaria, programa educativo.*

Abstract
This research aims to identify the decision-making that students of Educación Media Superior (EMS) have to choose a university career that offers the educational model of the Universidades Tecnológicas y Politécnicas (UTyP) of the educational offer at the Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero (UTRNG) in its Unidad Académica en la Región de la Montaña (UARM), located in Chilapa de Álvarez, Guerrero, Mexico. The research approach was blended. The findings indicate that most surveyed students prefer a Business Development career as Higher University Technician (TSU), specifically in Marketing. Furthermore, it can be observed that a significant proportion of students have the opportunity to further their education at an advanced level due to the proximity of their hometown, the availability of morning classes, and the introduction of a fresh educational program in Gastronomy at TSU. This new program offers students a more comprehensive range of opportunities to explore.

***Keywords**: upper secondary education, educational model, university career, education program.*

Introducción
La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura conocida por las siglas UNESCO refiere que, “La educación es un derecho humano fundamental que permite sacar a los hombres y las mujeres de la pobreza, superar las desigualdades y garantizar un desarrollo sostenible” [1], por lo tanto, la educación es el cimiento de los individuos, Guerrero es considerado uno de los estados con mayor analfabetismo. La tabla 1 muestra una comparativa de la población de 15 a 24 años, que asiste a la escuela de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) [2], en el año 2020 el 41.8% de la población fue mayor a diferencia del año 2000 que fue de 32.2%, por lo tanto, el incremento de la asistencia a la escuela es considerable, reduciendo la brecha de la educación.

Tabla 1. Porcentaje de población de 15 a 24 años que asiste a la escuela. Tomado/Adaptado de [2]**.**

 ISSN: 2007 8102

Año	Hombres %	Mujeres %	Promedio %
2000	33.8	30.8	32.2
2010	37.3	36.9	37.1
2020	42.0	41.6	41.8

En México, de acuerdo al glosario de términos que emite la Secretaría de Educación Pública (SEP) la Educación Media Superior (EMS) son “estudios obligatorios antecedentes son los de la secundaria. Comprende el bachillerato general, bachillerato tecnológico, profesional técnico y el profesional técnico bachiller” [3], por lo regular tiene una duración mínima de dos a cuatro años como máximo. Una vez culminada la EMS los estudiantes continúan con la Educación de tipo Superior, “formación que se imparte después de la EMS, está compuesto por los niveles de TSU, de profesional asociado, de licenciatura, de especialidad, de maestría y de doctorado, así como la educación normal en todos sus niveles y especialidades” [3].

En 1991 en México fueron creadas las Universidades Tecnológicas (UT) con tres objetivos específicos: 1. Descentralizar la Educación Superior favoreciendo a las comunidades marginadas del país; 2. Ampliar y diversificar la oferta educativa, con formación acorde a la realidad socioeconómica y laboral local; y 3. Favorecer la vinculación con la comunidad docente y el sector productivo, para formar capital humano preparado para insertarse de manera inmediata al campo laboral [4]. Actualmente en el estado de Guerrero se ha incrementado en los últimos años la creación de nuevas Universidades Tecnológicas y Politécnicas (UTyP), debido a varios elementos: disminuir el analfabetismo, acceder a una mejor calidad de vida, formar capital humano con las competencias requeridas en el campo laboral, entre otras; sin embargo, para aumentar los indicadores es necesario personas que deseen continuar con los estudios superiores.

En la tabla 2, describe los programas educativos que actualmente ofrece la UTRNG en su UARM ubicada en Carretera Chilapa-Zitlala desviación a Tecoyutla S/N, Chilapa de Álvarez, Gro. C.P. 41100, de acuerdo al modelo educativo de las Universidades Tecnológicas, el nivel de Técnico Superior Universitario, es una educación intensiva de seis cuatrimestres, cinco de ellos son de manera presencial para acceder al aprendizaje que forma parte del plan de estudios de la Carrera Profesional elegida, con el 70% práctico y 30% teoría, y en el sexto cuatrimestre los estudiantes realizan una estadía profesional misma que permite a los y las estudiantes aplicar los conocimientos y habilidades adquiridos en las aulas de clases en una empresa y/u organización, pública o privada, con el objetivo de resolver un problema específico.

Actualmente en la UARM la única opción de titulación es elaborar una memoria de estadía profesional que es un documento que describe lo que realizó en la estadía. Posterior cinco cuatrimestres más para continuar con la licenciatura y/o ingeniería, cuatro de ellos presencial, con el 60% práctico y 40% teoría, y en el quinto cuatrimestre nuevamente realiza una estadía profesional para obtener el grado correspondiente. Todo lo anterior en Modalidad escolarizada, “lo cual implica proporcionar un espacio físico para recibir formación académica de manera sistemática y requiere de instalaciones que cubran las características que la autoridad educativa señala. Tiene las opciones presencial e intensiva” [3] y Modalidad no escolarizada (turno “despresurizado, ofrece a los estudiantes que se encuentran laborando en el sector productivo terminar en 3 años la carrera de Técnico Superior Universitario, de igual manera, a nivel ingeniería concluyen en 2 años 8 meses”) [1], “destinada a estudiantes que no asisten a la formación en el campo institucional. Esta falta de presencia es sustituida por recursos didácticos de auto acceso, del equipo de informática y telecomunicaciones y del personal docente” [3] .

Tabla 2. Porcentaje de población de 15 a 24 años que asiste a la escuela. Tomado/Adaptado de [2]**.**

No.	Técnico Superior Universitario (TSU) en:
1	Contaduría
2	Desarrollo de Negocios, área: Mercadotecnia
3	Tecnologías de la Información, área: Desarrollo de Software Multiplataforma
No.	**Continuidad en Licenciatura/Ingeniería en:**
1	Licenciatura en Contaduría
2	Licenciatura en Innovación de Negocios y Mercadotecnia
3	Ingeniería en Desarrollo y Gestión de Software

 ISSN: 2007 8102

La educación superior en la UARM forma "individuos capacitados para el estudio y tratamiento de problemas específicos de un área particular en una profesión, pudiendo referirse a conocimientos y habilidades de una disciplina básica o actividades específicas de una profesión determinada" [3].

Metodología

El método de investigación es Mixta, éste hace referencia al análisis de datos cualitativos y cuantitativos según H. Sampieri [5], centrada en recabar la información de la comunidad estudiantil del nivel medio superior, se analizaron tres fases para el presente estudio: La primera se centra en identificar la preferencia que tienen los estudiantes de educación medio superior, en específico de la oferta educativa que ofrece la Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero, en su Unidad académica en la Región de la Montaña, en la segunda que carrera les gustaría que se implementara y la tercera, el turno que les interesaría.

Materiales y preparación

Se elaboró un cuestionario, con 15 items, 12 hacen referencia a preguntas de carácter general, 3 con influencia directa a la temática (donde 2 son cerradas y 1 abierta). Se aplicó de manera presencial a los alumnos de las escuelas de nivel medio superior de 7 municipios como se describe en la tabla 3, misma información que después fue capturada en la herramienta de Google Forms, para exportar la información en un archivo de Excel, dicha encuesta fue aplicada durante la semana del 10 de febrero al 3 de marzo del 2023.

Desarrollo

La UARM se ubica en Chilapa de Álvarez, Gro., nuestra zona de influencia son 9 municipios: Ahuacuotzingo, Atlixtac, José Joaquín de Herrera, Mártir de Cuilapan, Tixtla de Guerrero, Zitlala, en los 3 municipios Acatepec, Mochitlán, Quechultenango, por cuestiones de distancia no se aplicó la encuesta en esta primera fase, sólo se encuestaron 7 municipios a un total de 961 alumnos del nivel medio superior. El instrumento consta de 15 items, 3 hacen referencia a la temática de análisis: ¿Qué carrera te gustaría estudiar de nuestra oferta educativa?, ¿Qué carrera te gustaría que se implementaran en nuestra oferta educativa?. Turno de tu elección para estudiar tu carrera. En la Tabla 3, se muestran los municipios a los que se les aplicó la encuesta de los alumnos del nivel medio superior.

Tabla 3. Alumnos encuestados por Municipio del nivel medio superior.

No.	Municipio	No. de alumnos encuestados
1.	Ahuacuotzingo	30
2.	Atlixtac	90
3.	Chilapa de Álvarez	305
4.	José Joaquín de Herrera	50
5.	Mártir de Cuilapan	75
6.	Tixtla de Guerrero	346
7.	Zitlala	65
	Total	961

Resultados y discusión

Del cuestionario se consideraron tres ítems de mayor importancia, bajo la característica de un análisis estadístico para obtener los hallazgos y poder identificar la preferencia que tienen los alumnos próximos a egresar sobre la oferta educativa, así como el programa educativo que les gustaría que se aperturara o se implementara en nuestra Unidad Académica en la Región de la Montaña y el turno de su interés.
Éstas fueron aplicadas de manera presencial a los alumnos del nivel Medio Superior de las escuelas de los siete de diez Municipios de nuestra zona de influencia, Ahuacuotzingo, Atlixtac, Chilapa de Álvarez, José Joaquín de

 ISSN: 2007 8102

Herrera, Mártir de Cuilapan, Tixtla de Guerrero, Zitlala, Acatepec, Mochitlán y Quechultenango, así como de las figuras de la 3 a la 9, que permiten identificar el contexto local y de los municipios de mayor influencia que contestaron.
El cuestionario está estructurado en una primera etapa, con datos generales del encuestado; Nombre, edad, género, domicilio, colonia, localidad y municipio. En una segunda etapa; plantel, nivel medio superior: especialidad, bachillerato, nivel técnico u optativa y en una última etapa las preguntas enfocadas a; que programa educativo (PE) les interesaría cursar en la institución, que nuevo PE les gustaría que se implementaran y el turno de su interés.

Primeros resultados

Como se observa en la figura 1, del total de 961 respuestas fueron mujeres con un 55% y el 45% hombres, esto indica que el mayor número porcentual fue el de mujeres, dato obtenido de la aplicación de la encuesta a los estudiantes en escuelas de nivel medio superior, de los diversos planteles en las localidades de los diferentes municipios de la zona de influencia donde se encuentra ubicada la UARM.

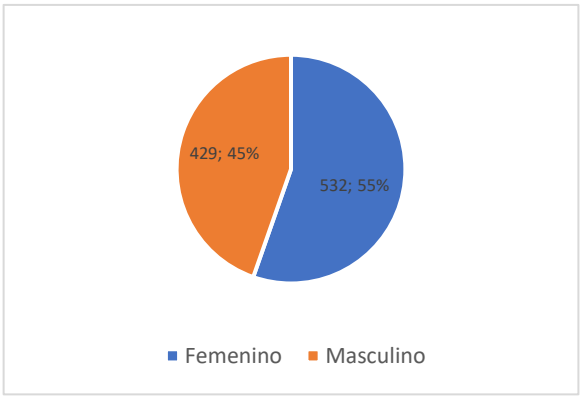


Figura 1. Distribución porcentual de hombres y mujeres.

En la figura 2, del rango de edad de la población encuestada el mayor número porcentual fue del 60.77% corresponde a 17 años, el 25.81% a 18 años, el 5.52% de 16 años, así como el 3.95% de 19 años, el resto en menos porcentaje menores de 15 años o mayores a 20 años, cabe describir que la población encuestada son estudiantes de nivel medio superior de las escuelas del entorno regional.

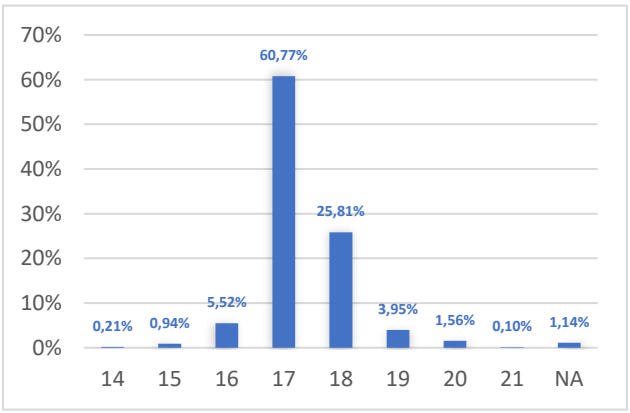


Figura 2. Distribución porcentual edad.

Segundos resultados

El Instrumento de medición se aplicó a los alumnos del nivel medio superior de los municipios antes mencionados de nuestra zona de Influencia. En la figura 3, se observa que en el Municipio de Ahuacuotzingo los planteles fueron; el Telebachillerato comunitario No. 260 y el Colegio de Bachilleres, significa el 3% del total de las encuestas aplicadas.

 ISSN: 2007 8102

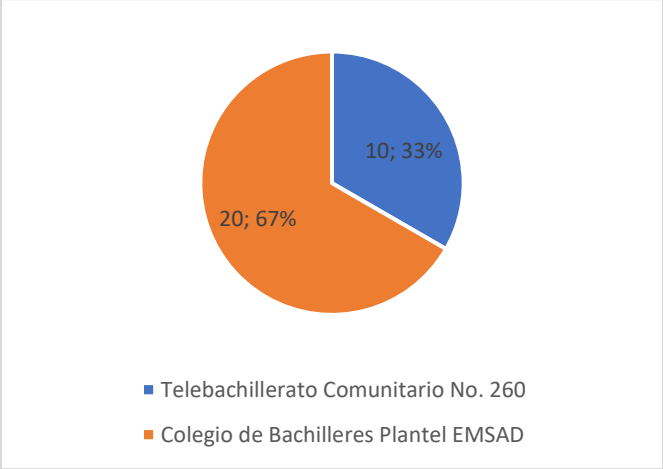


Figura 3, Municipio de Ahuacuotzingo.

En la figura 4, el municipio de Atlixtac los planteles fueron; el Colegio de Bachilleres, EMSAD No. 90 (Educación Media Superior a Distancia), Preparatoria Popular 20 de septiembre y Telebachillerato Comunitario No. 125 estos equivalen al 9% del total.

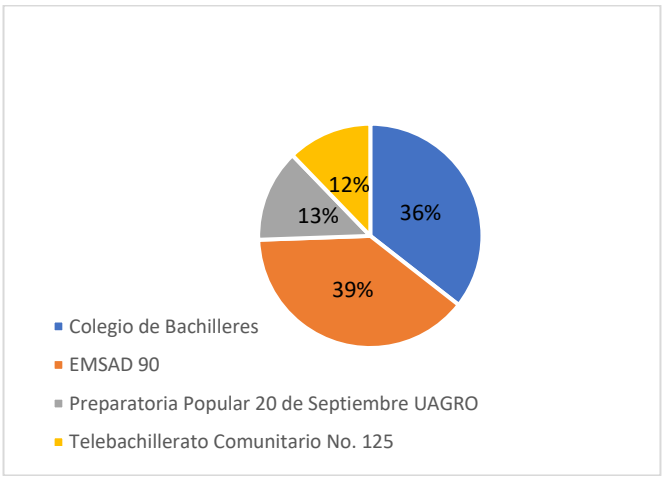


Figura 4, Municipio de Atlixtac.

La figura 5, describe el municipio de Chilapa de Álvarez, de 305 encuestas aplicadas son el 32% del total, se observa que hay más escuelas de nivel medio superior como son; Cecyteg No. 02(Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos), Colegio Morelos, EMSAD No. 05, José Vasconcelos, Preparatoria No. 26 Albert Einstein y Preparatoria Popular Immanuel Kant.

 ISSN: 2007 8102

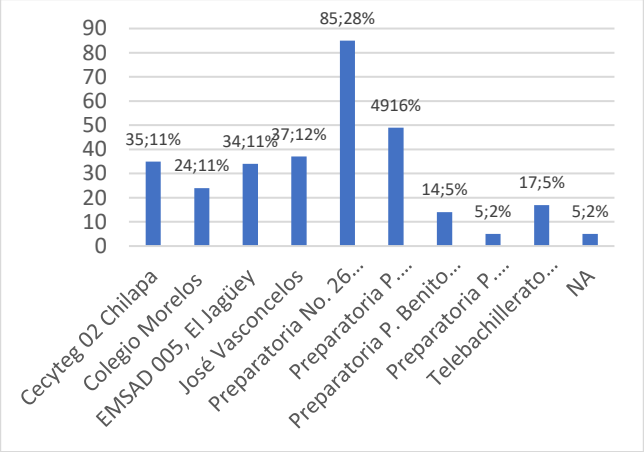


Figura 5, Municipio de Chilapa de Álvarez.

La figura 6, muestra el municipio de José Joaquín de Herrera de las 50 encuestas aplicadas supone el 5% del total; las instituciones que se visitaron fueron; Colegio de Bachilleres y el Sistema Universitario de Bachillerato.

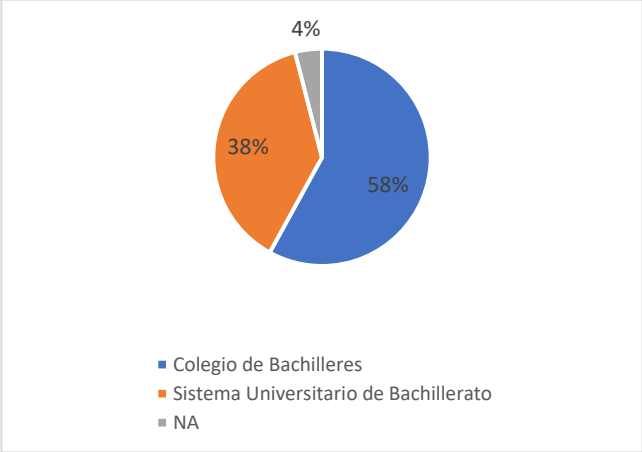


Figura 6, Municipio de José Joaquín de Herrera.

En la figura 7, se visualiza el municipio de Mártir de Cuilapa, solo se visitó el plantel 11-A de Apango, que simboliza el 8% del total.

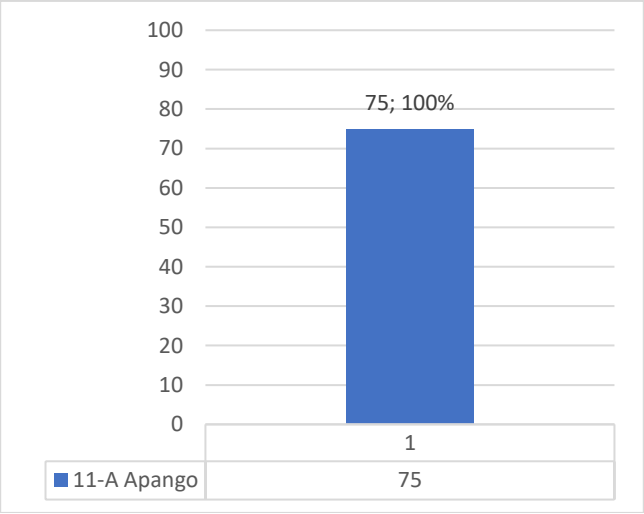


Figura 7, Municipio de Mártir de Cuilapa.

 ISSN: 2007 8102

La figura 8, muestra el municipio de Tixtla de Guerrero y sus instituciones donde se aplicaron las encuestas; el Colegio de Bachilleres 11, Conalep, Emperador Cuauhtémoc, EMSAD No. 032, Preparatoria No. 29 Emiliano Zapata, Preparatoria Popular José Martí y Telebachillerato Comunitario No. 111, estás equivale el 36% del total, siendo la que mayor número aportó en el levantamiento de las encuestas.

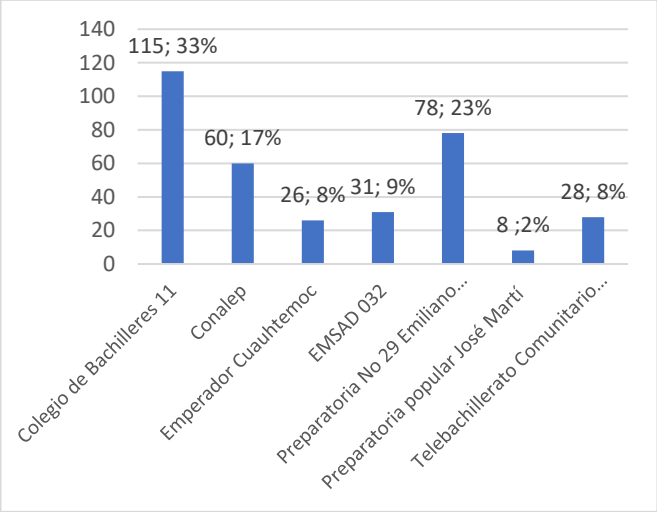


Figura 8, Municipio de Tixtla de Guerrero.

Por último, la figura 9, que muestra el municipio de Zitlala y sus planteles; el Colegio de Bachilleres y Preparatoria Popular David Alfaro Siqueiros que representa el 7% del total de 100% de las encuestas aplicadas.

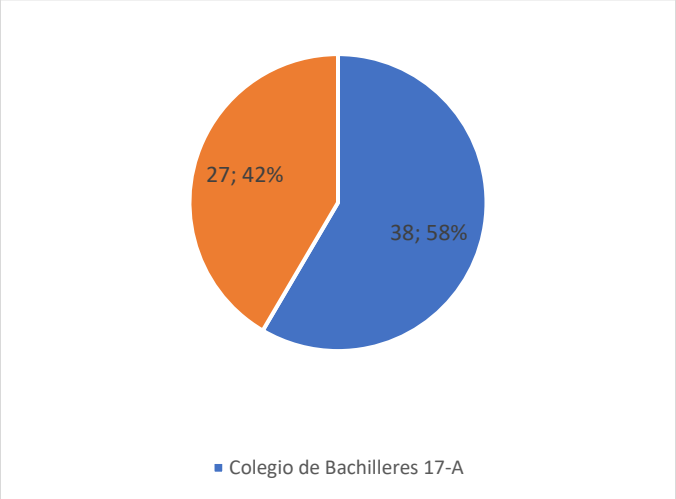


Figura 9, Municipio de Zitlala.

Terceros resultados

En la figura 10, de acuerdo a la pregunta, ¿Qué carrera te gustaría estudiar de nuestra oferta educativa? en la Unidad Académica en la Región de la Montaña, la que mayor porcentaje tiene de aceptación fue TSU en Desarrollo de Negocios área Mercadotecnia con un 38%, en segundo lugar, del TSU en Tecnologías de la Información área: Desarrollo de Software Multiplataforma con un 29%, en tercero, el TSU en Contaduría con el 24% y el 9% contestó que ninguna de las tres es de su interés.

 ISSN: 2007 8102

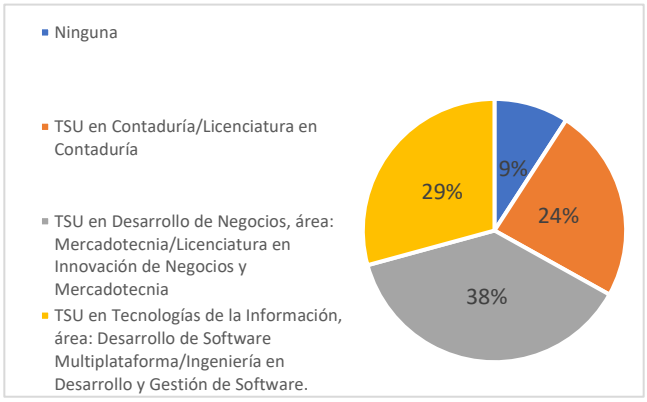


Figura 10, Carrera de interés para cursar en la UARM

De acuerdo a la pregunta ¿Qué carrera te gustaría que se implementaran en nuestra oferta educativa?, en la tabla 2, se observa el nivel de aceptación de las carreras que los alumnos eligieron las de su mayor agrado o interés, de las que pudieran ofertarse en la UARM, que eligieron en mayor proporción fue de TSU en Gastronomía con un 22%, seguida en igual proporción dos carreras las de TSU en Paramédico y TSU en Mecánica, área Industrial ambas con un 18% y en tercer lugar TSU en Agricultura sustentable y protegida con un 12%. Así mismo en la tabla 7 se describen las respuestas de "OTRO" la carrera de elección con mayor porcentaje la de Medicina con el 1.87% y las de menor porcentaje las de Agropecuario, Economía, Educación Física, Mecánico Automotriz y Químico con el 0.10%

Tabla 6, ¿Qué carrera le gustaría que se ofertará en la UARM?

¿Qué carrera te gustaría que se implementaran en nuestra oferta educativa?	Porcentaje	Cantidad
TSU en Agricultura Sustentable y Protegida	11,97%	115
TSU en Gastronomía.	21,96%	211
TSU en Mantenimiento, área: Industrial.	5,72%	55
TSU en Mecánica, área: Industrial.	18,00%	173
TSU en Paramédico.	17,79%	171
TSU en Tecnologías de la Información, área: Desarrollo de Software Multiplataforma/Ingeniería en Desarrollo y Gestión de Software.	0,52%	5
TSU en Terapia Física, área: Rehabilitación	15,50%	149

Tabla 7, Respuesta a opción de "Otros"

¿Qué carrera te gustaría que se implementaran en nuestra oferta educativa?	Porcentaje	Cantidad
Administración	0,31%	3
Agropecuario	0,10%	1
Arquitectura	1,04%	10
Criminología	0,21%	2
Derecho	1,14%	11
Diseño	0,21%	2
Economía	0,10%	1
Educación	0,31%	3

ISSN: 2007 8102

Educación Física	0,10%	1
Enfermería	0,42%	4
Ingeniería Civil	0,42%	4
Mecánico Automotriz	0,10%	1
Medicina	1,87%	18
Odontología	0,52%	5
Pedagogía	0,42%	4
Psicología	1,14%	11
Químico	0,10%	1

Últimos resultados

Actualmente en la UARM se ofertan tres turnos Matutino para nivel TSU, Vespertino para la continuidad para el Nivel Lic/Ing. y Despresurizado para ambos niveles, en la figura 11, se observa que la mayor preferencia para estudiar es el turno Matutino con 88% y tan solo el 12% para el turno despresurizado, cabe mencionar que los alumnos encuestados de este último son alumnos que tiene una fuente de empleo de ahí las preferencias para poder estudiar en Despresurizado "(Modelo educativo despresurizado, ofrece a los estudiantes que se encuentran laborando en el sector productivo terminar en 3 años la carrera de Técnico Superior Universitario, de igual manera, a nivel ingeniería concluyen en 2 años 8 meses)" [6].

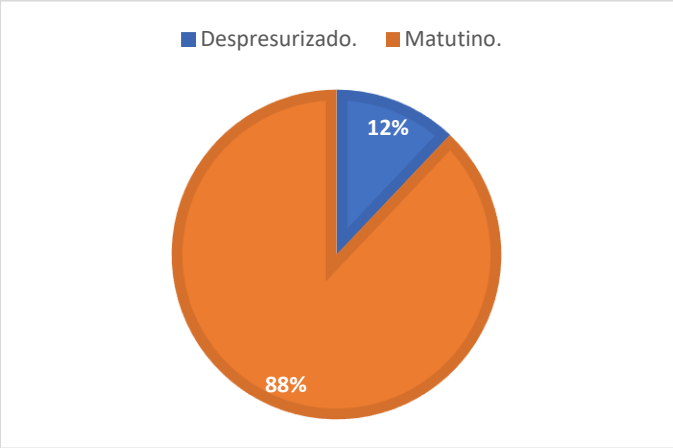


Figura 11, Turno de preferencia.

Trabajo a futuro

Realizar el estudio de factibilidad para la creación e implementación de los PE de Técnico Superior Universitario en: Gastronomía, Mecánica, área: Industrial y Paramédico, así como la continuidad en la Licenciatura en Gastronomía, Ingeniería en Mecánica Industrial y Licenciatura en Protección Civil y Emergencias, respectivamente, para ampliar la oferta educativa en la UARM, considerando que los estudiantes la propusieron como una alternativa para continuar los estudios profesionales.

Conclusiones

La presente investigación, permitió detectar el PE de Desarrollo de Negocios, este el más elegido por los estudiantes de nivel medio superior, además mediante la aplicación de encuestas se identificó la posibilidad de ampliar la oferta educativa a tres programas educativos en la Unidad Académica en la Región de la Montaña dependiente de la Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero: Técnico Superior Universitario en: Gastronomía, Mecánica, área: Industrial y Paramédico, así como la continuidad en la Licenciatura en Gastronomía, Ingeniería en Mecánica Industrial y Licenciatura en Protección Civil y Emergencias, respectivamente. Lo anterior significa que los estudiantes de la zona de influencia tendrían opciones para continuar con una carrera universitaria cerca del lugar de origen. Así mismo la mayoría de los estudiantes consideran que el turno matutino es la mejor opción, además se oferta la modalidad del despresurizado para los alumnos que tengan tuviesen la necesidad de estudiar y trabajar al mismo tiempo.

Agradecimientos

La investigación fue posible con el apoyo de la comunidad docente y administrativa de la UARM, quienes participaron en la aplicación de las encuestas a los estudiantes de las diferentes Instituciones de nivel medio superior de los municipios de Guerrero: Ahuacuotzingo, Atlixtac, Chilapa de Álvarez, José Joaquín de Herrera, Mártir de Cuilapan, Tixtla de Guerrero y Zitlala. Así mismo a las autoridades directivas de la EMS, UARM y UTRNG, por brindar las facilidades para realizar el presente artículo. Del mismo modo agradecemos la colaboración del Lic. Misael Ramírez Moyao por su valioso apoyo en la revisión del abstract.

Referencias

[1] Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, «UNESCO,» 2023. [En línea]. Available: https://www.unesco.org/es/right-education#:~:text=La%20educaci%C3%B3n%20es%20un%20derecho,razones%20sociales%2C%20econ%C3%B3micas%20o%20culturales.. [Último acceso: 01 07 2023].

[2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, «https://www.inegi.org.mx/,» INEGI, 2020. [En línea]. Available: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/cpv2020_pres_res_gro.pdf. [Último acceso: 01 07 2023].

[3] Secretaría de Educación Pública, «Planeación,» 2016. [En línea]. Available: http://planeacion.sec.gob.mx/upeo/GlosariosInicio20162017/SUPERIOR2016.pdf. [Último acceso: 1 7 2023].

[4] Dirección General de Universidades Tecnológicas y Politécnicas, «Secretararía de Educación Pública,» 2006. [En línea]. Available: https://dgutyp.sep.gob.mx/Publicaciones/DGUTyP/LibroXVUUTT/CAPITULO_I/Capitulo_I.pdf. [Último acceso: 1 7 2023].

[5] R. Hernández-Sampeieri y C. P. M. Torres, Metodología de la Investigación, México: Mc Graw Hill, 2018.

[6] Universidad Tecnológica del Valle de Toluca, «Gobierno del Estado de México,» 2023. [En línea]. Available: https://utvt.edomex.gob.mx/modalidad-despresurizada.

ISSN: 2007 8102

La influencia de las dinámicas de grupo y ejercicios prácticos en el rendimiento académico

***Área de participación**: Investigación Educativa*

N. Chiunti-González [1], M.P. Quintero Fuentes [2], M. Sampayo Cárcamo[3], N.C. García Aguilar [4], J.C. Romero Lezama [5]

[1,2,3,4,5]Colegio Interdisciplinario de Especialización-Departamento del Doctorado en Ciencias de la Gestión Estratégica-Calle, Rio Suchiate # 5910 entre calle Grijalba y Avenida Circunvalación. Colonia Jardines de San Manuel. C.P. 72570 Puebla, Puebla.
[1]Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Avenida Universidad 350, 94910 Cuitláhuac, Ver.
[3]Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, Avenida Tecnológico No 80, 5 de Octubre, 73174 Huauchinango, Pue.
[4]Universidad Anáhuac Veracruz Campus Córdoba-Orizaba, Calle Universidad 100, Colonia Rancho San Emigdio, Córdoba, Ver, C.P. 94500, Av. Eugenio Garza Sada 1, Las Quintas, 94500 Córdoba, Ver.
[5]Petróleos Mexicanos, Subdirección de Tecnologías de Información, Gerencia de Continuidad Operativa, SCADA T.I. Mendoza. Autopista México-Córdoba, km.260.5. El Encinar, Nogales, Ver. 94720.

[1]nayeli.chiunti.22@colegiointer.edu.mx,
[2]prof.martha.quintero@colegiointer.edu.mx,
[3]matilde.sampayo.22@colegiointer.edu.mx,
[4]nadia.garcia.22@colegiointer.edu.mx,
[5]jose.romero.21@colegiointer.edu.mx

Resumen

El objetivo del artículo es identificar si las dinámicas de grupo y ejercicios prácticos, ocupados como estrategia de aprendizaje influyen en el rendimiento académico. El estudio es experimental con alcance comparativo. Los participantes son 234 estudiantes matriculados en una Institución Educativa Superior del Estado de Veracruz. Se implementaron tres técnicas diferentes, haciendo uso de estrategias de aprendizaje específicas: la primera consistió en la aplicación de dinámicas de grupo, la segunda en la realización de ejercicios prácticos, y la tercera combinó ambas estrategias, dinámicas de grupo y ejercicios prácticos. Como comparación, se incluyó una cuarta técnica que carecía de estrategias específicas de aprendizaje. Los resultados revelaron que las tres técnicas que incorporaron estrategias de aprendizaje demostraron diferencias significativas en comparación con la técnica que no las incluyó. Estos hallazgos sugieren que la aplicación de estrategias de aprendizaje en dinámicas de grupo y ejercicios prácticos promueve un enfoque de aprendizaje estratégico.

***Palabras clave**: Estrategias de Aprendizaje, Dinámicas de Grupo, Ejercicios Prácticos, Rendimiento Académico*

Abstract

The objective of the article is to identify if group dynamics and practical exercises, used as a learning strategy, influence academic performance. The study is experimental with a comparative scope. The participants are 234 students enrolled in a Higher Educational Institution of the State of Veracruz. Three different techniques were implemented, making use of specific learning strategies: the first consisted in the application of group dynamics, the second in carrying out practical exercises, and the third combined both strategies, group dynamics and practical exercises. As a comparison, a fourth technique was included that lacked specific learning strategies. The results revealed that the three techniques that incorporated learning strategies demonstrated significant

differences compared to the technique that did not. These findings suggest that the application of learning strategies in group dynamics and practical exercises promotes a strategic learning approach.
***Key words**: Learning Strategies, Group Dynamics, Practical Exercises, Academic Performance*

Introducción

Las instituciones de educación superior son consideradas como los principales productores de conocimiento y recursos humanos, que son esenciales para el crecimiento y avance de las naciones y, como resultado, deciden el futuro de los países [1]. Es por ello importante, evitar la deserción escolar en la educación superior y buscar el éxito académico en este nivel. El estado de Veracruz ocupa el octavo lugar de deserción universitaria en la República Mexicana, con una tasa de deserción del 13.4% en el período 2020-2021, presentado un incremento con base al período 2015-2016 con una tasa de 12.4% [2].
Para reducir las tasas de abandono escolar [3], [4], destacaron que es crucial aumentar la satisfacción del alumno con respecto al aprendizaje. El éxito académico depende de la motivación y el estilo de aprendizaje de los estudiantes [5],[6], [7], [8]. Por lo tanto, el uso de estrategias de aprendizaje es importante para un aprendizaje exitoso [9], y un rendimiento académico aceptable.
Si los estudiantes pueden participar plenamente en las actividades de aprendizaje, su rendimiento académico mejorará en consecuencia [10].

Estrategia de Aprendizaje

Las estrategias de aprendizaje son métodos para recopilar, organizar o transformar información, con el propósito de generar aprendizaje, en un contexto social específico, incorporando factores cognitivos, metacognitivos, motivadores y conductuales [11], [12], [13].
Las estrategias de aprendizaje integran elementos afectivo-motivacionales y de apoyo (“querer”, lo que supone disposiciones y clima adecuado para aprender), metacognitivos (“tomar decisiones y evaluarlas”, lo que implica la autorregulación del alumno) y cognitivos (“poder”, lo que compete el manejo de estrategias, habilidades y técnicas relacionadas con el procesamiento de la información) [14].

Dinámica de Grupo

La dinámica de grupo es el estudio de las acciones, los procesos y los cambios que ocurren dentro de un grupo como resultado de las interacciones entre sus miembros [15],[16],[17]. El estado del grupo es el proceso y resultado de la interacción de todos los elementos; esas interacciones, son generados por factores individuales, metodológicos, ambientales y contextuales [18],[19].
Los factores individuales se componen de la personalidad, las experiencias pasadas, la ideología, las creencias, las expectativas y los deseos, la motivación, la historia y la forma de constitución del grupo mismo, la sinergia interna y externa del grupo [18],[16]. Los factores instrumentales o metodológicos están conformados por la especialidad o materia, el enfoque de la actividad (conferencia, taller, laboratorio), el estilo de enseñanza del instructor, el tema a tratar e incluso los métodos empleados para dinamizar al grupo [18],[16].
Otro factor que contribuye es el entorno, que incluye cosas como el espacio de trabajo, el mobiliario, la iluminación, la temperatura y el ruido [18],[16]. Finalmente, los aspectos contextuales incluyen el tipo de escuela, su estructura, administración y relaciones laborales, así como el estatus económico, político y social de la nación y las familias de las personas, entre otros [18],[16].

Ejercicios Prácticos

Los ejercicios prácticos son actividades que generan el desarrollo de habilidades prácticas (medición o utilización de equipos), habilidades de investigación (control de variables y diseño de experimentos), habilidades de comunicación (comprender cómo seguir instrucciones o compartir los resultados a través de un informe) o procesos cognitivos en un contexto científico (observación, clasificación, inferencia y emisión de hipótesis) [19],[20],[21].

Rendimiento Académico

El rendimiento académico es crucial para aprender y desarrollar el conocimiento que dirige a los estudiantes hacia un desarrollo exitoso en sus vidas y futuras ocupaciones [22].

 ISSN: 2007 8102

Numerosos estudios han constatado el uso significativo de las estrategias de aprendizaje por parte de estudiantes universitarios [23], [24], [25], [26], [27], lo que tiene un impacto favorable en el rendimiento académico [28],[29],[30],[31],[32],[33].

No se encontraron estudios respecto a las dinámicas de grupo y los ejercicios prácticos que utilicen estrategias de aprendizaje que se relacionen con el rendimiento académico.

El objetivo del artículo es identificar si las dinámicas de grupo y ejercicios prácticos, ocupados como estrategia de aprendizaje influyen en el rendimiento académico.

Metodología

El presente estudio es experimental, con alcance comparativo.

Participantes:

Participaron 234 estudiantes de una Institución de Educación Superior del Estado de Veracruz, del programa educativo de Desarrollo de Negocios Área Mercadotecnia, elegidos de manera intencional no probabilística, los cuales se encontraban cursando la materia de Mezcla Promocional I, identificados en 8 grupos. Se determinaron dos periodos para la investigación: A y B; de los cuales 163 son mujeres y 71 hombres.

Se implementaron tres técnicas diferentes, haciendo uso de estrategias de aprendizaje específicas: la primera consistió en la aplicación de dinámicas de grupo, la segunda en la realización de ejercicios prácticos, y la tercera combinó ambas técnicas, dinámicas de grupo y ejercicios prácticos. Como comparación, se incluyó una cuarta técnica que carecía de estrategias específicas de aprendizaje. La primera técnica fue aplicada a 62 alumnos, la segunda técnica a 33 alumnos, la tercera técnica a 30 alumnos y la cuarta técnica a 109 alumnos.

Procedimiento:

Para las estrategias afectivas de apoyo y de control se eligieron cuatro dinámicas de grupo y para las estrategias cognitivas se eligieron una dinámica y cinco ejercicios prácticos Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de fuentes de aprendizaje-Adaptado de [33]

1. Estrategias Afectivas de Apoyo y Control	1.1Estrategias Motivacionales	Dinámicas Presentación del Grupo
	1.2 Componentes Afectivos	Dinámica Integración Tradiciones
	1.3 Estrategias Metacognitivas	Dinámica Creativa Preguntas y Respuestas Dinámica Creativa el Tríptico
	1.4 Estrategias de Control de Contexto, Interacción Social y Manejo de Recursos	Dinámica Creativa Infografía y Ejercicio Práctico Empresa Socialmente Responsable

 ISSN: 2007 8102

2. Estrategias Cognitivas (relacionadas con el procesamiento de la información**)**	2.1 Estrategias de búsqueda, reconocimiento de la información	Dinámica lotería y Ejercicio Práctico Mezcla Promocional
	2.2 Estrategias de Procesamiento y Uso de la Información	Ejercicio Práctico la venta Personal (Preparación) Ejercicio Práctico la venta Personal (Argumentación) Ejercicio Práctico la venta Personal (Demostración) Ejercicio Práctico la venta Personal (Transacción) Ejercicio Práctico la venta Personal (Estrategias de Ventas)

En el periodo A, se eligieron 4 grupos sin aplicar una estrategia de aprendizaje y se registró el rendimiento académico. Por su parte, en el periodo B, se eligieron 4 grupos, de los cuales a 2 grupos se les aplicó la técnica de dinámicas de grupo, 1 grupo con la técnica de ejercicios prácticos, y 1 grupo con la técnica de combinar las dinámicas de grupo y los ejercicios prácticos, de los cuales, se registró el rendimiento académico.

Al término de la recopilación de datos se procedió a la captura y al análisis de la información, se utilizó el programa Jamovi v. 22.5, obteniendo los estadísticos de frecuencias y pruebas de comparación de medias.

Resultados

La técnica de dinámicas de grupo y ejercicios prácticos tuvieron un rendimiento de 99.7 puntos con una desviación estándar de 1.27; las dinámicas de grupo presentaron un rendimiento de 99.5 con una desviación estándar de 1.74; los ejercicios prácticos mostraron un rendimiento de 99.5 con una desviación estándar de 1.46 y la técnica sin estrategia tuvo un rendimiento de 86.7 puntos con una desviación estándar de 19.1.

Tabla 2. Descriptivos

	TÉCNICA	RENDIMIENTO
N	Dinámicas de grupo y Ejercicios prácticos	30
	Dinámicas de grupo	62
	Ejercicios prácticos	33
	Sin estrategia	109
Missing	Dinámicas de grupo y Ejercicios prácticos	0
	Dinámicas de grupo	0
	Ejercicios prácticos	0
	Sin estrategia	0
Mean	Dinámicas de grupo y Ejercicios prácticos	99.7
	Dinámicas de grupo	99.5
	Ejercicios prácticos	99.5
	Sin estrategia	86.7

ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Descriptivos

	TÉCNICA	RENDIMIENTO
Median	Dinámicas de grupo y Ejercicios prácticos	100
	Dinámicas de grupo	100
	Ejercicios prácticos	100
	Sin estrategia	90
Standard deviation	Dinámicas de grupo y Ejercicios prácticos	1.27
	Dinámicas de grupo	1.74
	Ejercicios prácticos	1.46
	Sin estrategia	19.1
Minimum	Dinámicas de grupo y Ejercicios prácticos	95
	Dinámicas de grupo	90
	Ejercicios prácticos	95
	Sin estrategia	1
Maximum	Dinámicas de grupo y Ejercicios prácticos	100
	Dinámicas de grupo	100
	Ejercicios prácticos	100
	Sin estrategia	100

Análisis inferencial

Existen diferencias del rendimiento académico de los alumnos en al menos dos técnicas.

Tabla 3. Prueba de Kruskal-Wallis

	χ^2	df	p
RENDIMIENTO	86.6	3	< .001

Existe diferencia significativa del rendimiento académico entre la técnica de dinámicas de grupo y ejercicios prácticos y la técnica utilizada sin estrategia.
Existe diferencia significativa del rendimiento académico entre la técnica de dinámicas de grupo y la técnica utilizada sin estrategia.
Existe diferencia significativa del rendimiento académico entre la técnica de ejercicios prácticos y la técnica utilizada sin estrategia.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 4. Comparaciones por pares

		W	p
Dinámicas de grupo y Ejercicios prácticos	Dinámicas de grupo	-0.359	0.994
Dinámicas de grupo y Ejercicios prácticos	Ejercicios prácticos	-0.499	0.985
Dinámicas de grupo y Ejercicios prácticos	Sin estrategia	-7.599	< .001
Dinámicas de grupo	Ejercicios prácticos	-0.207	0.999
Dinámicas de grupo	Sin estrategia	-10.063	< .001
Ejercicios prácticos	Sin estrategia	-7.749	< .001

En la materia de Mezcla Promocional I, se aplicaron dinámicas y ejercicios prácticos con estrategias de aprendizaje especificas con el fin de mejorar el rendimiento académico y, por otro lado, se dejaron grupos sin implementar estrategias. Identificando que, tanto las dinámicas de grupo como los ejercicios prácticos, tuvieron un buen rendimiento (99.5 ambas) y cuando se aplicaron, tanto las dinámicas de grupo y los ejercicios prácticos al mismo tiempo, se obtuvo un mayor rendimiento (99.7). Así mismo, se obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento académico, cuando se compararon las dinámicas de grupo, los ejercicios prácticos, y la unión de ellos, con los resultados de los alumnos sin estrategia.

Discusión

Las estrategias de aprendizaje utilizadas de forma integral mediante dinámicas de grupo y ejercicios prácticos han contribuido positivamente en el rendimiento académico. Investigaciones anteriores validan la utilización de estrategias de forma individual: estrategias motivacionales [34], componentes afectivos [34], estrategias metacognitivas [29], [35] estrategias de control del contexto, interacción social y manejo de recursos [34] estrategias de procesamiento y uso de la información [32], [36] las cuales han sido eficaces para mejorar el logro académico.

Trabajo a futuro

Futuras investigaciones deberían examinar la eficacia del uso de las dinámicas de grupo y los ejercicios prácticos a través de la implementación de programas particulares, el diseño de temas y/o la inclusión del aprendizaje autorregulado en el currículo de las materias.

Conclusiones

Los resultados obtenidos revelaron que las tres técnicas (dinámicas de grupo, ejercicios prácticos, y dinámicas de grupo y ejercicios prácticos) que incorporaron estrategias de aprendizaje demostraron diferencias significativas en comparación con la técnica que no las incluyó. Estos hallazgos sugieren que la aplicación de estrategias de aprendizaje en dinámicas de grupo y ejercicios prácticos promueve un enfoque de aprendizaje estratégico.

La integración de distintas estrategias de aprendizaje por medio de dinámicas de grupo y ejercicios prácticos generaron un rendimiento académico favorable. Este descubrimiento, tienen implicaciones importantes para el diseño y la implementación de estrategias pedagógicas efectivas en el contexto educativo, destacando la relevancia de incorporar enfoques de aprendizaje estratégico para mejorar los resultados académicos. Es fundamental, que tanto los estudiantes como los docentes estén al tanto de las mejores estrategias de aprendizaje para el rendimiento académico, de modo que, puedan incorporar estas tácticas en sus planes de estudio.

Referencias

[1] A. M. Babanlı, E. Artunç y T. F. Kasalak, "Electron g-Factor in Diluted Magnetic Semiconductor Quantum Well with Parabolic Potential in the Presence of Rashba Effect and Magnetic Field", Zeitschrift für Naturforschung A, vol. 70, n.º 2, p. 109–114, febrero de 2015. Accedido el 29 de julio de 2023.

[2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2022) https://planeacion.sep.gob.mx/entidadfederativa.aspx

[3] H. Baber, "Determinants of Students' Perceived Learning Outcome and Satisfaction in Online Learning during the Pandemic of COVID19", J. Educ. e-Learn. Res., vol. 7, n.º 3, p. 285–292, 2020. Accedido el 29 de julio de 2023.

[4] C.-M. Chao, "Factors Determining the Behavioral Intention to Use Mobile Learning: An Application and Extension of the UTAUT Model", Frontiers Psychol., vol. 10, julio de 2019. Accedido el 29 de julio de 2023.

[5] W. Ahmed, G. van der Werf, H. Kuyper y A. Minnaert, "Emotions, self-regulated learning, and achievement in mathematics: A growth curve analysis.", J. Educational Psychol., vol. 105, n.º 1, p. 150–161, febrero de 2013. Accedido el 29 de julio de 2023.

[6] R. Yilmaz, "Exploring the role of e-learning readiness on student satisfaction and motivation in flipped classroom", Comput. Human Behav., vol. 70, p. 251–260, mayo de 2017. Accedido el 30 de julio de 2023.

[7] L. González, R. Gaeta, E. Vańo y J. M. Los Arcos, "Excited levels of 233Pa by alpha decay of 237Np", Nucl. Phys. A, vol. 324, n.º 1, p. 126–140, julio de 1979. Accedido el 30 de julio de 2023.

[8] S. Obergriesser y H. Stoeger, "Students' emotions of enjoyment and boredom and their use of cognitive learning strategies – How do they affect one another?", Learn. Instruction, vol. 66, pp. 101285, abril de 2020. Accedido el 30 de julio de 2023.

[9] J. de la Fuente, F. J. Peralta-Sánchez, J. M. Martínez-Vicente, F. H. Santos, S. Fadda y M. L. Gaeta-González, "Do Learning Approaches Set the Stage for Emotional Well-Being in College Students?", Sustainability, vol. 12, n.º 17, pp. 6984, agosto de 2020. Accedido el 30 de julio de 2023.

[10] C. Wu, B. Jing, X. Gong, Y. Mou y J. Li, "Student's Learning Strategies and Academic Emotions: Their Influence on Learning Satisfaction During the COVID-19 Pandemic", Frontiers Psychol., vol. 12, septiembre de 2021. Accedido el 30 de julio de 2023.

[11] B. Gargallo, J. M. Suárez-Rodríguez y C. Pérez-Pérez, "El cuestionario CEVEAPEU. Un instrumento para la evaluación de las estrategias de aprendizaje de los estudiantes universitarios", RELIEVE - Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa, vol. 15, n.º 2, septiembre de 2014. Accedido el 30 de julio de 2023.

[12] "Estrategias de aprendizaje y rendimiento académico universitario: Una mirada desde los estudiantes de tecnológicos públicos", Revista Venezolana de Gerencia, vol. 24, n.º 87, 2019. Accedido el 30 de julio de 2023.

[13] A. Zambra, Bahía inútil: Poemas 1996-1998. Santiago de Chile: Ediciones Stratis, 1998.

[14] F. G. Gargallo Celentani, "Mahmud Darwish en el Espejo de las lenguas que resisten", Interpretatio. Revista de hermenéutica, vol. 2, n.º 2, pp. 19, septiembre de 2017. Accedido el 30 de julio de 2023.

[15] R. M. Ortiz Ciscomani, "Dative possessor in ditransitive Spanish predication, in diachronic perspective", en Historical Linguistics 2017. Amsterdam: John Benjamins Publishing Company, 2020, p. 66–79. Accedido el 30 de julio de 2023.

[16] P. B. Forsyth, Journal of Research on Organization in Education (JROE), Volume 2 2018. Information Age Publishing, Incorporated, 2018.

[17] T. Allsop y B. Woolnough, "The relationship of technology to science in English schools", J. Curriculum Stud., vol. 22, n.º 2, p. 127–136, enero de 1990. Accedido el 30 de julio de 2023.

[18] R. B. Morris, I. M. V. G. García, I. M. B. M. Marin, T. L. L. P. Martín, A. M. O. P. Viera, y A. M. M. A. R. Hernández, "Dinámica de grupo en educación: su facilitación", 2002.

[19] B. Woolnough y T. Allsop, Trabajo práctico en ciencia. Cambridge. Cambridge Educativo . 1985.

[20] A. Caamaño,2004.Experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones: ¿una clasificación útil de los trabajos prácticos. Alambique, 39(8), 19.

[21] H. Millán,G., Irazoque-Palazuelos, G., & López-Villa, N. M. (2012). ¿ Cómo diversificar los trabajos prácticos? Un experimento ilustrativo y un ejercicio práctico como ejemplos. Educación química, 23, 101-111.

[22] R. Pérez-Ríos, L. Barrera-Hernández, S. Echeverría-Castro, y M. Sotelo-Castillo, "Orientación al Futuro y Rezago Académico como Predictores del Rendimiento Académico de Estudiantes de Bachillerato y Universitarios en el Noroeste de México"", REE , vol. 27, págs. 1 a 17, 2023.

 ISSN: 2007 8102

[23] E. Panadero, J. Alonso-Tapia, D. García-Pérez, J. Fraile, JM Sánchez Galán, y R. Pardo, “Estrategias de autorregulación del aprendizaje profundo: Validación de un modelo situacional y su cuestionario”, Rev. Psicodidáct . (inglés) , vol. 26, núm. 1, págs. 10 a 19, 2021.

[24] I. Salazar Malerva y. Heredia Escorza, “Estrategias de aprendizaje y desempeño académico en estudiantes de Medicina”, Educ. médica , vol. 20, núm. 4, págs. 256–262, 2019.

[25] A. Aizpurua, I. Lizaso, e I. Iturbe, “Estrategias de aprendizaje y habilidades de razonamiento de estudiantes universitarios”, Rev. Psicodidáct. (inglés) , vol. 23, núm. 2, págs. 110 a 116, 2018.

[26] A. Aizpurua, “Estrategias de aprendizaje: diferencias según el año de estudio en estudiantes de grado en psicología y estudiantes de máster / Estrategias de aprendizaje: diferencias por curso académico en estudiantes universitarios de psicología y máster ”, C&cult. Educ. , vol. 29, núm. 1, págs. 31 a 61, 2017.

[27] L. Jiménez, A.-J. García, J. López-Cepero, y F.-J. Saavedra, “Evaluación de Estrategias de Aprendizaje Mediante La Escala Acra Abreviada para Estudiantes universitarios”, Revista de Psicodidáctica, vol. 23, núm. 1, pp. 63–69, 2018.

[28] Y.-R. Lin, “An idiom-driven learning strategy to improve low achievers’ science comprehension, motivation, and argumentation”, Comput. Educ., vol. 195, núm. 104710, p. 104710, 2023.

[29] M. Wang y B. Luo, “Effects of start times on academic performance: Will metacognitive learning strategy or flipped classroom approaches help sleepy young university students?”, Int. J. Manag. Educ., vol. 21, núm. 2, p. 100806, 2023.

[30] J. P. Muñoz Miguel, C. Simón de Blas, F. Anguita Rodríguez, y A. E. García Sipols, “Collaborative learning in management subjects to university students: A multi-level research to identify group profile, engagement and academic performance”, Int. J. Manag. Educ., vol. 21, núm. 1, p. 100762, 2023.

[31] M. Theobald, “Self-regulated learning training programs enhance university students’ academic performance, self-regulated learning strategies, and motivation: A meta-analysis”, Contemp. Educ. Psychol., vol. 66, núm. 101976, p. 101976, 2021.

[32] J. Neroni, C. Meijs, H. J. M. Gijselaers, P. A. Kirschner, y R. H. M. de Groot, “Learning strategies and academic performance in distance education”, Learn. Individ. Differ., vol. 73, pp. 1–7, 2019.

[33] B. Gargallo, J. Suárez-Rodriguez, y C. Pérez-Perez, “Un instrumento para la evaluación de las estrategias de aprendizaje de los estudiantes universitarios”, RELIEVE, vol. 15, pp. 1–31, 2009.

[34] X. Wei, N. Saab, y W. Admiraal, “Do learners share the same perceived learning outcomes in MOOCs? Identifying the role of motivation, perceived learning support, learning engagement, and self-regulated learning strategies”, Internet High. Educ., vol. 56, núm. 100880, p. 100880, 2023.

[35] A. S. Donker, H. de Boer, D. Kostons, C. C. Dignath van Ewijk, y M. P. C. van der Werf, “Effectiveness of learning strategy instruction on academic performance: A meta-analysis”, Educ. Res. Rev., vol. 11, pp. 1–26, 2014.

[36] Z. Xu, X. Gao, J. Wei, H. Liu, y. Zhang, “Adolescent user behaviors on short video application, cognitive functioning and academic performance”, Computers & Education, vol. 203, 2023.

 ISSN: 2007 8102

¿Una mejora continua? La evaluación de atributos de egreso bajo el Marco de Referencia 2018 de CACEI, un reto para el programa de Ingeniería en Gestión Empresarial

Ruiz Tejeda María de Lourdes [1], Patricia Leonor Tejeda Polo[2], Edmundo Juárez Martiñón[3]*, Alma Delia Hernández Vargas[4]
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, maria.rt@teziutlan.tecnm.mx [1], Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, patricia.tp@teziutlan.tecnm.mx[2], Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, edmundo.jm@teziutlan.tecn.mx[3.], Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, alma.hv@teziutlan.tecnm.mx [4.]*

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

Cualquier trabajo de evaluación requiere enfoque criterial sólido, es decir establecer criterios claros y definidos que servirán como base para el proceso de evaluación. Esto es e importante en el ámbito educativo, donde la calidad de los planes y programas de estudio juega un papel fundamental en la formación de los estudiantes.
Sin embargo, los procesos de Acreditación resultan todo un reto, que representa un compromiso de la institución y de sus integrantes, sobre todo en el área académica que es la responsable directa de la formación de los alumnos y futuros profesionistas.
En este trabajo se llevó a cabo una investigación sobre diferentes procesos de evaluación establecidos bajo el Marco de referencia 2018 del CACEI, lo cual represento un trabajo conjunto de los integrantes de la Academia, dando como resultado importantes áreas de oportunidad que permiten visualizar estrategias para la mejora continua del proceso, así como nuevas metas.

***Palabras clave**: CACEI, Atributos, Programa Educativo*

Abstract

Any evaluation work requires a solid criterial approach, that is, establishing clear and defined criteria that will serve as the basis for the evaluation process. This is and important in the educational field, where the quality of study plans and programs plays a fundamental role in the training of students.
However, the Accreditation processes are quite a challenge, which represents a commitment of the institution and its members, especially in the academic area that is directly responsible for the training of students and future professionals.
In this work, an investigation was carried out on different evaluation processes established under the 2018 CACEI Reference Framework, which represented a joint work of the members of the Academy, resulting in important areas of opportunity that allow visualizing strategies for the continuous improvement of the process, as well as new goals.

***Key words**: CACEI, Attributes, Educational Program*

Introducción

Actualmente la generación del conocimiento se encuentra enfocada en muchos aspectos o áreas, en el caso de la educación superior la formación de profesionistas resulta de vital importancia para propiciar el desarrollo de profesionales que puedan contribuir de manera efectiva en el ámbito laboral y empresarial.

En el caso específico del Programa Educativo de Ingeniería en Gestión Empresarial se determina que los conocimientos adquiridos en la formación de la carrera se encuentran estrictamente vinculados con el perfil de

egreso de los estudiantes, teniendo procesos dinámicos y adaptables que garanticen que los egresados estén preparados para hacer contribuciones significativas en donde la colaboración entre la academia y la industria, junto con una evaluación constante, son componentes calve para el logro de objetivos y el establecimiento de un proceso de mejora continua.

Es por ello que la preocupación de ofrecer programas educativos de calidad lleva a las instituciones educativas a pretender acreditar las carreras como parte del proceso de mejora de la calidad educativa, ya que las casas acreditadoras determinan de acuerdo a estándares e indicadores el cumplimiento de aspectos medulares en la formación de profesionistas, en el caso específico de la Carrera de Ingeniería en Gestión empresarial se busca la acreditación con el Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, A.C. (CACEI) es una asociación civil sin fines de lucro cuyo objetivo primordial es promover que las instituciones de nivel superior oferten educación de calidad a sus estudiantes.

Esta asociación se encuentra reconocida a organismos internacionales como el Washinton Accord (WA) que es miembro de la Internacional Engineering Alliance (IEA), lo que significa que unas instituciones acreditadas bajo los marcos regulatorios de esta casa son directamente equivalentes a estándares Internacionales. De acuerdo con los lineamientos nuevos de CACEI los programas académicos deben cumplir con 30 indicadores que se clasifican en 6 criterios o categorías que establecen la calidad del programa educativo. [1]

Es importante entender que la acreditación es un proceso voluntario al cual se someten los programas educativos para promover la calidad y pertinencia de los mismos, buscando que cumplan estándares mínimos establecidos a nivel internacional garantizando una formación integral, así como la promoción de la cultura de la mejora continua.

El documento en el cual se basa dicho proceso es denominado Marco de Referencia 2018 en el cual se establecen las terminologías base, los procesos establecidos para la evaluación y acreditación del programa Educativo (PE) con la finalidad de homogeneizar tanto la nomenclatura como los procesos que orientan la acreditación, así como los elementos que se deben tomar en cuenta.

En este sentido un punto importante a considerar son los denominados indicadores o referentes, que se consideran enunciados que describen los elementos cuantitativos y cualitativos que se analizan de acuerdo a los criterios establecidos mediante los que se busca establecer la calidad del PE.

Por lo que es importante señalar que la evaluación de cualquier proceso requiere de instrumentos y corresponde en este caso a la Institución asegurar que este proceso tenga instrumentos que garanticen que sus procesos educativos permitan el desarrollo de sus estudiantes, identificando las áreas de oportunidad para realizar la toma de decisiones pertinente que permita el logro de los objetivos planteados.

En el caso de la educación si se quiere que sea de calidad, es hoy importante considerar las competencias específicas y genéricas que de alguna forma pretenden asegurar que el estudiante tenga el reconocimiento de sus estudios esto involucra muchos factores y elementos, en este sentido un proceso de acreditación inicia con una autoevaluación del PE que debe ser realizada de forma colegiada esto involucra: directivos, docentes, administrativos, estudiantes, egresados y empleadores para que con su participación se construya una visión global. Así que dentro de todo este proceso el establecer los Atributos de Egreso (AE) es un punto medular y estos son reconocidos como un conjunto de resultados evaluables que son los componentes indicativos del potencial del graduado para adquirir la competencia para la práctica profesional. [2]

Metodología

La investigación es de enfoque cualitativo y cuantitativo, el diseño de investigación es no experimental, transversal de correlación causal, la población establecida son 53 asignaturas que componen el plan de estudios de Ingeniería en Gestión Empresarial del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán por lo que se llevó a cabo el análisis del perfil profesional, así mismo se involucraron en el proceso 20 docentes adscritos a la Academia.

Si bien es cierto que la medición de los Atributos de Egreso y los Objetivos Educacionales en instituciones educativas puede ser un proceso complejo y que no existe una metodología única y universalmente aceptada para llevarlo a cabo. Cada institución educativa puede desarrollar sus propios métodos y enfoques de medición, adaptados a sus necesidades específicas y sus objetivos educativos. Por lo que las instituciones establecen diferentes métodos, considerando que la medición es un instrumento apto para logar una mejora y si esta se hace periódica y sistemáticamente llevara a la mejora continua. [3]. En este entendido se debe señalar que se pueden tomar en cuenta algunas prácticas comunes que las instituciones pueden seguir para realizar dicha medición. En ente tenor se decide tomar en cuenta para establecer el sistema de medición los siguientes puntos:

1. Definición de los atributos
2. Selección de indicadores y criterios
3. Recopilación de datos
4. Retroalimentación
5. Mejora continua

El PE de Ingeniería en Gestión Empresarial (IGE) toma la decisión de llevar a cabo el proceso de re acreditación lo que implica una revisión exhaustiva de los procesos que se llevan a cabo para lograr la formación de los profesionistas en esta área, por lo que se inició con la revisión del Marco de Referencias 2018 (MR) en donde se establecen los Criterios e Indicadores a cumplir, en el mismo se encuentran enlistados los 6 criterios fundamentales que son:

- Personal académico. En donde se verifica la suficiencia y pertinencia del personal docente adscrito al programa y el de apoyo al mismo, estableciendo desde su formación académica, la distribución de sus actividades, su evaluación y formación que resulta de suma importancia el análisis de estos aspectos ya que son los encargados de llevar a cabo el proceso formativo de forma directa.
- Estudiantes. En donde se verifica la calidad y eficiencia de los procesos en los que se ve involucrado el alumno que van desde la admisión, revalidación, seguimiento en la trayectoria escolar, asesorías y tutorías dentro de un marco regulatorio, en el caso de los Tecnológicos se cuentan con procesos estandarizados a nivel nacional y que forman parte de los sistemas de gestión de la calidad de los institutos certificados bajo la Norma ISO 9001.
- Plan de Estudios. En el Pe se deben tener definidos los Objetivos Educacionales y los Atributos de egreso de forma congruente con los objetivos institucionales, las necesidades del entorno en este caso de los grupos de interés (GI) que se definen como los empleadores fundamentalmente, todo esto alineado a los criterios presentados por CACEI.
- Valoración y mejora continua. En donde se debe establecer un proceso sistemático que tome en cuenta los resultados de la evaluación de los objetivos educacionales (OE), el logro de los atributos de egreso (AE), así como los índices de rendimiento escolar, esta valoración se debe realizar de forma conjunta con los grupos de Interés, de forma que se incida en la mejora continua.
- Infraestructura y equipamiento. En donde se demuestra la suficiencia, capacidad y la disponibilidad de los mismos, así como el programa de mantenimiento de las instalaciones y equipos, actualización y modernización, los cuales deben atender las necesidades demandadas.
- Soporte institucional en donde se muestra el soporte y liderazgo institucional, es decir la gestión, conducción y dirección de los procesos en donde se ven involucradas las diferentes áreas institucionales. [1]

Tomando en cuenta estos criterios en este trabajo solo se tomará en cuenta uno de los procesos considerados complejos la evaluación de Atributos de Egreso (AE) que se encuentran ubicados dentro del criterio 3, indicador 3.5 Atributos de Egreso, uno de los primeros puntos es la definición de los mismos, así como la congruencia que se debe guardar con los Objetivos Educacionales (OE) y dentro del criterio 4 Valoración y Mejora continua, indicador 4.2 Evaluación y logro de los Atributos de egreso.

En el caso del PE de IGE después del análisis de insumos, se establecieron 10 AE bajo la metodología establecida por CACEI tomando en cuenta: El perfil de egreso, los Objetivos del PE y el Modelo Educativo actual, cuidando en todo momento la congruencia con los OE del PE, quedando establecidos de la siguiente forma:

- AE1. Aplica habilidades directivas y de ingeniería en el fortalecimiento e innovación de las organizaciones para la toma de decisiones efectivas adaptándolas al entorno globalizado.
- AE2. Diseña e innova estructuras administrativas y procesos para la generación de competitividad en los mercados globales con principios éticos y profesionales.
- AE3. Gestiona eficientemente los recursos de la organización con el fin de suministrar bienes y servicios de calidad mediante el análisis e integración de la información para la toma de decisiones.
- AE4. Diseña, Emprende y Dirige nuevos negocios y/o proyectos de manera sustentable en mercados competitivos con compromiso ético.
- AE5. Diseña e implementa estrategias de mercado basadas en la recopilación de fuentes primarias y secundarias para el incremento de la competitividad organizacional en un contexto globalizado.
- AE6. Implementa planes y programas de calidad, seguridad e higiene para la mejora del entorno laboral que resuelvan problemas complejos de las organizaciones.
- AE7. Dirige equipos de trabajo con fundamento legal para la mejora continua y el crecimiento integral de las organizaciones, potencializando el desarrollo humano en escenarios de incertidumbre.
- AE8. Gestiona la cadena de suministros y logística empresarial con un enfoque orientado a procesos de calidad para incrementar la productividad mediante el análisis de datos para establecer propuestas concretas.
- AE9. Interpreta variables económicas y la información financiera para detectar oportunidades de mejora e inversión que propicie la rentabilidad del negocio.
- AE10. Aplica métodos de investigación para el desarrollo e innovación de modelos, sistemas, procesos y productos en las diferentes dimensiones de la organización mediante el análisis de datos con un enfoque sustentable. [4]

Con esto se da cumplimiento a el establecimiento de los mismos y al Criterio 3 referente al plan de estudios. Por otro lado, para la evaluación de los AE establecida en el criterio 4 Valoración y mejora continua, indicador 4.2 Evaluación y logro de atributos de egreso, se estableció un proceso que implica cierta complejidad ya que si bien es cierto que los atributos son desarrollados a lo largo de la formación de los alumnos se debe garantizar de algún modo que se están alcanzando de forma gradual.

Sin embargo, es importante señalar que son datos meramente cualitativos por ello es compleja su evaluación, por lo que se desarrolló un sistema que implica el establecimiento de criterios de desempeño de cada uno de los atributos los cuales se deben establecer en una de las cédulas propuestas por el CACEI, se coloca un ejemplo del trabajo realizado en academia para en donde se establecen los criterios de desempeño y los indicadores de los mismos. Este enfoque sistemático permitió la evaluación más objetiva de datos y la obtención de resultados que ayudan a garantizar la consistencia y fiabilidad en la toma de decisiones.

En este sentido en toda institución educativa la evaluación es un proceso muy importante que puede utilizarse de diferentes maneras dependiendo del propósito u objetivos de las instituciones: control, medición y valoración, cuya función es proporcionar información acerca del desempeño de los programas al detectar brechas en el desempeño real y el ideal, identificando además fortalezas y debilidades para que los tomadores de decisiones puedan elaborar propuestas de mejora en la gestión de los procesos. [5]

En este contexto se debe señalar que la medición de cualquier proceso ha demostrado ser un instrumento que fomenta la mejora de la calidad ya que lo que no se mide es difícil considerar que se evalué y lo que no se evalúa no se puede mejorar [6], por lo que promover una cultura de la evaluación dentro de los proceso

Como segundo paso se determina la alineación de las asignaturas con los AE del PE de IGE, estableciendo tres niveles (inicial, medio y avanzado), a partir de ello en trabajo de academia se determinan los criterios e indicadores que servirán como base para la valoración como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1 Atributo 1 con los criterios e indicadores que se toman en cuenta para la evaluación.

Atributo	Criterios de desempeño	Indicadores

ISSN: 2007 8102

AE1. Aplicar y diseñar habilidades directivas y de ingeniería en el fortalecimiento e innovación de las organizaciones para la toma de decisiones efectivas adaptándolas al entorno globalizado.	Formula, lidera y evalúa equipos de trabajo, desarrollando habilidades directivas que fortalezca la comunicación efectiva, con el fin de resolver situaciones en el ámbito social y profesional.	Se adapta a situaciones y contextos complejos. Puede trabajar en equipo, reflejar sus conocimientos en la interpretación de la realidad, atendiendo las necesidades sociales y profesionales de manera ética.
		Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas utilizando fuentes de información confiables, expresándose adecuadamente de forma oral y escrita.
		Crea y/o se integra de manera adecuada a los equipos de trabajo, fomentando la colaboración, comunicación, liderazgo, toma de decisiones, creatividad y compañerismo.
	Promueve y fortalece la innovación tecnológica y emprendedora a través de la generación de ideas y nuevos procesos involucrados en el desarrollo de su aprendizaje que resuelva necesidades específicas y actuales.	Colabora de manera individual o grupal en la aplicación de tecnología para la solución de problemas reales a través de la participación en proyectos de asignatura y/o integradores, así como en eventos tecnológicos locales, regionales o nacionales.
		Participa en el análisis de un caso real y empresarial detectando las necesidades y áreas de oportunidad de su contexto.
		Redacta un documento con criterios de investigación, bajo un pensamiento crítico y analítico, generando conclusiones y aportaciones para la solución o mejora de un proceso establecido con aplicación práctica, incorporando conocimientos interdisciplinarios.
		Expone e infiere de manera individual y/o grupal en forma clara y ejecutiva los conocimientos y aportaciones adquiridas utilizando un lenguaje técnico científico y ético para la solución de problemas de forma sustentable.
	Organiza la información, la analiza y compara para evaluar alternativas que solucionen problemas de ingeniería en un entorno globalizado.	Trabaja en equipo para organizar la información empresarial de acuerdo a un modelo sistémico.
		Analiza casos reales de toma de decisiones en el entorno de las competencias aplicadas a la Gestión Empresarial, dentro del comercio electrónico.
		Compara la información cualitativa y cuantitativa utilizando modelos de decisión

 ISSN: 2007 8102

		Evalúa la información de variables empresariales que coadyuven y permita la toma de decisiones.

Así cada uno de los AE cuenta con criterios de desempeño e indicadores que se deben tomar en cuenta para realizar la evaluación correspondiente. Para ello se establece como escala de valoración cualitativa: Excelente (E), Bueno (B), Suficiente (S) e Insuficiente (I) con estos datos se estructura un formato en el cual los docentes responsables de cada asignatura evalúan los criterios de desempeño con los correspondientes indicadores, de igual forma se establecieron meta para cada uno de los atributos, estas metas se deben tomar en cuenta para poder hacer una comparación y realizar ajustes tendientes a propiciar la mejora continua.

Determinando el mapeo de trazabilidad de cada una de las asignaturas, estableciendo a que atributo aporta cada una de ellas, se muestra una parte de dicha alineación en la tabla 2

Tabla 2. Cédula 4.2.1a Mapa de aportación de los cursos del PE a los atributos de egreso del PE.

Mapa de aportación de los cursos del PE a los atributos de egreso del PE													
1. Cursos que aportan a los atributos de egreso			2. Atributos de Egreso del PE										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
#	1.a Clave	1.b. Nombre del curso	Habilidades directivas y de ingeniería	Innovación administrativa	Análisis y toma de decisiones	Emprendimiento empresarial y dirección de negocios	Estrategias mercadológicas	Calidad,seguiridad e Higiene	Trabajo en equipo	Gaetión de cadena de suministros	Gestión financiera	Metodos de investigación	Atributo de egreso	Atributo de egreso
1	ACC-0906	Fundamentos de Investigación							M			M		
2	AFC-0901	Calculo Diferencial			I			I		I				
3	GEC-0905	Desarrollo Humano			I	I			I					
4	AEF-1074	Fundamentos de Gestión Empresarial		I		I								
5	GEC-0909	Fundamentos de Química	I									I		
6	GEF-0910	Fundamentos de Física	I									I		

Como se puede apreciar cada una de las asignaturas debe aportar al logro de los atributos de egreso establecidos en trabajo de academia, recordando que cada uno de ellos determina el logro directo de los Objetivos de Aprendizaje del PE.

Se establecen rúbricas de valoración que sirven de apoyo al proceso como se presenta en la tabla 3, estableciendo de forma clara los criterios que los docentes deben considerar en cada uno de los AE en la tabla 4 se muestra parte de una de las rúbricas de valoración.

Tabla 3 Rúbrica de valoración AE1 Criterio 1

RÚBRICA DE EVALUACIÓN DEL ATRIBUTO DE EGRESO					
Estudiantes		**No. De Control**			
Responsable		**Fecha de Aplicación**			
Programa Educativo		**Periodo**	Ene-Jun		Ago-Dic
Materia		**Momento de evaluación**	Inicial	Medio	Avanzado
Clave del grupo		**Cohorte Generacional**			

Atributo 1	**Aplicar y diseñar habilidades directivas y de ingeniería en el fortalecimiento e innovación de las organizaciones para la toma de decisiones efectivas adaptándolas al entorno globalizado.**
Criterio 1	Formula, lidera y evalúa equipos de trabajo, desarrollando habilidades directivas que fortalezca la comunicación efectiva, con el fin de resolver situaciones en el ámbito social y profesional.

Indicador	Excelente	Bueno	Suficiente	Insuficiente
I1. Se adapta a situaciones y contextos complejos. Puede trabajar en equipo, reflejar sus conocimientos en la interpretación de la realidad, atendiendo las necesidades sociales y profesionales de manera ética.	Identifica situaciones y contextos complejos, trabaja en equipo reflejando los conocimientos aplicados a las necesidades sociales y profesionales de manera ética.	Identifica situaciones y contextos, trabaja en equipo reflejando los conocimientos aplicados de manera muy básica a las necesidades sociales y profesionales de manera ética.	Identifica situaciones y contextos, trabaja en equipo reflejando conocimientos básicos aplicados a necesidades sociales y profesionales.	Identifica problemas coloquiales, existe el trabajo en equipo e intenta el trabajo sea aplicado a un problema social.
I2. Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas utilizando fuentes de información confiables, expresándose adecuadamente de forma oral y escrita.	Localiza fuentes de información confiables, analizando la información de manera confiable expresándose de forma oral y escrita.	Localiza fuentes de información confiables, un análisis básico de información expresándose de forma oral y escrita.	Localiza fuentes de información en su mayoría confiables, analizando la información, presentando un reporte breve de ella, expresándose de forma oral y escrita.	Localiza fuentes de información poco confiables, presentando un análisis muy limitado de la información expresándose de forma oral y escrita.
I3. Crea y/o se integra de manera adecuada a los equipos de trabajo, fomentando la colaboración, comunicación, liderazgo, toma de decisiones, creatividad y compañerismo.	Se integra de manera adecuada a equipos de trabajo, colaborando, comunicando, generando el liderazgo para la toma de decisiones.	Se integra equipos de trabajo, colaborando, comunicando, generando el liderazgo para la toma de decisiones.	Se integra en equipos de trabajo, colaborando, comunicando de manera básica, intentando trabajar en el liderazgo para la toma de decisiones.	Se integra en equipos de trabajo e intenta trabajar en la toma de decisiones de manera muy limitada.

A partir de ello se debe realizar la evaluación correspondiente para lo cual se desarrolló un sistema de valoración estableciendo como escala de valoración cualitativa siguiente: Excelente, Bueno, Satisfactorio e Insuficiente, que mediante fórmulas se trasladan a porcentajes que permiten el análisis específico de resultados para la contrastación con las metas establecidas. (Tabla 4)

Tabla 4 Instrumento de evaluación de atributos de Egreso

EVALUACIÓN DE ATRIBUTO DE EGRESO (ATRIBUTO 1)								
Responsable 1:				**Responsable 2:**				
Programa Educativo:		**Ingeniería en Gestión Empresrial**		**Periodo:**		**E-J**		**A-D**
Materia:				**Aportación de la asignatura**		**Inicial**	**Medio**	**Avanzado**
Fecha:			**Cohorte generacional:**					

DATOS GENERALES				AE1 del PE: Aplicar y diseñar habilidades directivas y de ingeniería en el fortalecimiento e innovación de las organizaciones para la toma de decisiones efectivas adaptándolas al entorno globalizado.				
Nº	**No_control**	**Nombre completo**	**Grupo**	**CD1**	**CD2**	**CD3**		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
			Excelente	0	0	0	0	0
			Bueno	0	0	0	0	0
			Suficiente	0	0	0	0	0
			Insuficiente	0	0	0	0	0
			Evaluados	0	0	0	0	0
			Meta	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!

CRITERIOS DE DESEMPEÑO	
CD1:	Formula, lidera y evalua equipos de trabajo, desarrollando habilidades directivas que fortalezca la comunicación efectiva, con el fin de resolver situaciones en el ambito social y profesional.
CD2:	Promueve y fortalece la innovacion tecnologica y emprendedora a través de la generación de ideas y nuevos procesos involucrados en el desarrollo de su aprendizaje que resuelva necesidades especificas y actuales.
CD3:	Organiza la información, la analiza y compara para evaluar alternativas que solucionen problemas de ingeniería en un entorno globalizado.

0 Nombre y firma del responsable 1

0 Nombre y firma del responsable 2

El proceso sistemático se lleva a cabo con la verificación semestral y anual, ya que para analizar todos los AE, se debe verificar un año completo, ya que nuestro sistema educativo contempla una planeación académica de oferta de asignaturas como se menciona a continuación:

- Asignaturas Agosto-Diciembre: Apertura de 1º - 3º - 5º - 7º y 9º semestres.
- Asignaturas Enero – Junio: Apertura de 2º - 4º - 6º y 8º semestres.

De la que se tomó la cohorte generacional 2020-2024 que se encuentra en la fase central de formación académica. Se presentan los resultados de las evaluaciones de algunas asignaturas que impactan a los 10 AE establecidos, dichas evaluaciones fueron realizadas por los docentes de la asignatura elegidas correspondientes a la cohorte generacional señalado:

- AE1 Habilidades directivas I (Ago-dic)
- AE2 Gestión del Capital Humano (Ene-jun)
- AE3 Marco Legal de las Organizaciones (Ago-dic)
- AE4 Instrumentos de Presupuestación Empresarial (Ene-jun)
- AE5 Probabilidad y Estadística Descriptiva (Ago-dic)
- AE6 Taller de Ética (Ago-dic)
- AE7 Habilidades directivas II (Ene-Jun)
- AE8 Instrumentos de Presupuestación Empresarial (Ene-jun)
- AE9 Costos Empresariales (Ago-dic)
- AE10 Algebra Lineal (Ago-dic)

Resultados y discusión

Tras el desarrollo de la evaluación por cada uno de los docentes del programa educativo se realiza el llenado de los instrumentos como se presenta en la tabla 5

Tabla 5 ejemplo de evaluación de atributos con resultados

EVALUACIÓN DE ATRIBUTO DE EGRESO (ATRIBUTO 1)								
Responsable 1:	Docente 1		Responsable 2	Docente 2				
Programa Educativo:	Ingeniería en Gestión Empresarial		Periodo:	E-J	A-D			
Materia:	Habilidades Directivas I		Aportación de la asignatura	Inicial	Medio	Avanzado		
Fecha:	dic-21		Cohorte generacional:	2020-2024				
DATOS GENERALES			AE1 del PE: Aplicar y diseñar habilidades directivas y de ingeniería en el fortalecimiento e innovación de las organizaciones para la toma de decisiones efectivas adaptándolas al entorno globalizado.					
Nº	No_control	Nombre completo	Grupo	CD1	CD2	CD3		
1	20760316	ABURTO ANDRADE KAREN	CL4	8	8	8		
2	20760320	AGUILAR FUENTES MIGUEL	CL4	8	8	8		
3	20760350	AGUILAR MARIN LUIS ANGEL	CL4	9	9	9		
4	20760342	AGUILERA ZAYA LETY SOFIA	CL4	8	8	8		
5	20760332	ALBINO ROSAS MARIA CARMEN	CL4	8	8	8		
6	20760314	ALCALDE ROMERO DAVIA MIRANDA	CL4	8	8	8		
7	20760355	ALLENDE MORENO OCTAVIO	CL4	8	8	8		
8	20760379	ALTAMIRANO CONTRERAS MACGALY	CL4	8	8	8		
9	20760335	ALVARADO CAMANO CRISTINA ELVIRA	CL4	7	7	7		
10	20760340	AQUINO ´CAMPA ESPERANZA	CL4	8	8	8		
11	20760345	BAZA RAFAEL HERNANDEZ GUADALUPE	CL4	8	8	8		
12	20760337	BAYADELA ROCHO LIELI	CL4	8	8	8		
13	20760346	BAUTISTA NICOLAS RAFAEL	CL4	7	7	7		
14	20760348	BRAVO DIDS GUTIERREZ ALEXA YAZAHI	CL4	8	8	8		
15	20760138	BRAVO GONZALEZ BERENICE	CL4	8	8	8		
16	20760339	CARBALLO CECILIO NORMA	CL4	8	8	8		
17	20760351	CARRANZA MEDINA DANIELA	CL4	8	8	8		
18	20760757	CARRION CASIANO LIZBTH	CL4	8	8	8		
19	20760671	CASTELAN FERNANDEZ MARICRUZ	CL4	9	9	9		
20	20760323	CASTRO MARTINEZ ADRIAN	CL4	7	7	7		
21	20760715	CEBALLOS NIEVES RIPOLLY TIBLISIL SOCORRO	CL4	8	8	8		
22	20760331	CONCHA AGUILAR MANUEL	CL4	8	8	8		
23	20760353	CONDE N CASTRO NA THALY	CL4	8	8	8		
24	20760343	CRUZ OSNAB EDER	CL4	8	8	8		
25	20760313	DE LA CRUZ CARLOS MARCELA	CL4	8	8	8		
26	20760333	ESPINOSA FLORES LIZ ZZARY	CL4	8	8	8		
27	20760360	ESPINOZA HERNANDEZ BERENICE	CL4	8	8	8		
28	20760308	ESPINOZA MARIANO OSWALDO	CL4	8	8	8		
29	20760725	ESTUDILLO JUNCOS JOSE MANUEL	CL4	8	8	8		
30	20760329	FERIL ROLDOSO MUYELI	CL4	8	8	8		
31	20760354	FLORES HERRERA ZONIA	CL4	8	8	8		
32	20760372	FLORES VERTIZ LUIS ANTONIO	CL4	8	8	8		
33	20760107	FRANCISCO GARCIA ANA LAURA	CL4	8	8	8		
34	20760312	GALICIA OCOTLAN RICARDO	CL4	7	7	7		
35	20760319	GARCIA BENITO KAREN A	CL4	8	8	8		
36	20760342	GARCIA CANO PABLO	CL4	8	8	8		
37	20760350	GARCIA CORTES OSMARA GUADALUPE	CL4	8	8	8		
38	20760337	GARCIA DIAZ LORENA	CL4	7	7	7		
39	20760680	GARCIA SILOGIO CLAUDIA	CL4	8	8	8		
40	20760350	GARCIA ORTIZ JOSSELINE	CL4	8	8	8		
41	20760340	GARCIA SANTOS ABIGAIL	CL4	8	8	8		
42	20760379	GOMEZ CASTILLO SILVIA JACQUELINE	CL4	9	9	9		
			Excelente	85	44	82	0	0
			Bueno	17	57	20	0	0
			Suficiente	0	7	0	0	0
			Insuficiente	13	13	13	0	0
			Evaluados	121	121	121	0	0
			Meta	84%	83%	84%	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!

CRITERIOS DE DESEMPEÑO	
CD1:	Formula, lidera y evalua equipos de trabajo, desarrollando habilidades directivas que fortalezca la comunicación efectiva, con el fin de resolver situaciones en el ambito social y profesional.
CD2:	Promueve y fortalece la innovacion tecnológica y emprendedora a través de la generación de ideas y nuevos procesos inductorados en el desarrollo de su aprendizaje que resuelva necesidades especificas y actuales.
CD3:	Organiza la información, la analiza y compara para evaluar alternativas que solucionen problemas de ingeniería en un entorno globalizado.

Docente 1 — Nombre y firma del responsable 1

Docente 2 — Nombre y firma del responsable 2

Tras la evaluación de los atributos en los periodos enero-junio y agosto-diciembre 2023, se contrastan los resultados contra las metas establecidas por la propia academia, se presenta el muestreo establecido inicialmente, aunque se cuentan con los resultados de todas y cada una de las asignaturas ofertadas y cursadas en los periodos señalados (Tabla 6).

 ISSN: 2007 8102

Tabla 6 Comparación de la meta con el resultado obtenido de la evaluación.

Asignatura	Atributo	Meta	Logrado
Habilidades Directivas I	AE1	84%	84%
Gestión del Capital Humano	AE2	81%	82%
Marco legal de las organizaciones	AE3	90%	91%
Instrumentos de presupuestacion empresarial	AE4	76%	80%
Probabilidad y estadística	AE5	82%	80%
Taller de ética	AE6	77%	78%
Habilidades Directivas II	AE7	82%	83%
Instrumentos de presupuestacion empresarial	AE8	76%	78%
Costos Empresariales	AE9	73%	73%
Algebra Lineal	AE10	83%	83%

Por lo que se puede afirmar que durante estos periodos se logran las metas señaladas en el cumplimiento de los atributos, sin embargo, se debe trabajar en la propia evaluación para tener una mejora continua constante.

Se llega con ello a establecer que las evidencias de los resultados de las evaluaciones de los AE del PE, se encuentran articulados con los productos de aprendizaje que se generan en cada una de las asignaturas. Este análisis de resultados es dado a conocer a las autoridades correspondientes y se presentan a la Academia del PE, para generar acciones de mejora continua.

Los resultados generales del análisis, son satisfactorios en la comparación con las metas establecidas, sin embargo, para poder mantener y mejorar las actividades a desarrollar mediante un análisis concreto de cada una de las asignaturas, quedando establecidas las siguientes estrategias de mejora al logro de los Atributos de Egreso del PE en trabajo colegiado de Academia:

- Mantener el trabajo colegiado al interior de la Academia
- Fortalecer del desarrollo de los Proyectos Integradores semestrales.
- Fortalecer el Modelo de educación Dual del TecNM (MED-Tecnm-2022).
- Fortalecer el Vínculo de las horas teórico – prácticas en los laboratorios.
- Propiciar el desarrollo y fortalecimiento de las Habilidades blandas.
- Impulsar la participación de los alumnos en proyectos de investigación y eventos de impulso a la ciencia.

Trabajos a futuro

La evaluación de los atributos al ser un proceso de mejora continua requiere un análisis constante de la Academia de IGE ya que, como proceso inicial, se tienen resultados favorables, aunque es importante reconocer que existe la posibilidad de redefinir los AE del PE se deben reducir con la finalidad de tener un proceso de evaluación, más sencillos, en donde los docentes puedan realizarlo con agilidad.

Por otro lado, es de suma importancia involucrar a los alumnos del PE en la evaluación de los AE como parte de las acciones de mejora continua del PE de IGE. Así como tomar en cuenta a los grupos de interés del PE ya que finalmente ellos son los que reciben a los alumnos egresados y determinan la aplicabilidad de los conocimientos, habilidades, destrezas, actitudes y aptitudes en el ámbito laboral.

Conclusiones

De acuerdo con el Marco de referencia 2018 del CACEI el proceso de evaluación de atributos es uno de los más importantes ya que representa la efectividad del programa frente al mundo laboral, pues al desarrollar los Atributos de Egreso se llega a los Objetivos de Egreso establecidos que son directamente medidos en el desempeño laboral de los egresados del programa básicamente por los grupos de interés (fundamentalmente empleadores).

Con los resultados obtenidos se puede establecer que, si bien se logran las metas establecidas en el desempeño y logro de los Atributos de Egreso, se tienen áreas de oportunidad que atender para lograr la mejora continua dentro del programa educativo de Ingeniería en Gestión Empresarial, aceptando que la calidad debe ser un proceso de mejora continua y que es responsabilidad de todos los que participan en la formación de los alumnos, no solo en las aulas, sino en todos y cada uno de los elementos que rodean el propio proceso.

Estos resultados son un punto de partida importante ya que permiten determinar con mayor claridad las estrategias que se deben desarrollar para el logro de los atributos siempre en un proceso de mejora continua, estableciendo las áreas de oportunidad que permitirán asumir las responsabilidades de cada uno de los actores del proceso sistemático sirviendo de alguna forma como una prueba piloto al ser la primera vez que se realiza por lo que reconocer que se tiene mucho trabajo por delante es una realidad, pero siempre que se quiere llegar a la mejora se debe iniciar el trabajo.

Así mismo, señalar que es común que los docentes tengan discrepancias sobre cómo lograr el desarrollo de los atributos en un programa educativo. Estas diferencias de opinión pueden surgir debido a diversas razones, como diferentes enfoques pedagógicos, experiencias personales o interpretaciones de los objetivos educativos. Sin embargo, estas discrepancias no necesariamente tienen que ser un obstáculo, sino que pueden ser vistas como una oportunidad para enriquecer el proceso educativo.

Agradecimientos

En este trabajo la participación de los docentes y el Jefe de Carrera fue fundamental para poder estructurar el sistema de evaluación correspondiente a la evaluación de los Atributos de Egreso, por ello nuestro agradecimiento, así como a la Institución por el trabajo conjunto para la Acreditación de la Carrera.

Referencias

[1] CACEI, «Marco de referencia 2018,» 8 enero 2020. [En línea]. Available: file:///C:/Users/lulin/Downloads/Marco%20de%20Referencia%202018%20(Ingenierias).pdf. [Último acceso: 12 junio 2022].

[2] R. F. d. A. López, M. E. N. Palomo y C. M. C. Villatoro, «Metodología para definir los atributos de egreso del Programa De Ingeniería Electrónica,» *Revista Científica-Educacional de la provincia Granma,* vol. 18, nº 4, 2022.

[3] T. A. Ramirez y V. J. A. García, «Guía para la cuantificación de los atributos de egreso y objetivos educacionales de un programa educativo.,» *XVI Congreso Nacional de Investigación Educativa CNIE 2021,* pp. 1-9, 2021.

[4] ITS-Teziutlán, «Oferta educativa, Ingeniería en Gestión Empresarial,» ITST, 15 agosto 2021. [En línea]. Available: https://teziutlan.tecnm.mx/index.php/oferta-educativa/ingenieria-en-gestion-empresarial/. [Último acceso: 30 mayo 2023].

[5] A. J. Lara, «Evaluación de procesos en la gestión pública,» *El Economista,* 13 septiembre 2018.

[6] Z. N. Cruz, «Medición de atributos de egreso como herramienta de mejora educativa: el caso de la Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica,» *Pensamiento Educativo. Revista de Investigación Educacional Latinoamericana,* vol. 52, nº 2, pp. 1-16, 2018.

 ISSN: 2007 8102

Estudiantes de contaduría en la UNACAR: Un diagnóstico de responsabilidad social universitaria

L. Peraza Pérez[1], M. López Noriega[2], H. García Álvarez[3] , L. Zalthen Hernández [4], A. Contreras Avila [5],*
[1]Universidad Autónoma del Carmen, Pereza_perez@hotmail.com
[2]Universidad Autónoma del Carmen, mdlopez@pampano.unacar.mx
[3]Universidad Autónoma del Carmen, hugogarciaa@gmail.com
[4]Universidad Autónoma del Carmen, zalthen@gmail.com
[5]Universidad Autónoma del Carmen, alonso.target@gmail.com

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

La responsabilidad social universitaria (RSU) está vinculada a la importancia de la educación para transformar el mundo actual. Este concepto ha ganado relevancia en las instituciones de educación superior (IES) tanto en México como en el resto del mundo, enfocándose en la responsabilidad que tienen estas instituciones de generar un impacto positivo en sus grupos de interés a través de sus funciones académicas. El estudio adopta un enfoque transversal y un diseño no experimental, con una muestra seleccionada de manera no aleatoria. El objetivo central es evaluar la percepción de los estudiantes de la Licenciatura en Contaduría de la Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR), generaciones 2015 a 2022, sobre las acciones de RSU implementadas en la institución. El hallazgo principal revela que, sin importar su avance curricular, los estudiantes muestran una percepción positiva de las acciones de RSU en la UNACAR.

***Palabras clave**: Responsabilidad social Universitaria, Diagnóstico, Estudiantes*

Abstract

University social responsibility (USR) is linked to the importance of education in transforming the current world. This concept has gained relevance in higher education institutions (HEIs) in Mexico and elsewhere, focusing on these institutions' responsibility to generate a positive impact on their stakeholders through their academic functions. The study adopts a cross-sectional approach and a non-experimental design, with a non-randomly selected sample. The central objective is to evaluate the perception of accounting students at the Autonomous University of Carmen (UNACAR), generations 2015 to 2022, regarding the USR actions implemented at the institution. The main finding reveals that, regardless of their curricular progress, students show a positive perception of USR actions at UNACAR.

***Key words**: University social responsibility, Diagnosis, Students*

Introducción

En el contexto actual, se reconoce ampliamente que la educación desempeña un papel importante y fundamental en la transformación y desarrollo del mundo. Sin embargo, nos encontramos en un momento crítico en el que diversos desafíos y crisis están impactando la calidad y el acceso a la educación a nivel global. Uno de los principales desafíos fue la pandemia de COVID-19, que generó una brecha y un rezago en la educación. Además, existen problemas estructurales, como la falta de financiamiento, recursos tecnológicos insuficientes, escasez de docentes capacitados, falta de infraestructura adecuada y desigualdad de oportunidades educativas en diferentes regiones del mundo [1]. Estos problemas se suman a la brecha de habilidades y conocimientos necesarios para poder enfrentar los desafíos sociales, económicos, ambientales, tecnológicos y geopolíticos.

En este contexto crítico, es necesario reconocer la importancia de la educación como motor para el desarrollo sostenible, la igualdad de oportunidades y la construcción de sociedades más justas y equitativas. Para lograr esto, se requiere una mayor inversión en educación a nivel global, garantizando así el acceso universal a una educación de calidad y brindando a los estudiantes las herramientas necesarias para enfrentar los desafíos presentes y futuros.

Así la RSU está estrechamente relacionada con la importancia de la educación para la transformación del mundo actual y futuro. La RSU es un concepto que ha adquirido relevancia en las IES en México y en el mundo. Se

 ISSN: 2007 8102

refiere a la responsabilidad que tienen las instituciones de generar un impacto positivo en sus grupos de interés a través de sus funciones sustantivas, como la academia, la investigación, la extensión y la gestión.

En este sentido, las IES desempeñan un papel clave en la promoción de una educación de calidad, inclusiva y equitativa. Además de la formación académica como una de sus principales funciones, las IES fomentan la RSU al impulsar la investigación y la innovación en áreas relevantes para el desarrollo sostenible, como la conservación del medio ambiente, las energías renovables, la salud pública y la justicia social [2]. Asimismo, fomentan el desarrollo de las capacidades intelectuales, sociales y morales de los estudiantes.

Para comprender mejor el término de la RSU es importante analizar las definiciones de diversos autores que nos permitan ampliar el concepto, colocándolo en un contexto mayor. La RSU ha sido abordada por varios estudios y expertos en el campo, y sus definiciones varían en enfoque y énfasis. Según [3], se “la RSU como una política de calidad ética del desempeño de la comunidad universitaria (estudiantes, docentes y personal administrativo) a través de la gestión responsable de los impactos: educativos, cognitivos, laborales y ambientales que la universidad genera, en un dialogo participativo, con la sociedad para promover el desarrollo humano sostenible”. Mientras que para [4], “entre estos problemas se encuentra el siguiente: la mayoría de las universidades forman buenos profesionistas, pero no les están enseñando como ser sensibles a los problemas de los demás, a que estén comprometidas con el desarrollo de su país y con la inclusión social de los individuos más vulnerables, que sean personas entusiastas y creativas en la articulación de su profesión con la promoción del desarrollo participativo de su comunidad o población.” Otro de los autores [5] explica que: las casas universitarias se encuentran pasando por un impacto que se ve reflejado sobre la sociedad afectando su desarrollo económico, político, social y cultural; además, el futuro del entorno depende directamente de los profesionales y actores que ésta forma en sus aulas.

Por otra parte, la universidad está llamada a ser un referente para la sociedad, un actor social clave en la promoción del crecimiento y el desarrollo de su entorno para crear capital social, vincular sus estudios y la formación de sus estudiantes con la realidad social y profesional del exterior, y para hacer el conocimiento accesible a todos.

De acuerdo con las definiciones anteriores podemos comprender que, los autores [3], [4] y [5] coinciden en que la RSU es un aspecto fundamental que pocas universidades están llevando a cabo de manera efectiva. Según estos autores, la RSU implica que las universidades deben formar no sólo buenos profesionales, sino también ciudadanos comprometidos con el desarrollo social y económico de su país, capaces de promover la inclusión social y el desarrollo participativo de su comunidad. Además, la RSU implica que la universidad debe ser un referente para la sociedad y mejorar de manera importante el entorno donde se desenvuelve. Por tanto, es importante que las universidades adopten un enfoque organizacional comprometido con la RSU para lograr un campus responsable.

De acuerdo con [6], el desarrollo de estas estrategias debería realizarse a través de la participación integrada de los grupos de interés internos y externos en el cometido de la Universidad; la articulación de los planes de estudios, la investigación, la extensión y los métodos de enseñanza con la solución de los problemas de la sociedad; el autodiagnóstico regular de la institución con herramientas apropiadas de medición y comunicación para la rendición de cuentas a los grupos de interés.

Por otra parte, estudios realizados por [7] demuestran que “los estudiantes universitarios latinoamericanos tienen interés por los asuntos públicos, la justicia social y la inclusión de los grupos minoritarios”; sin embargo, de manera paradójica se encontraron grandes deficiencias en los conocimientos cívicos básicos, así como una evidente desconfianza en las instituciones.

Por lo anterior la encomienda es impulsar un nuevo enfoque para la educación superior orientada al desarrollo de competencias ciudadanas para que, además de ofrecer los contenidos propios de la disciplina para el desenvolvimiento eficiente y eficaz en el desempeño de la profesión, proporcione las habilidades necesarias para el involucramiento de los estudiantes con la dinámica social de su entorno que les permita identificar las problemáticas presentes y les permita actuar en consecuencia para convertirse en agentes de cambio.

Es necesario reconocer que la RSU desempeña un papel fundamental en las IES mexicanas, ya que abarca diversas dimensiones que son esenciales para la formación de profesionales comprometidos para el desarrollo sostenible de la sociedad. A través de la RSU, las IES pueden generar un impacto positivo en su entorno al abordar problemáticas sociales, fomentar la formación integral de los estudiantes, establecer vínculos con la sociedad para así promover prácticas sustentables.
No obstante, es necesario analizar la importancia de la RSU en las IES mexicanas desde otra perspectiva. En este sentido, resulta valioso destacar que la RSU también fortalece la imagen y reputación de las universidades en los contextos nacionales e internacionales [8].

Las IES que adoptan un enfoque comprometido con la RSU se posicionan como referentes en el ámbito educativo, atractivas para estudiantes, profesores e investigadores interesados en formar parte de una comunidad universitaria comprometida con la transformación social. Además, al ser reconocidas por su responsabilidad social (RS), las IES pueden establecer alianzas estratégicas con organismos gubernamentales, empresas y otras instituciones, lo que les permite acceder a recursos y oportunidades de colaboración para fortalecer sus proyectos y programas.

Asimismo, la importancia de la RSU en las IES mexicanas se manifiesta con su contribución al desarrollo de una sociedad más justa y equitativa a través de la formación de profesionales comprometidos con la RS. Las IES fomentan la inclusión social, la igualdad de oportunidades y la promoción de los derechos humanos. De esta manera, la RSU se convierte en un factor clave para la construcción de una sociedad más cohesionada y con mayores posibilidades de desarrollo sostenible en México.

De manera más concreta, para [9] la RSU es importante porque la RS es un componente clave en el proceso educativo. Es importante para el estudiante porque le brinda la oportunidad de aprender a equilibrar sus propias necesidades con las de la sociedad. No obstante, en la actualidad hay que repensar dicho enfoque, pues ya no se trata únicamente del éxito de una persona, sino también del triunfo colectivo; es más probable que los estudiantes progresen si se les enseña RS ya en la universidad, además de cómo pueden usar sus habilidades para crear un mundo más sostenible.

En este sentido, las universidades deberían promover la aplicación de la RS porque les brinda un propósito a los alumnos. Se puede comprender que la RSU es esencial en el proceso educativo. No sólo proporciona a los estudiantes la capacidad de equilibrar sus necesidades personales y sociales, sino que también les permite desarrollar un sentido de propósito y contribución a la sociedad.
Las universidades desempeñan un papel fundamental al promover la RS y ayudar a los estudiantes a identificarse con su papel en la sociedad. Al combinar el logro de lo individual con las acciones de RS, se fomenta un enfoque educativo que no sólo busca el éxito personal, sino también el bienestar colectivo y la creación de un mundo más sostenible.

En cuanto a las características de la RSU, se considera una nueva política de gestión universitaria, según [10], la universidad genera impactos en su entorno que se pueden agrupar en cuatro categorías. En primer lugar, están los impactos educativos, que se refieren al papel directo de las universidades en la formación de jóvenes y profesionales, las universidades influyen en la ética y la deontología profesional al orientar la definición de la ética en cada disciplina y sus roles sociales. En segundo lugar, la universidad tiene impactos cognitivos y epistemológicos significativos que influyen en la generación y difusión de nuevos conocimientos. En tercer lugar, se encuentran los impactos sociales, este tipo de impactos son referentes para contribuir al progreso y al desarrollo de capital social. Asumiendo que, vinculan la educación de los estudiantes con la realidad social y además puede ser percibida como un interlocutor válido para resolver los diversos problemas sociales.

Finalmente están los impactos organizacionales, como cualquier organización, la universidad genera impactos en la vida del personal administrativo, docente, no docente y estudiantes, y además genera impactos medioambientales, en términos de residuos, deforestación y contaminación atmosférica por el uso de transporte vehicular, esto implica que la universidad deja una marca en las personas que forman parte de la institución y también tiene una huella ecológica.

La RSU implica el reconocimiento y la gestión de los impactos de la universidad en el contexto en el que se desarrolla; en esencia, la universidad debe comprender y abordar las dimensiones educativas, cognitivas, sociales y organizacionales para promover IES más responsables y sostenibles
En el caso de las IES, éstas desempeñan un papel fundamental en la formación de profesionales en el mundo actual debido a su importancia en diversos ámbitos. Destacan por su contribución en la formación de profesionales, generación de conocimientos, promoción del pensamiento crítico y la capacidad de análisis, así como la difusión de la cultura y el impulso del desarrollo económico. La relevancia de las IES radica en el fortalecimiento de los pilares fundamentales de la educación, la investigación y el servicio a la comunidad.
En el ámbito contable, las instituciones ofrecen programas académicos especializados que preparan a los estudiantes para ejercer con excelencia en este campo. Estos programas incluyen cursos específicos sobre contabilidad financiera, auditoría, gestión financiera, fiscal y otros temas relevantes. Además, es importante mencionar que la RSU desempeña un papel fundamental en la formación de los estudiantes de la licenciatura en contaduría, ya que complementa la formación académica al fomentar en los estudiantes de contaduría una conciencia ética y una visión más amplia de rol profesional. Esto quiere decir que los estudiantes no solo adquieren conocimientos técnicos, sino también se sensibilizan sobre la importancia de actuar de manera responsable en el ejercicio contable.

Por otro lado, existen enfoques y modelos de RSU que las IES han adoptado para la implementación y guía de sus prácticas y acciones socialmente responsables. De acuerdo con la revisión de la literatura, se identifican varios modelos de RSU, uno de ellos es el Modelo Institucional de Responsabilidad Social Universitaria (MIRSU). Este modelo se caracteriza por estar integrado por cuatro dimensiones que se relacionan directamente con las funciones institucionales. Estas dimensiones son: formación profesional y ciudadana, gestión social del conocimiento, gestión responsable y participación social. Cada una de estas dimensiones se compone de estrategias que tienen un impacto en los ámbitos social, económico y ambiental. Asimismo, se establecen indicadores que permiten evaluar y dar seguimiento a las acciones de la universidad, con el objetivo de mejorar de manera continua.

Otro modelo relevante que se puede mencionar es el "Modelo Unión de Responsabilidad Social Universitaria Latinoamericana (URSULA)". Este modelo se destaca por su enfoque específico en el ámbito latinoamericano y su objetivo de promover la RS en las instituciones de educación superior de la región. El Modelo URSULA se fundamenta en principios y valores compartidos, como la equidad, la inclusión, la justicia social y el compromiso con el desarrollo sostenible. A través de este modelo, se busca fortalecer la formación integral de los estudiantes, la investigación con impacto social, la gestión responsable y el diálogo y la colaboración con los actores relevantes de la sociedad. Mediante la implementación del Modelo URSULA, las universidades latinoamericanas pueden contribuir activamente al desarrollo de sus comunidades y abordar los desafíos regionales desde una perspectiva de RS.

Para los propósitos de este documento, la pregunta que guía esta investigación es ¿cuál es la percepción de los estudiantes de contaduría de las generaciones 2015 a 2022 sobre las acciones de RSU en la UNACAR?

Metodología

Materiales

La metodología de la investigación se basó en dos partes en un enfoque transversal con un diseño de investigación no experimental. La selección de la muestra se realizó de manera no aleatoria y tuvo un enfoque cuantitativo. La muestra consistió en los estudiantes de la licenciatura en contaduría de las generaciones del 2015 al 2022, inscritos en el semestre enero a julio del 2023.
La primera parte de la investigación se llevó a cabo mediante una revisión documental que permitió construir el marco teórico de la RSU. Esta revisión documental proporciono la base conceptual necesaria para comprender y analizar el tema de estudio.

En la segunda parte de la investigación, se realizó un enfoque descriptivo mediante la aplicación de un cuestionario diseñado específicamente para conocer la percepción de los estudiantes de la licenciatura en contaduría sobre las acciones de RSU que lleva a cabo la UNACAR.

 ISSN: 2007 8102

El cuestionario constaba de cuatro secciones distintas. La primera sección recopilaba datos socioeconómicos de los estudiantes, la segunda sección recopilaba datos sobre la gestión de la UNACAR, la tercera sección investigaba el comportamiento de la docencia y la vinculación y la última sección describía la vinculación de la universidad con su entorno. Cada sección del cuestionario contenía pregunta con opciones de respuesta en una escala de tipo Likert, donde los valores 1 a 3 indicaban una valoración negativa, mientras que los valores de 4 y 5 indicaban una valoración positiva.

La recolección de datos se llevó a cabo a través de un cuestionario en línea utilizando la herramienta de *Google Forms*. El cuestionario se envió por correo electrónico a los estudiantes de la licenciatura en contaduría que formaban parte de la Facultad de Ciencias Económicas Administrativas. A pesar de que la muestra requerida era de 179 encuestas, solo se recibieron 100 respuestas completas dentro del periodo de recolección de datos. La obtención de solo 100 respuestas completas de las 179 requeridas se debió a varias limitaciones. Entre ellas se encuentra la falta de tiempo debido a la finalización del semestre, la comunicación individual por correo electrónico pudo haber sido lenta y propensa a pasar desapercibida, el posible bajo interés y motivación de algunos estudiantes para participar, la falta de incentivos o recompensas para completar la encuesta y la ausencia de recordatorios periódicos. Estas limitaciones afectan la representatividad de los resultados y la generalización de los hallazgos, subrayando la necesidad de considerar estas limitaciones al interpretar los resultados y la importancia de futuras investigaciones con estrategias de muestreo más rigurosa y mayor participación estudiantil. El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el software SPSS 24 para cumplir con el objetivo general de la investigación. Con esta metodología se tomaron en cuenta las principales variables de RSU y se obtuvo información relevante sobre la percepción de los estudiantes sobre las acciones de RSU realizadas por la UNACAR.

Resultados y discusión

Perfil de los estudiantes

Sexo. El 60% de los encuestados estaban conformado por mujeres y el 40% eran hombres.
Edad. El promedio de edad de los estudiantes es de 20.89 años. La mediana de edad de los estudiantes es de 21 años. La desviación estándar de los estudiantes es de 2.1164. Dado que la desviación estándar es relativamente baja (en comparación con el promedio), podemos inferir que los datos de edad están relativamente agrupados cerca de la media. En otras palabras, la mayoría de los estudiantes tienen edades que están cerca de los 20.89 años.
Estado civil. el 95% de las personas están solteras, mientras que un 4% se clasifica como "otro", lo que abarca diferentes situaciones no especificadas. Solo el 1% de las personas está casado. Estos datos sugieren que la gran mayoría del grupo no tiene un vínculo matrimonial formal, mientras que una proporción más pequeña se encuentra en otras situaciones relacionadas con el estado civil.
Lugar de origen. El 81% de los estudiantes respondieron ser originarios de Cd. del Carmen, el 5% del estado de Tabasco, el 4% de Campeche, el 3% respondieron ser del estado de Yucatán, el 2% de Veracruz, el 1% de Guadalajara y 1% de Tampico.
Empleo. El 64% de los estudiantes actualmente no cuentan con empleo, mientras que el 36% respondieron que si cuentan con empleo.
Conocimiento del concepto de RSU. El 76% de los estudiantes respondieron que, si tienen conocimiento sobre el concepto de RSU, mientras que el 24% respondieron que no saben sobre RSU.

Resultados autodiagnóstico

La Figura 1 muestra los resultados de la valoración de los ejes de la RSU en los estudiantes de la licenciatura en contaduría de la UNACAR utilizando una escala de Likert del 1 al 5. En el eje 1: Docencia y vinculación, se obtuvo un promedio de 3.56 reflejando una percepción positiva. El eje 2: Vinculación de la UNACAR también obtuvo un promedio de 3.56, evidenciando una valoración favorable de la vinculación con su entorno y sociedad. Por otro lado, el eje 3: Gestión de la UNACAR tuvo un promedio de 3.45, lo que indica una opinión positiva sobre este eje. En general, los estudiantes muestran una percepción positiva de la RSU en la UNACAR.

ISSN: 2007 8102

Figura 1. Valoración de los EJES de la RSU. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

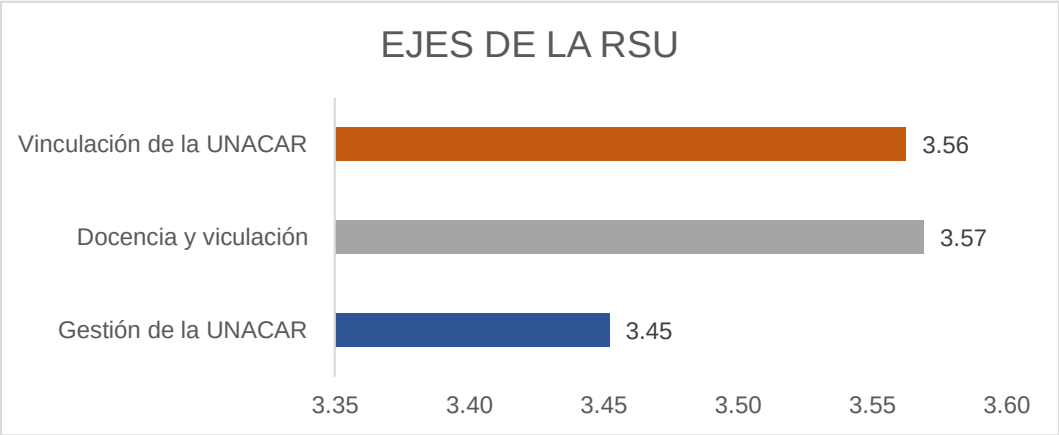


Tabla 1. Sobre la gestión en la UNACAR. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

N°	*PREGUNTAS*	*VALOR*
23	Se cuenta con la infraestructura y el recurso humano preparado para recibir a estudiantes con capacidades diferentes.	2.75
27	La elección de las autoridades se lleva a cabo con democracia y transparencia.	3.10
28	Las decisiones de las autoridades toman en cuenta las opiniones de la comunidad universitaria.	3.14
35	Se fomentan las buenas relaciones con otras facultades y/o Universidades.	3.68
20	Se percibe equidad de género, raza, nivel socioeconómico, preferencia sexual y política.	3.71
19	La relación que existe entre profesores y estudiantes denota respeto y colaboración.	3.72

Según los resultados obtenidos de la Tabla 1 sobre la gestión de la UNACAR, se observa que en general, existen áreas de mejoras y aspectos positivos. Las preguntas que generaron los promedios más bajos fueron las preguntas 23 y 27. Estos puntos indican que se pueden implementar acciones para mejorar la accesibilidad y la transparencia en el proceso de elección de autoridades. Por otro lado, las preguntas con los promedios más altos fueron la 20 y la 19, Estos resultados sugieren que la comunidad universitaria percibe positivamente la equidad y la relación entre docentes y estudiantes.

Tabla 2. Sobre la docencia y vinculación en la UNACAR. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

N°	*PREGUNTAS*	*VALOR*
46	En mi trayectoria escolar he participado en investigaciones relacionadas con problemas sociales y/o ambientales.	3.55
42	Mi formación académica me permite interactuar con zonas marginales.	3.54
43	Las materias que curso fomentan mi participación en proyectos sociales fuera de la Universidad.	3.53
39	Mi formación universitaria me hace empático con la lucha contra las injusticias sociales y económicas.	3.72
38	La formación que recibo de la Universidad es integral, es decir, me proporciona conocimientos, habilidades y actitudes.	3.74
37	Mi formación universitaria es ética y socialmente responsable.	3.74

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 2 sobre la docencia y la vinculación en la UNACAR, se destaca una percepción positiva de los estudiantes en relación con su formación académica y su participación en temas sociales y ambientales. Las preguntas con los promedios más bajos fueron la 46 y 42. Estos resultados sugieren que puede ser necesario fortalecer las oportunidades de los estudiantes para interactuar con comunidades marginadas y participar en proyectos sociales fuera del entorno universitario. Para las preguntan con los promedios más altos que fueron la 38 y 37 indican que los estudiantes perciben de manera positiva la calidad de su formación académica en términos de integridad y responsabilidad social.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 3. Sobre la vinculación en la UNACAR. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

N°	*PREGUNTAS*	*VALOR*
54	Mi Universidad me ha permitido integrarme en grupos sociales o ambientales.	3.55
51	Existe en mi Universidad el acceso a la formación académica de grupos marginados (población indígena, estudiantes de escasos recursos, etc.), a través de becas u otros medios.	3.54
49	Mi Universidad fomenta la interacción estudiantes-docentes-sectores sociales y gubernamentales	3.53
47	Mi formación universitaria me hace empático con la lucha contra las injusticias sociales y económicas.	3.72
56	En mi trayectoria escolar he adquirido conocimientos sobre los problemas sociales de mi País	3.74
50	En mi Universidad se organizan Foros y actividades relacionadas con los problemas sociales y ambientales.	3.74

Según los resultados obtenidos en la Tabla 3 sobre la vinculación en la UNACAR, se destaca una percepción positiva en las preguntas 49 y 51. Esto sugiere que podría haber margen de mejora en el fomento de una mayor interacción y accesibilidad para grupos marginados dentro de la universidad. Para las preguntas con los promedios más altos, se puede observar que la universidad brinda oportunidades para involucrarse en actividades relacionadas con los temas sociales y ambientales, así como adquirir conciencia sobre las problemáticas del entorno.

Trabajo a futuro

Los resultados de esta investigación guiarán futuros trabajos en RSU en la UNACAR. Se podrá mejorar la percepción de los estudiantes con transparencia en la elección de autoridades y fomentando su participación en proyectos sociales externos. Se seguirá el impacto de la RSU en su desarrollo académico y social, lo cual será vital para la toma de decisiones. Así se fortalecerá la RSU en la UNACAR y se generará una comunidad estudiantil consciente y comprometida con la transformación social.

Conclusiones

En conclusión, este estudio revela que los estudiantes de Contaduría tienen una percepción positiva de la RSU en la UNACAR. Se identifican áreas de mejora en accesibilidad y transparencia en la sección de autoridades, así como en la interacción con comunidades marginadas y proyectos externos. La universidad impacta positivamente en el desarrollo académico y social de los estudiantes, que ven favorablemente su formación en integridad, ética y responsabilidad social.

Además, la universidad ofrece oportunidades para que los estudiantes se relacionen con grupos sociales y ambientales y participen en actividades y foros sobre temas sociales y ambientales. El hallazgo principal revela que, sin importar su avance curricular, los estudiantes muestran una percepción positiva de las acciones de RSU en la UNACAR. La RSU juega un papel fundamental en el fortalecimiento del desarrollo integral de los estudiantes, la promoción de la inclusión social y la generación de impactos positivos en los ámbitos social, económico y ambiental.

La promoción de la responsabilidad social en las IES, como la UNACAR, no solo contribuye al desarrollo social sostenible, sino que también posiciona a la universidad como un referente educativo y atractivo para estudiantes, docentes e investigadores comprometidos con la transformación social. Aunque se muestran avances positivos, existen áreas que requieren mayor atención y mejora, como el fortalecimiento de la inclusión y la transparencia en la elección de autoridades, así como una mayor participación de la comunidad universitaria en la toma de decisiones orientada hacia la RSU.

En relación con los estudiantes, la UNACAR ha promovido su participación en investigaciones relacionadas con problemáticas sociales y ambientales, así como en proyectos sociales externos. La formación universitaria ha desarrollado empatía hacia temas de justicia social y económica, demostrando un compromiso con una formación integral y ética alineada con los principios de la RSU. Estos aspectos son esenciales para formar ciudadanos comprometidos y contribuir al desarrollo sostenible de la sociedad.

En general, los resultados muestran que la UNACAR ha implementado diversas estrategias para promover la RSU. Ofrece oportunidades de integración en grupos sociales o ambientales y fomenta la interacción con diferentes sectores de la sociedad. Además, busca garantizar el acceso a la educación para grupos marginados y promueve la conciencia sobre problemas sociales y ambientales a través de actividades académicas y foros.

Estos esfuerzos contribuyen a formar estudiantes más empáticos y comprometidos con la lucha contra las injusticias sociales y económicas, generando un impacto positivo en la comunidad y el país en su conjunto.

Referencias

[1] J. P. P. Ulloa, Y. M. J. Sotomayor, J. I. R. Caballero, and L. D. L. M. P. Masias, "Retos y desafíos de la educación básica ante las nuevas tecnologías e inclusión educativa," *Polo del Conocimiento*, vol. 8, no. 5, pp. 643-659, 2023.

[2] F. Vallaeys, "De la responsabilidad social universitaria a la universidad sustentable en América Latina," *Revista Iberoamericana de Educación Superior* (RIES), vol. 2, no. 4, pp. 3-25, 2011.

[3] F. Valleys, C de la Cruz. y P. Sasia, "Responsabilidad-Social-Universitaria:" *Manual de Primeros Pasos. Banco Interamericano de Desarrollo*. México: Mcgraw-Hill, 2009.

[4] M. Jugón, "*Desarrollo de un plan estratégico de responsabilidad social para la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional Centro*," trabajo final del Curso internacional sobre RSE, 2010.

[5] M. Bacigalupo, "*Responsabilidad social universitaria en Latinoamérica.*" In D.D 2004

[6] F. Vallaeys, C. de la Cruz, and P. Sasia, "*Responsabilidad Social Universitaria: Manual de los primeros pasos*". Banco Interamericano de Desarrollo, México: Mcgraw-Hill Interamericana Editores, 2009.

[7] UNESCO, "*Situación Educativa de América Latina y el Caribe: Hacia la educación de calidad para todos al 2015*," 2013.

[8] E. A. M. Ríos, "La Responsabilidad Social Universitaria: retos y perspectivas en el siglo XXI," Revista de Ciencias Sociales, no. 177, pp. 107-122, 2022.

[9] *"La aplicación de la responsabilidad social en la universidad."* Universitat Carlemany. 2021

[10] F. Vallaeys, y J. Pérez, "*Prácticas y modelos de responsabilidad social universitaria en México, proceso de transformación en la universidad*." México ANUIES, 2016.

 ISSN: 2007 8102

Prototipo didáctico para comprobar el efecto de la longitud de onda de la luz sobre un módulo fotovoltaico

Marco Antonio Zúñiga Reyes[1], Guadalupe Dayri Viza Díaz[2], Jonathan Ismael Villarreal Alvarado[3], César Octavio Llaven Gallegos[4], Ana Lilia de Jesús López Pérez[5]*

[1] Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez, marco.zr@tuxtla.tecnm.mx, Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Chiapas, marco.zr@cecytech.edu.mx, [2] Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez y l19270846@tuxtla.tecnm.mx, [3] Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez y l19270808@tuxtla.tecnm.mx, [4] Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Chiapas, llavencesar@gmail.com, [5] Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Chiapas, alopez@cecytech.edu.mx*

***Área de participación**: Investigación educativa*

Resumen

La energía solar fotovoltaica es una de las opciones de generación de energía a nivel mundial. Actualmente se están desarrollando nuevas tecnologías de fabricación de celdas y módulos fotovoltaicos. Esto se traduce en la necesidad de personal capacitado para diversas tareas, que van desde la proyección hasta la instalación de los emplazamientos fotovoltaicos. Sin embargo, a nivel bachillerato, no se cuenta con el equipamiento adecuado para realizar evaluaciones específicas. Por ello, se diseñó un prototipo didáctico para analizar la respuesta de módulos fotovoltaicos de baja potencia sometidos a luz de determinadas longitudes de onda. De los resultados obtenidos, se puede deducir que se obtienen comportamientos distintos según la longitud de onda de la luz incidente en la celda o el módulo fotovoltaico analizado. Además, existe la posibilidad de aplicar diversas cargas resistivas para trazar curvas de desempeño de la celda o el módulo fotovoltaico analizado.

***Palabras clave**: Fotovoltaica, Carga resistiva, Curva I-V, Longitud de onda.*

Abstract

Photovoltaic solar energy is one of the power generation options worldwide. New manufacturing technologies for photovoltaic cells and modules are currently being developed. This results in the need for trained personnel for various tasks, which range from projection to installation of photovoltaic sites. However, at the high school level, there is no adequate equipment to carry out specific evaluations. For this reason, a didactic prototype was designed to analyze the response of low-power photovoltaic modules subjected to light of particular wavelengths. The results indicate that different behaviors can be observed depending on the wavelength of the incident light in the cell or the photovoltaic module analyzed. In addition, there is the possibility of applying various resistive loads to plot behavior curves of the cell or the analyzed photovoltaic module.

***Key words**: Photovoltaic, Resistive load, I-V curve, Wavelength.*

Introducción

Las celdas fotovoltaicas (CFV) son una opción para la generación de energía eléctrica por medio de fuentes renovables [1]. Aunque su uso ha ido en aumento, se desconocen diversas características de las celdas fotovoltaicas. Por ejemplo, la mayor parte del personal encargado de la instalación de los módulos fotovoltaicos (MFV), únicamente atienden las medidas de seguridad aplicables durante el proceso de instalación. Sin embargo, conceptos tales como circuitos equivalentes de la celda solar, eficiencia del MFV, o el comportamiento de la CFV ante la incidencia de luz con longitud de onda específica, no son considerados como relevantes.

Durante el proceso de enseñanza a nivel de bachillerato tecnológico, específicamente en el módulo II de la Carrera de Fuentes Alternas de Energía que se imparte en el Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Chiapas Plantel 01 San Fernando, se considera el desarrollo de competencias necesarias para que el

 ISSN: 2007 8102

futuro técnico en Fuentes Alternas de Energía sea capaz de “Instalar, operar, mantener sistemas de energía fotovoltaica de baja potencia” [2]. A partir de esta definición, se derivan las actividades que promueven las habilidades para el diseño de diagramas de instalaciones eléctricas, la instalación, o la verificación de los sistemas fotovoltaicos de baja potencia. Como se puede deducir, el comportamiento interno de los MFV no se tiene contemplado como parte del proceso de instrucción.

Por otra parte, es importante reconocer que dependiendo del tipo de CFV que constituye al MFV así será la cantidad de energía solar que pueda convertir a energía eléctrica útil. Esto último se puede comprobar analizando la eficiencia de las CFV que publica el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL, por sus siglas en inglés) [3]. Aunque existen diversas tecnologías en constante desarrollo, las celdas mono y poli cristalinas son las que han dominado el mercado comercial [4].

Existen muchos trabajos reportados donde se evalúa el desempeño de una CFV o un MFV sometido a condiciones controladas de temperatura (T) e irradiancia (G) [5]. Sin embargo, este tipo de evaluaciones consideran todo el conjunto de longitudes de onda que impactan en la superficie terreste. En [6] analizan el comportamiento de un MFV cuya luz incidente es filtrada por medio de materiales plásticos, los cuales filtran la luz del proveniente del sol.

Por lo tanto, en el presente trabajo se muestra el desarrollo de un prototipo didáctico que permite comparar dos o más CFV por medio de su comportamiento en función de la luz incidente en su superficie y cargas resistivas conectadas en sus terminales.

Metodología

En la Figura 1 se muestra el diagrama general del prototipo desarrollado. El proceso inicia cuando la fuente de alimentación de energía (a)) permite la activación de la fuente de luz (b)), que en este caso es un LED que emite luz a una longitud de onda específica. Dicha fuente de luz se coloca en la parte superior de la caja contenedora (c)). Después de que se activa el LED, se procede a obtener el voltaje y la corriente entregados por el módulo fotovoltaico (d)). Como se puede ver, se coloca una resistencia de carga (e)) la cual puede tomar diversos valores discretos.

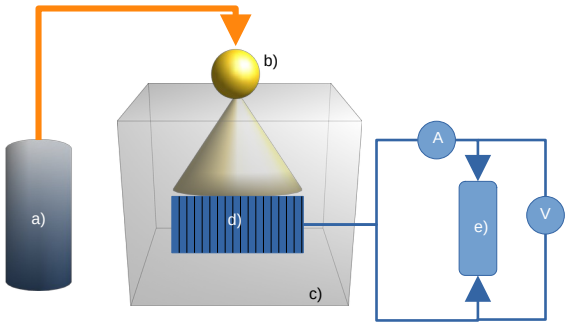


Figura 1. Diagrama general del prototipo desarrollado. a) Fuente de alimentación. b) Fuente de luz. c) Módulo fotovoltaico a prueba. d) Caja contenedora. e) Carga resistiva.

Materiales

Para la ejecución del presente proyecto, se necesitaron diversos componentes. El primero de ellos es la fuente de energía, que en este caso es una batería recargable. Se eligió una fuente de energía constante para que existieran pocas variaciones entre una medición y otra.

El siguiente elemento es la fuente de luz, para cada prueba se utilizó un LED de 5 W de potencia [7], las características de dichos elementos se muestran en la Tabla 1. Esto es importante porque se desea tener evaluaciones donde se la potencia disipada por cada LED sea la misma en cada evaluación. En esa misma etapa, se necesita de una estructura que aísle la luz ambiental y que a la vez permita colocar la fuente de luz a la misma altura en cualquier prueba realizada.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 1. Datos de los LED utilizados en el prototipo.

Color	Longitud de onda (nm)		Observaciones
	Mínimo	Máximo	
Rojo	600	650	
Amarillo	550	600	
Verde	490	540	
Azul	450	500	
Blanco	400	550	Considerando valores aproximados a temperatura del color 5000 – 7000 K.

Como se puede ver, los colores puros tienen rangos de longitudes de onda cortos. Sin embargo, para el LED de color blanco, se tiene un rango más amplio de longitudes de onda, con una clara tendencia a longitudes de onda pequeñas. Esto último implica que se generan longitudes de onda desde el color amarillo hasta el azul. Sin ser precisamente distribuidos en proporciones iguales.

Los MFV utilizados para las evaluaciones son de fácil adquisición en el mercado nacional, sin embargo, se tienen pocos datos acerca de ellos. La empresa distribuidora donde se adquirió el MFV1, indica que el MFV es policristalino, el cual tiene un V_{oc} = 5 V y una I_{cc}= 160 mA. En cuanto al MFV2, los datos proporcionados por el proveedor indican que se trata de un módulo monocristalino con V_{oc}= 5 V y una I_{cc} = 200 mA. Sin embargo, cabe recordar que estos valores son obtenidos para una irradiancia de 1000 W/m^2. Esta última consideración es importante debido a que la fuente de luz a utilizar en el prototipo desarrollado no proporciona este nivel de irradiancia.

Por otra parte, los valores de la carga discreta conectada a las terminales del MFV se indican en la Tabla 2. Se consideraron valores con diferentes órdenes de magnitud con la finalidad de someter a los MFV a condiciones cercanas tanto a circuito abierto como a corto circuito. Para todas estas condiciones, el voltaje (V_M) y la corriente (I_M) se miden utilizando multímetros digitales. Los valores obtenidos por cada evaluación realizada se almacenan para analizarlas posteriormente.

Tabla 2. Valores de los resistores utilizados como cargas resistivas discretas.

Valor (Ω)	Observaciones
0	Condición de corto circuito.
20 k	
1 k	
33	
∞	Condición de circuito abierto.

Desarrollo

En la primera etapa de desarrollo se tiene la selección de la fuente de voltaje, esta debe tener un voltaje mayor al que necesitan los LED para su activación. Para evitar daños, se conecta un resistor en serie entre la fuente de voltaje y el LED, ver Figura 2. Una vez se tiene la sección de iluminación con los elementos adecuados, se procede a su instalación en la parte superior de la caja contenedora. Además, el MFV se instala dentro de la caja contenedora, esto con la finalidad de evitar que exista influencia por parte de la luz ambiental. Adicionalmente, se muestra la caja contenedora y las terminales MFV que se someterá a prueba.

 ISSN: 2007 8102

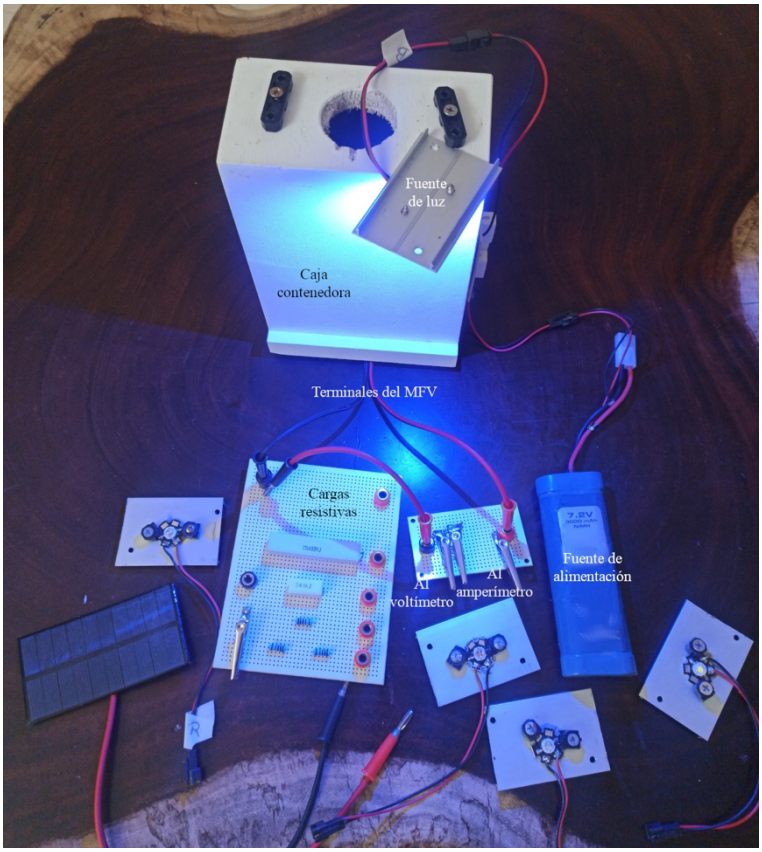


Figura 2. Implementación del prototipo. Se pueden identifcar diversas etapas del proyecto.

Finalmente, por cada prueba, se realizarán cinco mediciones. En la Tabla 3, se describen las parámetros de interés por cada prueba.

Tabla 3. Listado de parámetros de interés.

Parámetro	Descripción
Color de la luz	Es el color de la luz que se proyecta sobre el MFV.
Carga	El valor del elemento de carga colocado en las terminales del MFV.
V	Voltaje que se obtiene en las terminales del MFV.
I	Corriente que entrega el MFV.

Las comparaciones a realizar son:

Voltaje a circuito abierto en función de la longitud de onda. En esta evaluación se analizará el comportamiento de los MFV en función de la longitud de onda de la luz incidente. Aunque se obtendrán diversos valores de voltaje (V_{XY}), los cuales dependerán de la carga, donde *X* es el valor del elemento resistivo y *Y* es el tipo de MFV utilizado (P=policristalino, M= monocristalino). Específicamente para esta evaluación, se utilizará el voltaje proporcionado por el MFV cuando la carga se comporta como circuito abierto.

Corriente de corto circuito en función de la longitud de onda. De forma similar al voltaje, para esta evaluación se analizará la corriente proporcionada por los MFV en función de la longitud de onda de la luz incidente. Aunque se obtendrán diversos valores de corriente (I_{XY}), los cuales dependerán de la carga, donde *X* es el valor del elemento resistivo y *Y* es el tipo de MFV utilizado (P=policristalino, M= monocristalino). Específicamente para esta evaluación, se utilizará la corriente proporcionada por el MFV cuando la carga se comporta como corto circuito.

 ISSN: 2007 8102

Constante de proporcionalidad de voltaje y constante de proporcionalidad de corriente. Se definió la constante de proporcionalidad de voltaje (K_v) como la relación entre el voltaje a circuito abierto entregado por el MFV policristalino y el voltaje a circuito abierto entregado por el MFV monocristalino. De igual manera, se definió la constante de proporcionalidad de corriente (K_c) como la relación entre la corriente de corto circuito entregado por el MFV policristalino y corriente de corto circuito entregado por el MFV monocristalino.

$$K_v = \frac{V_{XP}}{V_{XM}} \quad para\ X = \infty\ \Omega$$

$$K_c = \frac{I_{XP}}{I_{XM}} \quad para\ X = 0\ \Omega$$

Curva I-V. En esta evaluación, se grafican los pares (V_{XY},I_{XY}) obtenidos para los distintos valores de carga a la que fue sometido cada MFV.

Resultados y discusión

Voltaje a circuito abierto en función de la longitud de onda

En la Figura 3 se pueden observar las mediciones de voltaje de los MFV sometidos a prueba. En la Figura 3 a) se grafican los voltajes a circuito abierto obtenidos con el MFV 1, y en la Figura 3 b) se grafican los voltajes a circuito abierto obtenidos con el MFV 2. Como se puede observar, ambos MFV tienen voltajes de salida similares para la luz roja, azul y blanca, sin embargo, el MFV policristalino proporciona mayor voltaje de salida para la luz verde y amarilla. Los resultados obtenidos son similares a los reportados en [6], considerando que en dicho reporte se evalúa la eficiencia del MFV.

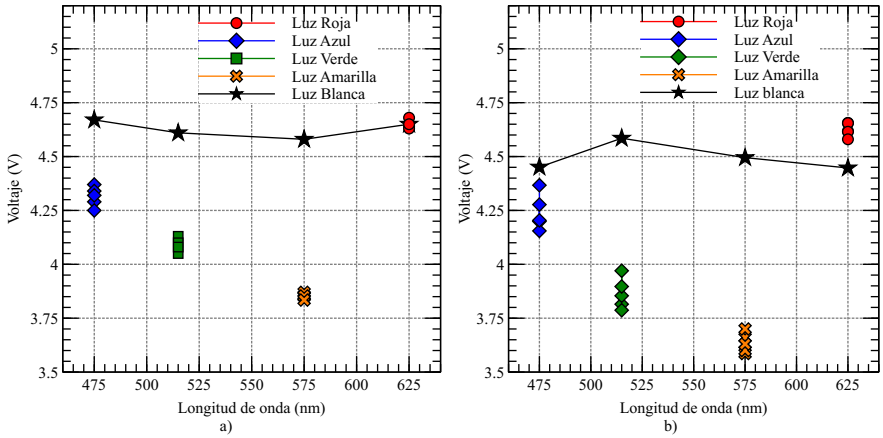


Figura 3. Resultado de las mediciones de voltaje de los MFV. a) Voltaje a circuito abierto del MFV1. b) Voltaje a circuito abierto del MFV2.

Corriente de corto circuito en función de la longitud de onda

En cuanto a la corriente de corto circuito, a diferencia del voltaje a circuito abierto, el MFV monocristalino proporciona los valores más altos comparados con la corriente proporcionada por el MFV policristalino. Debido a que se comparan dos tecnologías de MFV, entonces, se espera una diferencia de corrientes fotogeneradas, ver Figura 4. Sin embargo, independientemente de la magnitud de las corrientes, el comportamiento es similar en ambas CFV. Por otra parte, si se normalizan los valores en función de la corriente máxima obtenida con la luz roja (ver Figura 5), se observa que la luz verde y amarilla tienen proporciones similares. En cuanto a la luz azul, se observa que la proporción es mayor en la MFV 2. Otra diferencia se presenta en los resultados normalizados de la luz blanca, en la MFV 2 se tienen proporciones menores.

 ISSN: 2007 8102

Un resultado bastante notorio corresponde a la corriente fotogenerada por la luz blanca, en este caso no se alcanza el nivel de intensidad proporcionada por la luz roja. Esto se debe a que el tipo de LED utilizado emite longitudes de onda alejadas de las correspondientes a la luz roja, teniendo un mayor aporte de luz azul.

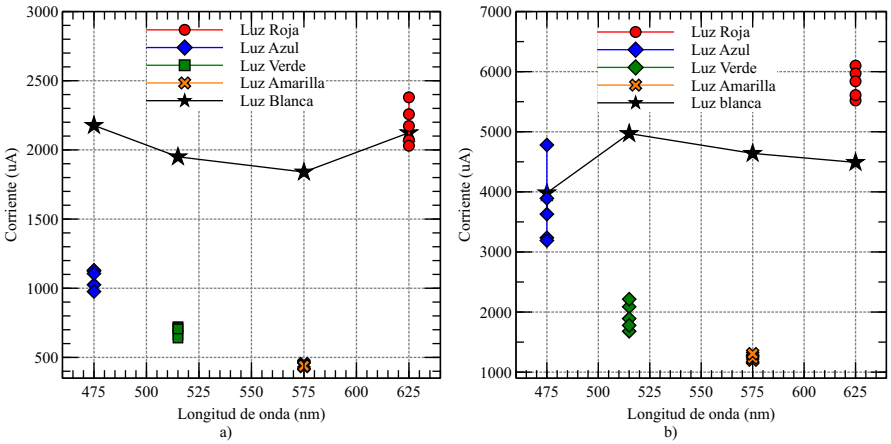


Figura 4. Resultado de las mediciones de corriente de los MFV. a) Corriente de corto circuito del MFV1. b) Corriente de corto circuito del MFV2.

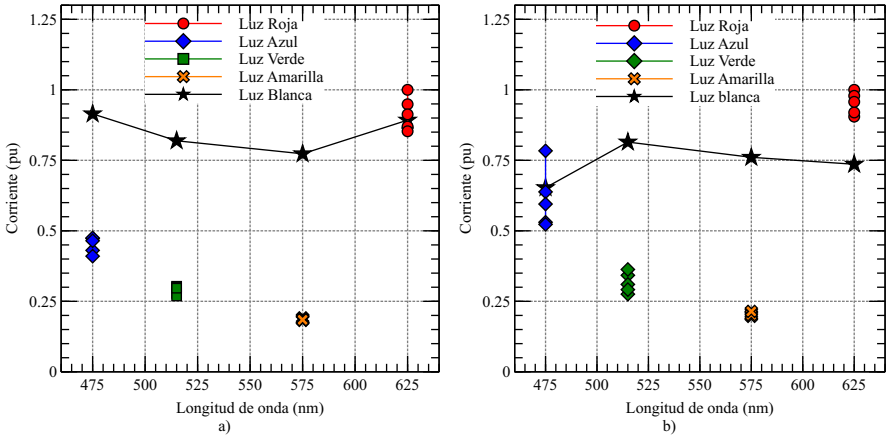


Figura 5 Resultados normalizados de las mediciones de corriente de los MFV. a) Corriente de corto circuito del MFV1. b) Corriente de corto circuito del MFV2.

Constante de proporcionalidad de voltaje y constante de proporcionalidad de corriente

Para la K_v, se espera un valor cercano a 1, debido a que ambas celdas proporcionan el mismo voltaje de circuito abierto. Sin embargo, en la Figura 6 se puede observar cómo en todos los casos, la CFV 1 entrega un mayor voltaje a circuito abierto. Es de resaltar el hecho de que la mayor proporción se obtuvo con la luz de color amarillo.

Continuando con el análisis, la K_c debería tener un valor cercano a 0.8 en condiciones normales de prueba. Sin embargo, se observa que la proporción es menor a 0.45. La mejor proporción se obtuvo con la luz, siendo la menor proporción, la obtenida con la luz azul. De todas las longitudes de onda individuales, la correspondiente a la luz roja es la que obtuvo el valor más alto. La diferencia en la respuesta de la luz blanca, puede ser un indicador de que las longitudes de onda generadas por el LED de luz blanca, se concentran más en el rango de la luz verde y amarilla [8]. Aunque se tendrían que realizar pruebas más específicas para comprobar dicha observación.

 ISSN: 2007 8102

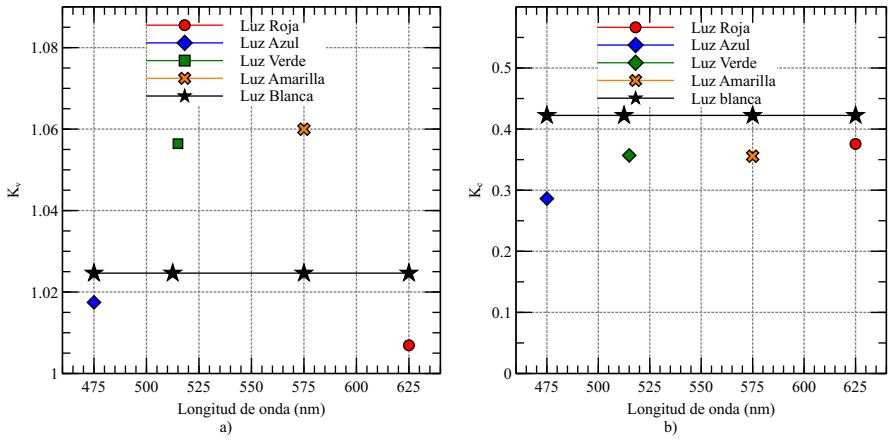


Figura 6. Constantes de proporcionalidad para el MFV 1 y el MFV 2. a) Constante de proporcionalidad de voltaje. b) Constante de proporcionalidad de corriente.

Curva I-V

La curva I-V se obtuvo al graficar los pares correspondientes al voltaje y corriente entregados por el MFV bajo distintas cargas resistivas. Los puntos extremos de la curva I-V son dos (0, I_{cc}) y (V_{oc}, 0). Los demás valores intermedios se obtuvieron de las cargas indicadas en la Tabla 2, en la Figura 7 a) se muestran los resultados obtenidos para el MFV 1, y en la Figura 7 b) se muestran los resultados obtenidos para el MFV 2.

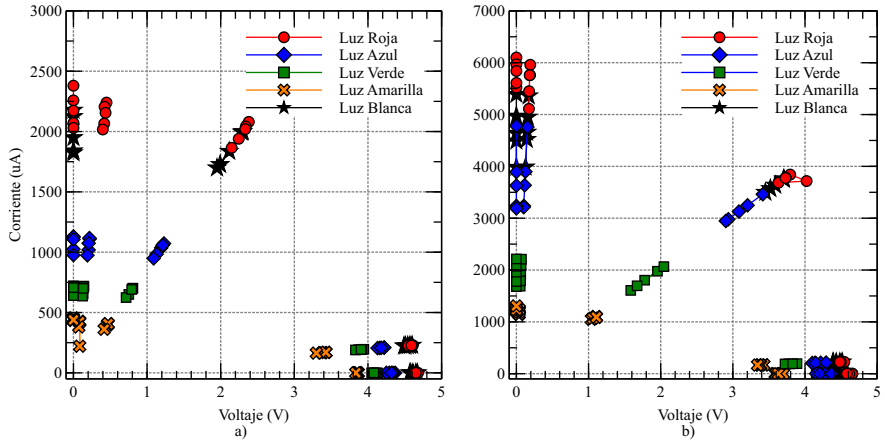


Figura 7. Curvas I-V obtenidas de los MFV. a) Curva I-V para el MFV 1. b) Curva I-V para el MFV 2.

Es notoria la diferencia en la respuesta de ambos MFV, principalmente en lo que se refiere a la corriente fotogenerada. Sin embargo, se puede ver cómo para cada carga resistiva, los pares (V,I) obtenidos para cada tipo de luz incidente presentan una relación lineal. Esto último se puede ver en la Figura 8 donde se grafican el valor promedio de cada conjunto de mediciones realizadas. Además, para una misma condición de luz incidente, se obtuvo una curva exponencial, la cual es similar a las obtenidas en diversas publicaciones [9][10]. Sin embargo, la diferencia de estas curvas es que fueron obtenidas para longitudes de onda específicas.

 ISSN: 2007 8102

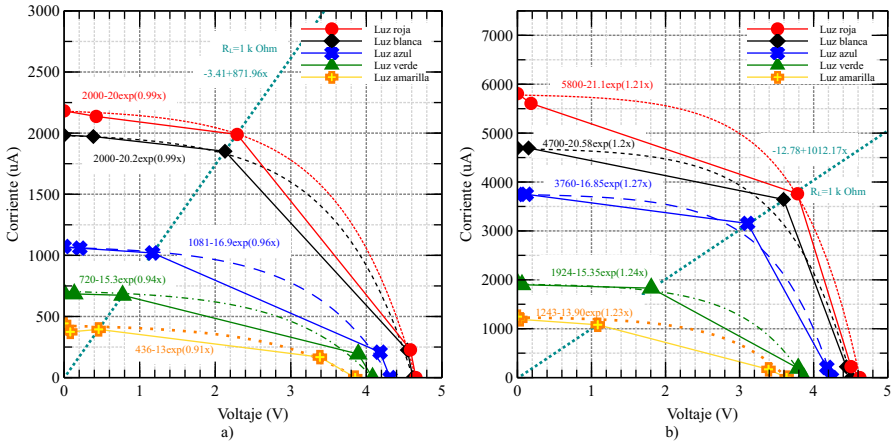


Figura 8. Curvas aproximadas obtenidas a partir de los pares (V,I). a) Curvas obtenidas para el MFV 1. b) Curvas obtenidas para el MFV 2.

Trabajo a futuro

Se considera importante desarrollar un dispositivo electrónico que permita obtener la curva I-V del MFV sometido a prueba. Además, es primordial considerar un proceso automático de toma de las mediciones debido a la cantidad de datos a procesar por cada prueba.

Conclusiones

En el presente proyecto se obtuvo un dispositivo que permite comparar el desempeño de MFV independientemente de su tecnología de fabricación. El diseño de los elementos que componen el prototipo permitieron fijar las fuentes de luz, además de permitir que el MFV se encuentre a una distancia fija por cada prueba.

Por otra parte, con los elementos de carga discretos se hizo posible obtener diferentes valores de voltaje y corriente, con los cuales se realizaron diversas comparaciones. De igual manera, se pudieron obtener curvas I-V ajustadas con los pares I-V para cada condición de carga, estas curvas presentan un comportamiento exponencial que es acorde con lo reportado en diversos trabajos publicados. Adicionalmente, se obtuvo el análisis para una condición de carga específica, obteniendo un gráfico ajustado lineal. La diferencia entre estas líneas ajustadas se encuentra en la pendiente, siendo mayor para el MFV 1.

Finalmente, tanto el diseño del prototipo como el análisis de los datos obtenidos en las pruebas realizadas a los MFV, serán de beneficio para que el futuro técnico en energías renovables comprenda de mejor manera el funcionamiento de los MFV.

Referencias

[1] J. I. Morales-Aragonés, M. Dávila-Sacoto, L. G. González, V. Alonso-Gómez, S. Gallardo-Saavedra, y L. Hernández-Callejo, “A Review of I–V Tracers for Photovoltaic Modules: Topologies and Challenges”, *Electronics*, vol. 10, núm. 11, p. 1283, may 2021, doi: 10.3390/electronics10111283.
[2] R. Z. Pérez, B. E. P. Arias, E. G. M. Ortiz, y C. V. G. Jiménez, “Programa de Estudios de la Carrera de Fuentes Alternas de Energía”. Secretaría de Educación Pública, el 1 de febrero de 2019.

 ISSN: 2007 8102

[3] "NREL". Consultado: el 2 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html
[4] L. El Chaar, L. A. Lamont, y N. El Zein, "Review of photovoltaic technologies", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, núm. 5, pp. 2165–2175, jun. 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.01.004.
[5] J. I. Morales-Aragonés, M. Dávila-Sacoto, L. G. González, V. Alonso-Gómez, S. Gallardo-Saavedra, y L. Hernández-Callejo, "A Review of I–V Tracers for Photovoltaic Modules: Topologies and Challenges", *Electronics*, vol. 10, núm. 11, p. 1283, may 2021, doi: 10.3390/electronics10111283.
[6] Enoh Pius, Ogherohwo y Benaiah, Barnabas, "Investigating the Wavelength of Light and Its Effects on the Performance of a Solar Photovoltaic Module", *International Journal of Innovative Research in Computer Science and Technology (IJIRCST)*, vol. 3, núm. 4, pp. 61–65, julio de 2015.
[7] SiLed, "Hoja de especificaciones". Consultado: el 2 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: https://agelectronica.lat/pdfs/textos/L/LEDPOT5W.PDF
[8] "Blackbody Radiation". Consultado: el 2 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.e-education.psu.edu/astro801/content/l3_p5.html
[9] M. H. El-Ahmar, A.-H. M. El-Sayed, y A. M. Hemeida, "Mathematical modeling of Photovoltaic module and evalute the effect of varoius paramenters on its performance", en *2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, Cairo, Egypt: IEEE, dic. 2016, pp. 741–746. doi: 10.1109/MEPCON.2016.7836976.
[10] H. Tian, F. Mancilla-David, K. Ellis, E. Muljadi, y P. Jenkins, "A cell-to-module-to-array detailed model for photovoltaic panels", *Sol. Energy*, vol. 86, núm. 9, pp. 2695–2706, sep. 2012, doi: 10.1016/j.solener.2012.06.004.

 ISSN: 2007 8102

Implementación de principios didácticos en las asignaturas de Métodos Numéricos e Informática y Programación

M. Pacheco Martínez[1], G. Vidal García[1], N. Saavedra Cruz[1], J.C. Carmona Rendón[1], F.K. Rivas Moreno[1**]*
[1]Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería, C.U., Blvd. Capt. Carlos Camacho Espíritu y Av. San Claudio S/N Col. San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Puebla, México,
[*]mitzi.pachecom@alumno.buap.mx, [**]frida.rivas@correo.buap.mx
***Área de participación**: Investigación Educativa aplicada al área de Ingeniería*

Resumen

En este trabajo se evaluó el nivel de aprendizaje alcanzado después de la implementación de los principios didácticos en estudiantes de ingeniería que cursaron asignaturas teórico-prácticas a lo largo de dos semestres. Se utilizó el Aprendizaje Basado en Problemas como método de enseñanza-aprendizaje, esto permitió que los estudiantes desarrollaran la capacidad de resolver retos de la vida real, mediante la construcción y aplicación del conocimiento, con la finalidad de vincular la teoría con la práctica, la solidez de conocimientos y relacionar lo concreto con lo abstracto. Se identificó mediante una encuesta el nivel de satisfacción de los estudiantes respecto a las asignaturas y se comparó el número de aprobados y no aprobados entre los dos semestres. Finalmente, se constató que la implementación de los principios didácticos resultó en un incremento en el número de alumnos aprobados, respetando en todo momento el plan curricular y el modelo educativo de la institución.

***Palabras clave**: aprendizaje basado en problemas, enseñanza-aprendizaje, principios didácticos.*

Abstract

In this work, the learning level reached through the implementation of didactic principles in engineering students who studied theoretical-practical subjects during two semesters was evaluated. Problem-Based Learning was used as a teaching-learning method, this allowed students to develop the ability to solve real-life challenges, through the construction and application of knowledge, in order to link theory with practice, solidity of knowledge and relate the concrete to the abstract. Students' satisfaction level regarding to subjects was identified through a survey and the number of approved and not approved in two semesters was compared. Finally, it was verified that the implementation of the didactic principles resulted in an increase in the number of students approved, always respecting the curricular plan and the educational model of the institution.

***Key words**: problem-based learning, teaching-learning, didactic principles.*

Introducción

La educación es un derecho que transforma vidas y genera progreso en la sociedad, en la actualidad el desarrollo de nuevos modelos y formas de enseñanza-aprendizaje ha permitido una mayor inclusión y humanismo en la adquisición de conocimiento por parte de los estudiantes. Lo anterior ha llevado a que los docentes se preparen más en sus labores de enseñanza.

El aprendizaje basado en problemas (ABP) genera una motivación y si está enfocado al área de especialización permite que los estudiantes se sientan más involucrados. Con este tipo de estrategias el docente deja de ser el actor principal, permitiendo en mayor medida al estudiante responsabilizarse de su propio aprendizaje de esta forma el docente pasa a segundo plano convirtiéndose en una guía y facilitador [1].

Las estrategias de enseñanza-aprendizaje permiten a los docentes una planeación de acuerdo al grupo para establecer métodos didácticos que permitan un aprendizaje significativo, por ejemplo, el ABP tiene como objetivo sustituir el modelo tradicional priorizando activamente a los estudiantes, es decir sus aspiraciones profesionales, académicas y cognitivas; para su aplicación debe considerarse la relevancia para el estudiante, la cobertura y la complejidad. La forma de educación actual requiere que no solo el alumno adopte nuevas estrategias de aprendizaje, sino que también los docentes desarrollen nuevas técnicas de enseñanza para que el conocimiento se vuelva asequible para los estudiantes. [2]

 ISSN: 2007 8102

Todo lo anterior basado en la disciplina de la didáctica donde de acuerdo con Herminia Ruvalcaba que define a los principios didácticos como: “Los lineamientos rectores en el planeamiento didáctico y en su desarrollo. Son la base para seleccionar los medios de enseñanza, asignar tareas y evaluar aprendizajes” [3]. Por otra parte Cano de la Cruz los define como: “reglas generales y recomendaciones metodológicas específicas sobre cómo debe trascurrir el proceso de enseñanza-aprendizaje” [4]. En resumen, los principios didácticos son pasos sugeridos a los docentes para que el estudiante se apodere del conocimiento de forma consolidada.

Metodología

Planeación de ejercicios

Los principios didácticos como base para la aplicación de una metodología de enseñanza-aprendizaje marcan una serie de pasos que se ajustaron junto con el método ABP para la planeación e implementación en dos materias: “Informática y programación” y “Métodos Numéricos”. Los principios usados son los siguientes:

1. Principio del carácter científico. Tomar de forma correcta las leyes físicas y matemáticas de los temas abordados en el contenido temático para aplicarlos en ejemplos y tareas de forma correcta.
2. Principio de la sistematicidad. Planear las clases basadas en el marco del modelo educativo de la institución y el plan curricular de las materias.
3. Principio de la vinculación de la teoría con la práctica y Principio de la vinculación de lo concreto con lo abstracto. Utilización del ABP en el diseño de ejemplos y ejercicios donde se utilizaron problemas aplicados a la ingeniería.
4. Principio de la asequibilidad. Escalar la complejidad de los ejemplos y ejercicios de acuerdo a los temas.
5. Principio de la solidez de los conocimientos. Ser constante con la retroalimentación de las actividades.

Para el desarrollo tanto de las clases teóricas como prácticas se trabajaron los tres momentos: Introducción, desarrollo y conclusión. Para ello es necesario determinar los métodos de enseñanza, los medios de enseñanza, los objetivos instructivos y los objetivos educativos que se usarán en la planeación. Para la estructuración de la clase, se contemplaron sesiones de 50 min, distribuidos en 5 min para la Introducción, 40 min para el Desarrollo de la Clase y 5 min para la Conclusión.

Los métodos de enseñanza empleados por el docente en las sesiones de clase fueron orales y visuales y se utilizaron: el método expositivo, el trabajo independiente de los alumnos y el trabajo en equipo. Para los medios de enseñanza se emplearon materiales como: pizarrón, plumones, computadora, proyector y videos. Para los objetivos instructivos se emplearon verbos como: analizar, buscar, calcular, copiar, definir, describir, escribir, elaborar, investigar, modelar, resolver, tabular, entre otros.

Los principios didácticos empleados fueron: principio del carácter científico, principio de la sistematicidad, principio de la vinculación de la teoría con la práctica, principio de la vinculación de lo concreto y lo abstracto, principio de la asequibilidad, principio de la solidez de conocimientos. En la **Tabla 1** y **Tabla 2** se muestran los ejercicios planeados que se consideraron permitirán el desarrollar el pensamiento lógico acrecentando la capacidad de razonamiento, análisis y síntesis en la solución de problemas relacionados con su perfil profesional

Tabla 1. Planeación de ejercicios para la materia de “Informática y programación”

Informática y programación		
Unidad	Ejercicios	Fechas
1	Ejercicios de proposiciones lógicas y conjuntos	Del 9 al 20 de enero
2	Cuadro sinóptico de los lenguajes de programación	Del 23 de enero al 27 de enero
	Mapa mental de las fases del desarrollo del software	Del 30 de enero al 3 de febrero
3 y 4	Entrada y salida de datos. Leer números enteros y reales	Del 6 al 10 de febrero
	Operaciones aritméticas y trigonométricas. Calculadora y ecuación de segundo grado	Del 13 al 24 de febrero
	Sentencias de decisión simples. Definir si un estudiante está acreditado o no a una materia, número par o impar y números divisores entre sí	Del 27 de febrero al 10 de marzo

	Sentencias de decisión anidadas. Número menor, central y mayor de tres números enteros leídos	Del 13 al 17 de marzo
	Sentencias de repetición simples. Factorial de un número, tanque lleno y rebote de pelota	Del 20 al 31 de marzo
	Sentencias de repetición anidadas. Método de ordenación de la burbuja	Del 17 al 21 de abril
	Funciones. Ecuación de segundo grado	Del 24 al 28 de abril
	Estructuras de datos. Transpuesta de una matriz y promedio de temperaturas	Del 1 al 12 de mayo
	Gráficos. Gráfica de funciones trigonométricas y suma de vectores	Del 15 al 26 de mayo

Tabla 2. Planeación de ejercicios para la materia de "Métodos numéricos"

Métodos numéricos		
Unidad	Ejercicios	Fechas
1	Mapa conceptual de los métodos numéricos	Del 9 al 13 de enero
	Ejercicios de errores. Series de Maclaurin	Del 16 al 27 de enero
2	ABP método de la bisección. Volumen de un contenedor dada una altura y rapidez con la que un objeto viaja en una rampa con cierto ángulo.	Del 30 de enero al 10 de febrero
	ABP método de Newton-Raphson. Volumen de un contenedor dada una altura y rapidez con la que un objeto viaja en una rampa con cierto ángulo	Del 13 de febrero al 24 de febrero
3	ABP método Gauss-Seidel. Módulo de elasticidad de una estructura doblemente empotrada	Del 27 de febrero al 3 de marzo
4	ABP mínimos cuadrados. Densidad y concentración de un elemento en una solución acuosa a cierta temperatura	Del 6 de marzo al 17 de marzo
	ABP polinomios de Lagrange. Ruptura de una columna dada una carga	Del 20 al 31 de marzo
5	ABP Newton Cotes. Exposición de la aplicación de un método de integración	Del 17 de abril al 12 de mayo

Encuesta

Posterior al término del semestre y de la entrega de calificaciones se les pidió contestaran una encuesta para obtener información cuantitativa y cualitativa del proceso de enseñanza-aprendizaje. Se utilizaron las siguientes preguntas:

- Preguntas cerradas con cuatro posibles respuestas, completamente satisfecha(o), insatisfecha(o), muy insatisfecha(o), neutral, satisfecha(o):
  - ¿Cómo se siente respecto a la forma en que el docente dio conocer los objetivos del curso, contenidos y criterios de evaluación?
  - ¿Considera que los materiales didácticos proporcionados para este curso (p.ej. diapositivas) facilitan el proceso de enseñanza-aprendizaje y le ayudan a cumplir con los objetivos de aprendizaje definidos?
  - ¿Cree que los materiales didácticos son interesantes, comprensibles y promueven la adquisición de conocimientos?
  - ¿Las instrucciones para realizar las actividades/tareas asignadas fueron comprensibles?
  - ¿El grado de dificultad de los contenidos se adecua a los objetivos de aprendizaje del curso?
  - ¿Considera que los ejercicios realizados en clase promueven la reflexión y estimulan al alumno a hacer preguntas y encontrar soluciones?
  - ¿La retroalimentación a sus actividades/tareas fue precisa y clara?
  - ¿Considera que la(s) evaluación (evaluaciones) fue justa, oportuna y pertinente?
  - ¿Sus solicitudes, dudas o aclaraciones hechas al docente fueron atendidas oportunamente?
  - ¿El curso cumplió con sus expectativas?
- Preguntas cerradas con cuatro posibles respuestas, quizás, si, no:
  - ¿Considera que lo aprendido en el curso le será de utilidad en asignaturas futuras?
  - ¿Considera que lo aprendido en el curso le será de utilidad en su desarrollo profesional?
  - ¿Considera que las instalaciones y equipos fueron adecuados para alcanzar los objetivos de enseñanza-aprendizaje?

- Preguntas cerradas con respuestas particulares
  - Tipo de clase (presencial, en línea)
  - Los problemas usuales que encontró en el laboratorio fueron (sin problemas, ratón, sillas, teclado, monitor, internet, encendido o funcionamiento de la computadora)

Desarrollo

Para la instrucción se utilizaron los planes de estudios (PE) de ambas materias y se propusieron algunos objetivos educativos basados en las estructuras pedagógicas de los principios didácticos que son vistos como normas estratégicas, prácticas y operacionales a través de los cuales se planean, organizan y se desarrollan actividades que abonen a los valores humanos [5]. Desarrollar el hábito de la puntualidad, crear hábitos de limpieza y organización en el trabajo en el aula, fomentar el valor de la responsabilidad como elemento vital para el buen desempeño académico y concientizar sobre la importancia del trabajo en equipo como estrategia para el desarrollo de las habilidades productivas. Los niveles de asimilación que se plantea promover para estas materias son de: familiarización y reproductivo.

Para el desarrollo de los tres momentos de la clase (introducción, desarrollo y conclusión), se establecen de forma general los siguientes pasos:

Para una clase teórica, la introducción incluirá que: el docente inicie la clase con un recordatorio sobre los conceptos de la clase anterior que sirven de retroalimentación de los conocimientos teóricos necesarios, se elaboren de dos a tres preguntas para generar una lluvia de ideas, el docente introduzca al tema y presente el objetivo de la clase. En el desarrollo se establece el principio didáctico a emplear e incluye: la presentación del tema, elaboración de ejercicios, fomentar la participación de los estudiantes, orientar a los estudiantes a reforzar los conocimientos vistos en clase mediante la resolución de problemas o ejercicios. Finalmente, para la conclusión el docente presenta un resumen del tema, realiza algunas preguntas para verificar el cumplimiento del objetivo de la clase, el docente motiva al estudiante a consultar un recurso didáctico para reforzar el conocimiento que puede incluir la elaboración de ejercicios, el docente termina la clase indicando el tema o actividad que se realizará en la siguiente clase.

Para una clase práctica, la introducción incluirá que: el docente inicie la clase con un recordatorio sobre los conceptos de la clase anterior como retroalimentación de los conocimientos teóricos necesarios, el docente de a conocer las instrucciones de la actividad a realizar e indique el resultado esperado. En el desarrollo se incluye: la realización de la actividad, la supervisión continua por parte del docente y ser mediador cuando sea necesario. Finalmente para la conclusión: el docente relaciona la teoría con la actividad que se realizó, el docente realiza algunas preguntas para verificar el cumplimiento del objetivo de la clase, motiva al estudiante a elaborar un recurso didáctico para reforzar el conocimiento, cierre la clase indicando lo que se realizará en la siguiente clase.

Resultados y discusión

Comparativa de aprobados y reprobados

Respecto al porcentaje de alumnos aprobados y reprobados, en otoño 2022 aprobaron un total de 182 y reprobaron 37 alumnos, esto hace un 83.1 y 16.9%, respectivamente. Mientras que, en el periodo de primavera 2023 aprobaron 175 y reprobaron 32 estudiantes, es decir, 84.5% y 15.5%, respectivamente. Es probable que el porcentaje de alumnos aprobados entre periodos tenga poca diferencia debido a fallas en las salas del cómputo donde toman clase que generan algunas desilusiones en los estudiantes al igual que la inconformidad a las clases en línea en los grupos que se desarrollaron de esta forma.

Respecto al número de alumnos aprobados y reprobados, en la **Figura 1** se puede observar que los valores son similares para los periodos de otoño 2022 y primavera 2023, no obstante, en verano 2023 disminuye significativamente la cantidad de alumnos, esto se debe que durante el verano sólo se tienen alumnos de recurso, es decir, estos son los que volvieron a tomar la materia después de reprobarla en un periodo académico anterior. Estos datos cobran importancia si los convertimos en porcentaje, para otoño 2023 aprobó el 83.1% y reprobó el 16.9% de alumnos, esta tendencia tiene similitud con primavera y verano 2023, ya que en el primero aprobaron el 84.5% y reprobaron el 15.5%, mientras que para el segundo aprobó el 84.4% y reprobó el 15.6% del total de alumnos. Se cree que el incremento en porcentaje de alumnos aprobados se debe a la implementación de los

 ISSN: 2007 8102

principios didácticos, previamente descritos, en las asignaturas de “Métodos Numéricos” e “Informática y Programación”.

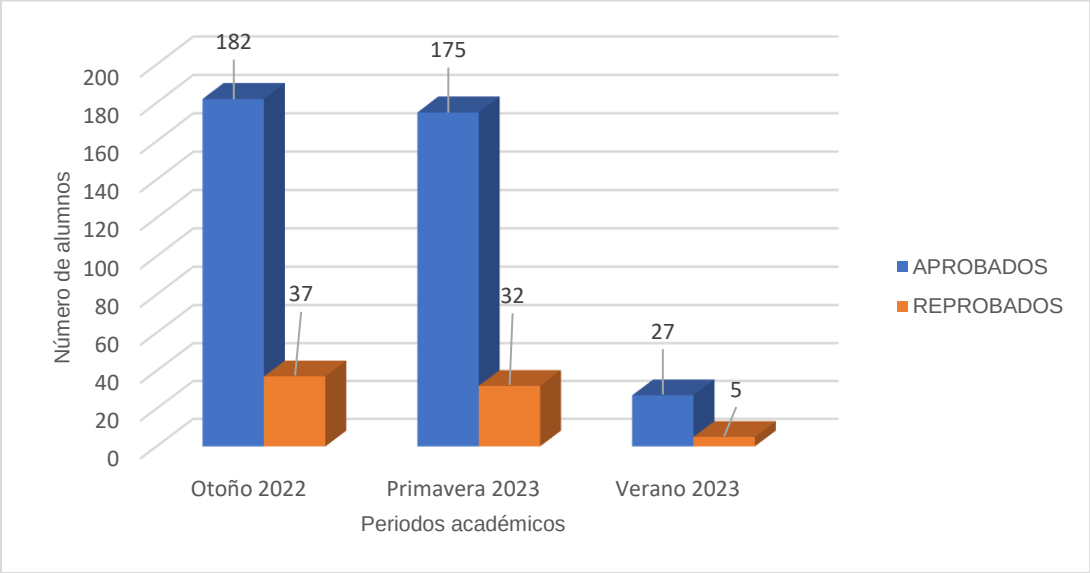


Figura 1. Comparativo de alumnos aprobados y reprobados

Resultados de encuesta

Los resultados derivados de la encuesta de percepción en el periodo de primavera 2023, indican un porcentaje de participación fue del 75.4%, es decir sólo 165 de 219 alumnos la respondieron. De los alumnos que participaron, el 27.3% son de la asignatura de Métodos Numéricos y el 72.7% de Informática y Programación. Otro aspecto que debemos tomar en consideración es que las asignaturas se impartieron de forma presencial y en línea, 17.6% de alumnos las tomaron de forma virtual y 82.4% en el salón de clases.

Continuando con el análisis de los resultados, se les preguntó a los estudiantes cómo se sintieron respecto a la forma en que el docente dio a conocer los objetivos del curso, contenidos y criterios de evaluación (**Figura 2**), 79 alumnos manifestaron sentirse completamente satisfechos y 61 satisfechos, esto indica que el 84.8% de los encuestados estuvo de acuerdo con los criterios de evaluación establecidos al inicio del curso, en tanto que el 15.2% indicó neutralidad e insatisfacción, en muchas ocasiones los alumnos que no asisten a clases o no aprueban el curso son los que dan respuestas de este tipo. Es importante recalcar que al ser materias prácticas las evaluaciones se centran más en proyectos de investigación, que en exámenes.

Adicionalmente, a los encuestados se les cuestionó sobre si creían que los materiales didácticos fueron interesantes, compresibles y promoventes de la adquisición de conocimiento (**Figura 3**), 133 alumnos respondieron de forma positiva, completamente satisfechos y satisfechos, esto es el 80.6% de los participantes. Mientras que el 13.9% (23 alumnos) indicó sentirse ni satisfecho, ni insatisfecho, más bien neutral, finalmente un mínimo porcentaje del 5.8% indico insatisfacción.

 ISSN: 2007 8102



Figura 2. Grado de satisfacción de los alumnos ante los objetivos del curso, contenidos y criterios de evaluación.

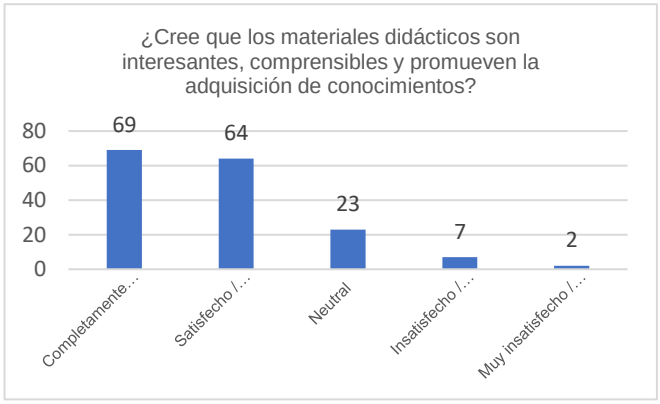


Figura 3. Grado de satisfacción con los materiales didácticos empleados.

En la **Figura 4**, se muestran las respuestas referentes a si las instrucciones para la realización de actividades y/o tareas asignadas fueron comprensibles, 144 alumnos, es decir, el 87.3% de los alumnos manifestaron una percepción de satisfacción sobre las actividades. Por otro lado, 18 alumnos (10.9 %) mostraron una actitud neutral y 9 de insatisfacción (1.8%). Posteriormente, se les cuestiono a los alumnos sobre el grado de dificultad de los contenidos, específicamente, si estos fueron adecuados a los objetivos de aprendizaje del curso, con base a la **Figura 5** el 82.4% de alumnos (83 completamente satisfechos y 91 satisfechos) consideraron que el grado de dificultad de los ejemplos y trabajos generaron un aprendizaje en ellos. El 13.9% no especificó concretamente si los contenidos fueron provechosos, pero el 3.7% estableció que no generaron un aprendizaje en ellos.

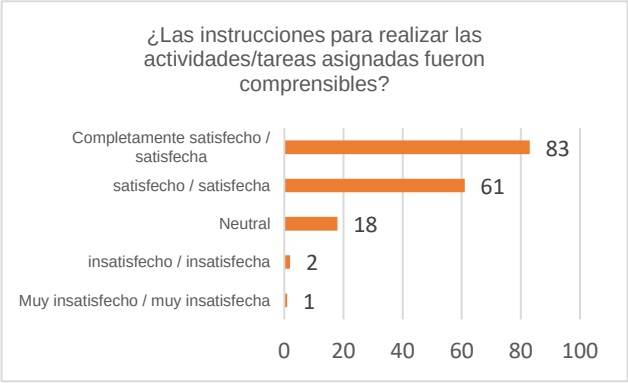


Figura 4. Grado de satisfacción respecto a las actividades asignadas.

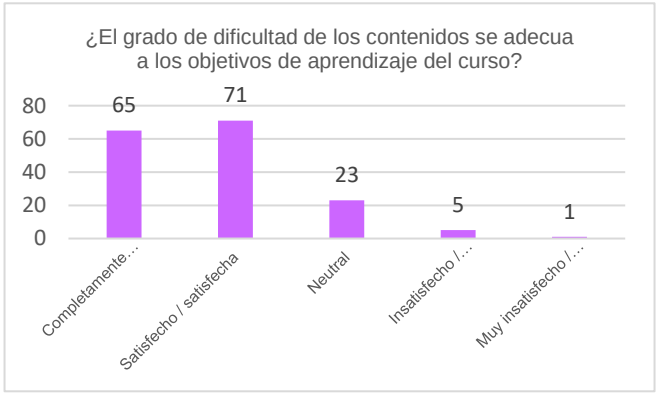


Figura 5. Grado de dificultad de los contenidos empleados respecto a los objetivos de aprendizaje del curso.

En la **Figura 6** se observan las respuestas obtenidas ante el cuestionamiento de si los alumnos consideran que los ejercicios realizados en clase promueven la reflexión, hacer preguntas y encontrar soluciones, 124 respondieron sentirse completamente satisfechos y 9 satisfechos, es decir, 80.6% indicaron satisfacción. En cambio, 16.3% manifestó neutralidad (27 alumnos), ni satisfacción, ni insatisfacción respecto a los ejercicios resueltos en clase; y 5 alumnos, 3.1% manifestaron que los ejercicios no promovieron su reflexión y autoaprendizaje. Adicionalmente, se les cuestionó acerca de precisión y claridad ante la retroalimentación proporcionada por los docentes, el 81.2% de alumnos reconocieron sentirse satisfechos (69 completamente satisfechos y 65 satisfechos), el 15.1% manifestó neutralidad y el 3.7% (2 insatisfechos y 3 muy insatisfechos) indicó insatisfacción ante la retroalimentación de sus actividades y/o tareas (**Figura 7**).

 ISSN: 2007 8102

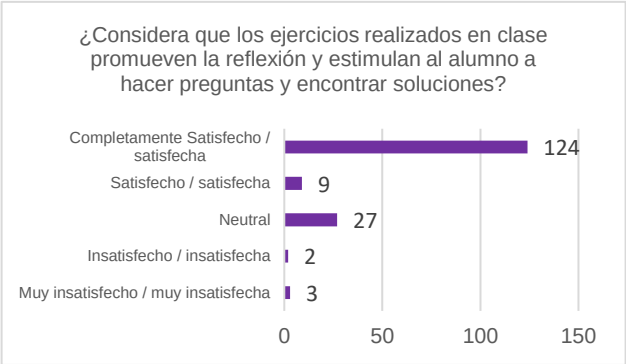


Figura 6. Grado de satisfacción de los ejercicios realizados en clase.

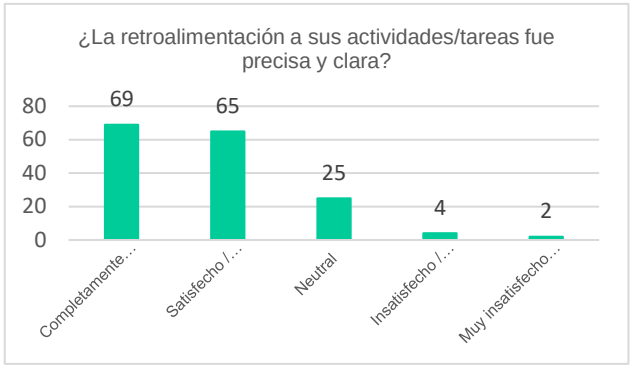


Figura 7. Grado de satisfacción ante la retroalimentación proporcionada por el docente.

Por lo que se refiere a el punto de vista de los estudiantes respecto a las evaluaciones, se les preguntó si esta fue justa, oportuna y pertinente, en la **Figura 8** se presentan las respuestas, 73 alumnos opinaron sentirse completamente satisfechos y 63 satisfechos, ambos grupos representan el 82.4% de satisfacción, esto quiere decir que los alumnos consideraron que las evaluaciones y calificaciones fueron justas. Contrariamente, 10 alumnos, el 6% de los encuestados indicaron sentirse muy insatisfechos e insatisfechos, esto puede deberse a que la encuesta se aplicó al final de curso y dentro de este grupo pueden encontrarse alumnos que reprobaron o no obtuvieron la calificación que esperaban; finalmente, el 11.6% ni satisfechos, ni insatisfechos. En la **Figura 9** se expone la opinión de los estudiantes respecto a si sus solicitudes, dudas o aclaraciones fueron atendidas oportunamente por los docentes, 92 son completamente satisfecho y 54 satisfecho, ambos valores representan el 88.5% de satisfacción, es decir, los participantes consideran que la atención de los docentes a sus dudas fue a la brevedad posible. El 9.1% exteriorizó una actitud neutral (15 alumnos) y el 2.4% indico insatisfacción (1 muy insatisfecho y 3 insatisfecho).

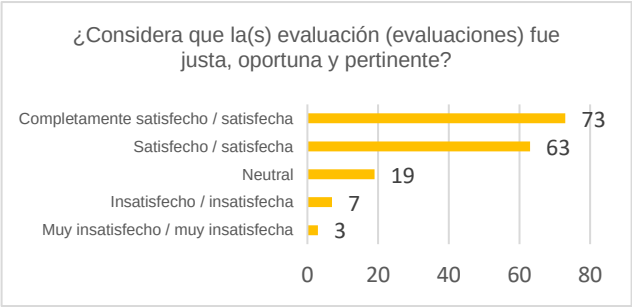


Figura 8. Grado de satisfacción respecto a la pertinencia de las evaluaciones.

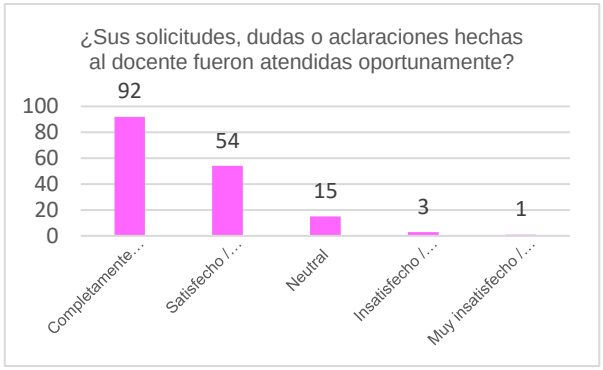


Figura 9. Grado de satisfacción ante la atención de dudas.

Por otra parte, en la **Figura 10** se muestran las respuestas ante el cumplimiento de las expectativas del curso, 77 alumnos respondieron completa satisfacción y 62 satisfacción, el 84.2% de los estudiantes encuestados consideraron que el curso cumplió con sus expectativas, 12.1 % respondieron neutramente, ni satisfechos, ni insatisfechos. En contraste, 2 expresaron sentirse muy insatisfechos y 4 insatisfechos, esto es el 3.7% de insatisfacción del total de alumnos encuestados; nuevamente, este porcentaje podría asociarse a que los alumnos no aprobaron la asignatura o no estuvieron conformes con la calificación que obtuvieron. También se les cuestionó si aprendieron algún software o programa de interés, el 87.9% de los alumnos, 145 respuestas positivas, respondieron que adquirieron nuevas habilidades dado que usaron softwares en sus clases. Mientras que 20 alumnos, 12.1% respondieron negativamente, recordemos que esta encuesta fue respondida por alumnos que tomaron clases presenciales y virtuales, por lo tanto, este porcentaje podría estar relacionado a las dificultades

 ISSN: 2007 8102

que tuvieron los alumnos ante la instalación, puesta en marcha y uso de los softwares antes, durante y después de la clase, situación que pudo repercutir en su aprovechamiento y entrega de trabajos (**Figura 11**).

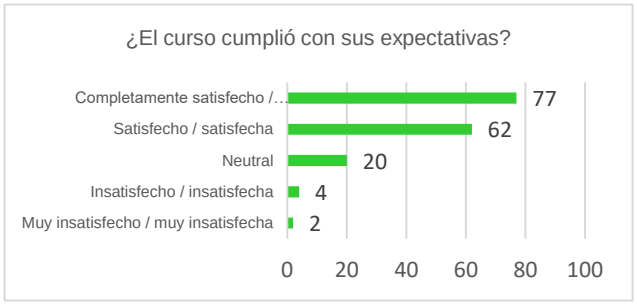


Figura 10. Grado de satisfacción respecto al cumplimiento de expectativas del curso.

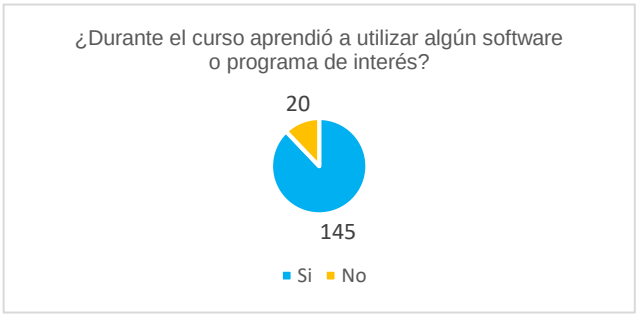


Figura 11. Grado de satisfacción respecto aprendizaje de un software o programa.

En la **Figura 12,** se representa la opinión de los estudiantes respecto la utilidad de lo aprendido para aplicarlo en asignaturas consecuentes, 113 alumnos respondieron que les será de utilidad, es decir, el 68.5% de los encuestados consideran que los conocimientos y habilidades adquiridas les serán de utilidad en materias posteriores. En cambio, las otras respuestas muestran que el 27.9% respondió que probablemente les servirá y el 3.6% opinó que no les será de utilidad. Asimismo, en la **Figura 13**, se les preguntó si lo aprendido en el curso les será útil en su desarrollo profesional, 90 alumnos, el 54.5% de las opiniones arrojan que efectivamente lo aprendido podría contribuir a su desarrollo profesional, el 37.6% indicó que quizá y el 7.9% indico que no creen utilizarlo a futuro.

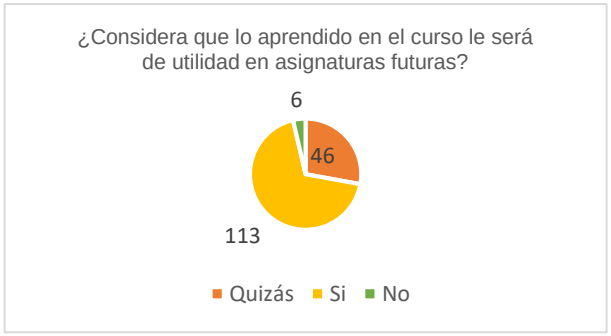


Figura 12. Utilidad de lo aprendido en asignaturas futuras.

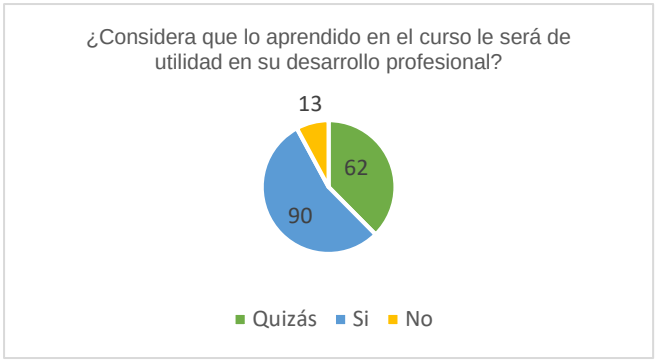


Figura 13. Utilidad de lo aprendido a nivel profesional.

Por último, se les preguntó si consideran que las instalaciones y equipos fueron adecuados para alcanzar los objetivos de enseñanza aprendizaje, el 44.8% de los estudiantes consideraron que las instalaciones físicas fueron adecuadas, pero el 26.1% consideran que no fueron adecuadas. Mientras que el 29.1% opinaron que las condiciones instalaciones no impactaron en su aprendizaje (**Figura 14**). En la **Figura 15** se muestran los problemas con el equipo e instalaciones durante el ciclo escolar, donde se muestra que el 78.2% de los estudiantes reportaron que no pudieron encender las computadoras, 30.3% que los monitores no funcionaron, 12.1% que sus teclados fallaron y 9.7% que su ratón no servía, 40.6% informaron que se tuvo una señal débil del internet o nula, y 17.6% de ellos comentó que en ocasiones no tuvieron una silla para sentarse.

 ISSN: 2007 8102

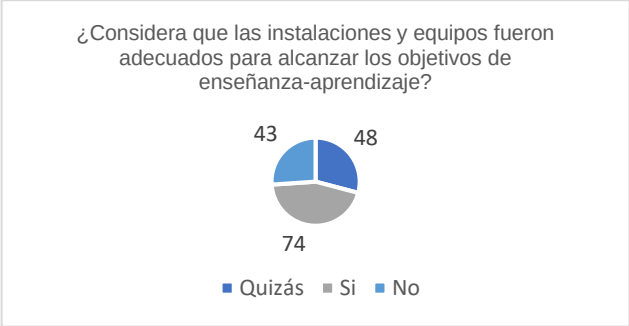


Figura 14. Grado de satisfacción respecto a instalaciones y equipos.

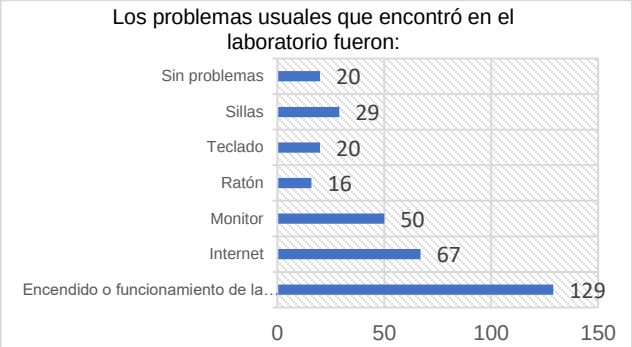


Figura 15. Instalaciones y equipos que presentaron fallas.

Trabajo a futuro

En los resultados se observa una mejora de un poco más de medio punto porcentual en la cantidad de estudiantes aprobados este primer intento y registro formal de los procesos, el cual puede indicar que dicha forma de trabajo ya se llevaba a cabo de forma no consciente. Lo que nos lleva a seguir implementando la metodología y registro de resultados más semestres con el objetivo de aumentar el nivel de aprovechamiento en un 90%; para lo anterior se planea implementar una gama más amplia de ejercicios aplicados a su área de desarrollo profesional.

Conclusiones

La educación se puede considerar como una maquinaria formada por un conjunto de engranes que pudieran ser los estudiantes, docentes, la familia y la comunidad cuyo objetivo es el desarrollo de los países, la UNESCO la define como: “La educación es un derecho humano fundamental y un bien público mundial con el poder de transformar la vida de las personas, las comunidades y el planeta para mejorarlo a lo largo de las generaciones” [6]. Por lo cual es importante que los cuatro actores trabajen en sincronía.

Con los nuevos paradigmas educativos el actor principal es el educando y el trabajo del docente se transforma en facilitar métodos de enseñanza-aprendizaje para poder generar aprendizaje significativo en el estudiante, lo anterior lleva a que el docente sea más dedicado en la preparación de sus clases. [7]

Este trabajo muestra a través del aumento en 0.5% de la cantidad de estudiantes aprobados entre un semestre y otro, que la organización y planeación de procesos y métodos de enseñanza-aprendizaje permiten un mayor aprovechamiento en los aprendizajes. Se destaca también el trabajo en equipo entre docentes donde la colaboración y el compartir experiencias permiten enriquecer y ampliar el conocimiento entre los mismos.

El método de ABP aplicado en muchos de los ejercicios y tareas se utilizó con la finalidad de llevar a los estudiantes a trabajar situaciones tangibles y no solo teóricos además de que cumple con los principios didácticos de la vinculación de la teoría con la práctica y la vinculación de lo concreto con lo abstracto respetando en todo momento el plan curricular y el modelo educativo de la institución. [8]

Referencias

[1] M. C. Lozano-Ramírez, «El aprendizaje basado en problemas en estudiantes de pregrado,» *Tendencias Pedagógicas,* vol. 37, pp. 90-103, 2021.

[2] A. Hurtado Palomino, W. Merma Valverde, F. d. M. Ccorisapra Quintana y Y. Lazo Cerón, «Estrategias de enseñanza docente en la satisfacción académica de los estudiantes universitarios,» *Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo,* vol. 12, nº 3, pp. 217-228, 2021.

 ISSN: 2007 8102

[3] H. Ruvalcaba Flores, «Los principios didácticos en la enseñanza,» 23 09 2022. [En línea]. Available: https://www.unap.cl/prontus_unap/site/docs/20111013/20111013115255/los_principios_did_cticos_en_la_ense_anza.pdf.

[4] Y. Cano de la Cruz, Didáctica general. Auna aproximación a su estudio, Santo Domingo, Ecuador: Centro de Publicaciones de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2020.

[5] W. Gonzalez Hernández, «Didactic principles: A proposal from the theory of subjectivity,» *Culture & Psychology,* vol. 27, pp. 632-644, 2021.

[6] UNESCO, «El trabajo de la UNESCO en el ámbito de la educación,» UNESCO, [En línea]. Available: https://www.unesco.org/es/education/action#:~:text=La%20educaci%C3%B3n%20es%20un%20derecho%20humano%20fundamental%20y%20un%20bien,lo%20largo%20de%20las%20generaciones. [Último acceso: 24 02 2023].

[7] C. Delgado, «Estrategias didácticas para fortalecer el pensamiento creativo en el aula. Un estudio meta-analítico,» *Innova Educación ,* vol. 4, nº 1, pp. 51-64, 2022.

[8] B. E. Arias Vanegas, Principios didácticos para la formación profesional en la educación superior, Medellín, Colombia: Fundación Universitaria María Cano, 2022.

ISSN: 2007 8102

Desarrollo de competencias profesionales mediante el programa de dualidad y residencias en vinculación con empresas

Mtra. Patricia Ochoa Trujillo[1], Dra. Luisa Angélica Viñas Meza[2], Mtro. Emmanuel Vázquez Benito[3], Mtro. Edgar Degante Aguilar[4]*

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II S/N 73960 Teziutlán, Pue, México

[1] patricia.ot@teziutlan.tecnm.mx, [2] luisa.vm@teziutlan.tecnm.mx, [3] emmanuel.vb@teziutlan.tecnm.mx, [4] edgar.da@teziutlan.tecnm.mx

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

La finalidad de este trabajo de investigación es mostrar los resultados obtenidos al haber visto el impacto que causa la vinculación con Instituciones o empresas que permiten que el alumno residente desarrolle proyectos de desarrollo tecnológico, que puedan apoyar e impulsar el logro de sus competencias profesionales durante el último semestre de la carrera de Ingeniería Informática dentro de cualquier plantel educativo a nivel superior. Esto con la finalidad de exhortar a estudiantes a lograr que trabajen de acuerdo a su área de adscripción dentro de una carrera universitaria, mejorando los procesos manuales haciendo uso de proyectos de desarrollo tecnológico, apoyados de dos partes sumamente importantes, asesor Interno y externo, principalmente llevando un seguimiento dentro de su residencia profesional, mediante convenios de colaboración, mismos que son de suma importancia dentro del ámbito educativo.

***Palabras clave**: (Vinculación, Competencias, Practicas)*

Abstract

The purpose of this research paper is to show the results obtained by having seen the impact caused by the relationship with Institutions or Companies that allow the Resident student to develop Technological Development Projects, which can support and promote the achievement of their professional skills during the last semester of the Computer Engineering career within any educational institution at a higher level. This with the purpose of exhorting students to achieve that they work according to their area of affiliation within a university career, improving manual processes making use of Technological Development Projects, supported by two extremely important parties, Internal and external advisors, mainly Carrying out a follow-up within their professional residence, through collaboration agreements, which are of the utmost importance within the educational field.

***Keywords:** (linkage, competence, practices)*

Introducción

La importancia de la vinculación de la Empresa- Institución, radica en generar los Programas de Prácticas profesionales que se establecen mediante el convenio de participación para la marcha del mismo apoyado de las entidades económicas para otorgar formalidad a las áreas vinculadas. Es así que el convenio que se firma dentro del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y las unidades económicas, permite realizar un análisis del entorno donde se especifican los lineamientos, acuerdos, compromisos y deberes de cada una de las partes

ISSN: 2007 8102

que lo integran, la suma de tareas que se deben de guiar en el mismo y la duración de 500 horas mismas donde se da seguimiento mensual de los proyectos desarrollados por alumnos de noveno semestre, guiados y evaluados por asesores internos y externos, mismos que permitirán desarrollar sus competencias profesionales específicas de la carrera de Ingeniería Informática. [1]

El formato del contrato autorizado por el TecNM, es el entorno de referencia como guía dentro del Modelo Dual y Residencias profesionales. La cual está acompañada de reuniones de trabajo entre el Instituto y varias empresas como ALKIMIA, SMARTSOFT, KETER, CONDUSEF, entre otras, para dar a conocer los proyectos informáticos y todo lo realizado por estudiantes aceptados y una vez culminados puedan hacer una presentación en el evento día de emprendimiento, donde los estudiantes conocen y pueden apreciar los trabajos terminados en cada una de las unidades económicas que se ejecutarán referente al Programa. Posteriormente a la gestión se lleva a cabo el ajuste, el cual parte de la firma del contrato por las partes implicadas (Institutos y entidades económicas), manteniendo cada una copia original del mismo. Por otra parte, para formalizar la vinculación también se recomienda que se rubrique un acuerdo de aprendizaje entre Instituto Tecnológico, la unidad económica y el estudiante, en el que se formalizará la generalidad del plan de aprendizaje que formará al alumno.

Marco teórico

Competencia Profesional

Es la forma del intelecto que articula en su composición y función una forma de considerar, el uso de inteligencia formal, y el grupo de bienes, técnicas y posturas de modo beneficioso y funcional, en tanto que la carrera la conceptualizamos como una práctica colectiva que se distingue por una consecución de actividades que se trasladan con fundamento en el grupo de conocimientos especializados, posibilidades del intelecto y de actitud que demandan el convenio personal y la seriedad en base de quien la realiza, de ejercer tomando en consideración los efectos comunes resultado de su prontitud, dado que pasará de establecer un modo de vida. La Institución conforma experiencias profesionales preeminentes que emergen, van cambiando, se crean o desaparecen en conexión con la historia y la directriz cultural e inicia en la búsqueda de propuestas innovadoras de preparación en la profesión. Como lo es el desarrollo de habilidades y competencias profesionales de acuerdo a la Figura1, que se muestra a continuación. [2]



Figura 1. Competencias profesionales del egresado del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos

 ISSN: 2007 8102

Conexión de enseñanza (Alumno-Profesor)

Proceso educativo-formativo se prepara y acontece un encuentro recíproco elemental(interrelación) entre dos individuos: el alumno y el profesor; son individuos psíquicos que conducen un aprendizaje anterior, de índole positiva, y son intérpretes y participes en su entorno y su momento, lo que repercutirá a decidir en el saber ser de cada uno en su interrelación. A este modelo de cambio de conocimiento, experiencia y actitud que se decreta entre los mismos, en el aspecto del académico, se conoce como relación didáctica y suele ser concreta, permanente y constante en cuanto a su duración. [3]

En el **Modelo Educativo para el Siglo XXI: Formación y desarrollo de competencias profesionales, lo principal es el enlace de los dos individuos importantes**:

La conexión de enseñanza es de vital relevancia para que se logre de forma inmejorable el proceso educación-formación, ya que en ella participan muchas interrelaciones que componen el proceso de ámbito académico, social, cultural y deontológico que precisará el aprendizaje profesional del egresado en su contexto. Se muestran las más relevantes:

• Se enuncia, examina y aprecia el potencial de conocimiento del alumno, la conducción del profesor apoyado en su experiencia competitiva y académica, así como los fines y posibilidades de los mismos.

• Se ayuda el conocimiento integro y el trabajo cooperativo del alumno; la investigación y la propiedad intelectual; la escasez, beneficio y grado por indagar; la decisión y el ánimo de una persona emprendedora. [4]

• Se favorece el respeto solidario, la libertad, la pureza, el compromiso, la sencillez y la empatía, como punto de partida para organizar el contexto preciso dentro del proceso de aprender, es así como se forman las circunstancias aptas para la mentoría al alumno.

• Se toma lo trascendente en cuanto a la valoración de acuerdo a una acción perpetua, actual en el proceso de conocimiento-aprendizaje, para descubrir terrenos de oportunidad, reevaluar y orientar la secuencia de educación-formación.

• Parte de los planes de estudio ya que se ha mejorado el aspecto cultural y laboral del alumno y del asesor.

• Se usan las técnicas de la información y comunicación permitiendo recabar, procesar, distribuir información y formar el conocimiento, por tanto, trabajar en el aula y generar un ambiente de relación y cambio estable y de manera oportuno.

• Se percibe al profesor como un intermediario de lo aprendido, toda vez que debe definir con exactitud los requerimientos de orientación y retroalimentación de acuerdo al Modelo Educativo para el Siglo XXI: Formación y Desarrollo de Competencias Profesionales del alumno, organizando las estrategias didácticas para que éste se encuentre en ininterrumpido ejercicio intelectual y profesional. [6]

El Asesor Interno

Es un docente de algún plantel educativo, que es guía del estudiante en su titulación Integral, participa en coordinación con el alumno el contenido del Informe de residencia a entregar, sugiere mejoras al proyecto de Residencia, así como la presentación del mismo de acuerdo al perfil del estudiante, de acuerdo. [2]

El mentor externo

 ISSN: 2007 8102

Denominado en diferentes contextos como asesor, como un colaborador competente, dedicado con la educación de los alumnos a su compromiso y responsable de la enseñanza a través de buenas prácticas. Sus competencias integran tanto habilidades de la formación como el desarrollo personal del individuo residente. Conserva un enlace con éste y lo apoya a conocer y a promover su compromiso y su interés del trabajo en pares, además de resolver problemas con validez efectiva, haciéndolo competente para la toma oportuna de decisiones. [3]

Alumno (Residente)

Son alumnos matriculados en el plan de educación del Instituto que logran la culminación del aprendizaje básico entre la Plantel Educativo y la empresa. [3]

Convenios

Se conocen como alianzas de dos o más instancias, cuya finalidad es la establecimiento, cesión, alteración o perdida de deberes, que originan o trasladan deberes o derechos. [4]

Valoración

Se le denomina así al proceso que el docente realiza mediante el manejo de diversos instrumentos de evaluación de competencias alcanzadas por el alumno; denominado juicio ordenado que contiene las competencias de tipo conceptual, procedimental, y actitudinal, misma que integra la elaboración de la secuencia interrelacionada y sistemática de forma lógica; es de estudio intacto ya que se realiza de forma cotidiana y está fundamentada en la demostración y discrepancia de todos los efectos de conocimiento logrados en la actividad educacional diaria, con las capacidades profesionales trazadas de cada materia. [5]

Evidencia

Es la consecuencia de la acción de aprender formada por el alumno. Una evidencia puede ser: un ensayo, una aplicación web, un informe, un reporte de laboratorio, exámenes, mapa conceptual, mapa mental, prototipo, etc. [4]

Metodología

En base a lo expuesto el resultado de prácticas profesionales como formación para alcanzar el desarrollo de las habilidades permitió el desarrollo de la siguiente metodología.

Hipótesis de Investigación

Los convenios de vinculación de Instituciones Superiores, mediante un Programa de Residencia profesional, posibilitan que el estudiante inscrito en el ITST desarrolle sus habilidades y competencias profesionales a través de las prácticas profesionales en cualquier empresa pública o privada".

El resultado de la investigación tiende a ser, no experimental, debido a que no se cambian variables, descriptiva al analizar los pasos desde su postulación, análisis del entorno, viabilidad para culminación del Programa de, mismo que llevó a la firma con acuerdos en un convenio de colaboración para validación del mismo. [6]

Se hace uso de la técnica de sesión de trabajo virtual ya que, se realizaron diversas reuniones de trabajo para acotar y documentar alcances del proyecto de Residencia en la Empresa CONDUSEF, SMARTSOFT, KETER, entre otras.

Es por ello, que se recurre a una investigación de tipo cuantitativa, al enunciar números de alumnos participantes y proyectos dentro del programa de residencia pertenecientes al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y que hasta el momento se sigue trabajando dentro del Programa en mención.

 ISSN: 2007 8102

Resulta ser de tipo transversal, ya que, no se modifican variables tales como, duración en horas del programa, tipos de proyectos, actividades, entre otros aspectos.

Se maneja un muestreo de 22 estudiantes que participaron en proyectos de desarrollo tecnológico en los últimos periodos escolares (2022-2023), que han mostrado buenos resultados, en aspectos actitudinales, procedimentales fuera del ámbito académico. Actualmente participan 3 estudiantes hombres y una mujer, mismos que desde el Modelo dual han demostrado compromiso y responsabilidad para con la empresa, siendo seleccionados para realizar prácticas profesionales hasta el momento y llevando un seguimiento mensual por las dos partes, asesores externos (CONSUSEF y mentores internos (Personal docente laborando en el ITST, que imparte materias frente a grupo en la carrera de Ingeniería Informática y fungen como mentores internos de Proyectos de Residencia).

A continuación, se muestra en la Tabla1 algunos de los proyectos de residencia en vinculación con convenios de colaboración, mismos que destacan por su contratación en las mismas:

Tabla 1. Alumnos participantes en Residencia utilizando convenios con empresas

No.	Alumno	Proyecto de Residencia	Contratado	Empresa
1	JAIME ALDAIR H. R.	"Diseño e implementación de un sistema informático para gestionar proyectos en el área de Informática de la empresa SmartSoft America Business Applications S.A. de C.V."	Si	SmartSoft America Business Applications S.A. de C.V.
2	ALFREDO S. S.	Desarrollo de un sistema a la medida en la empresa SmartSoft America BA. para una de sus empresas.	Si	SmartSoft America Business Applications S.A. de C.V.
3	MARTIN H.E.	Desarrollo e Implementación de módulos (catálogos y chequera) para la administración de pagos del H. Ayuntamiento de San Martín Texmelucan del Estado de Puebla.	Si	SmartSoft America Business Applications S.A. de C.V.
4	JAVIER A. C.	Aplicación Web de Parquímetro para apoyo en la administración de la ciudad de Puebla	Si	SmartSoft America Business Applications S.A. de C.V.
5	CANDIDO M.B.	Desarrollo de un sistema para mejorar la gestión y el control de pagos del Municipio de San Martín Texmelucan.	Si	SmartSoft America Business Applications S.A. de C.V.
6	ARISBETT A.A.	Desarrollo de nueva plataforma mediante software libre para el diplomado en educación financiera de CONDUSEF.	Si	CONDUSEF
7	EDUARDO A.M.	Sistema de registro y control para cursos y planes de capacitación en la DTIC.	En proceso	CONDUSEF
8	CARLOS MANUEL A.T.	Sistema de registro para controles mínimos de seguridad de acuerdo a estándares técnicos de la CEDN.	En proceso	CONDUSEF
9	ARIADNA R.H.	Diseño de un sistema de gestión para el cumplimiento del MGSI.	En proceso	CONDUSEF
10	HAROLD DE JESÚS V.O.	Diseño y desarrollo de plataforma de inventario documental para aplicativos en sistemas.	En proceso	CONDUSEF

Resultados

Es relevante comentar que la población de alumnos en el Programa de convenios de Residencia es de: 280, mismos que en el periodo 2022, terminaron 6, en el año actual 2023, se cuenta con la participación de 4

 ISSN: 2007 8102

estudiantes, mismos que después de haber concluido dicho programa, desarrollando competencias específicas, sistémicas e instrumentales dentro de las empresas antes citadas firmando, su contrato de servicios.

Es un programa que ha impactado de manera positiva dentro del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, por los beneficios que ha aportado a la Institución, en relación a tareas asignadas a lo largo del Programa Dual y del proyecto de residencia, se garantiza que alumnos del ITST, puedan capacitarse en herramientas innovadoras, conozcan y aprendan a trabajar en equipo con otras escuelas a nivel superior, colaborando en el desarrollo de proyectos de software, aplicaciones móviles, entre otros sistemas utilizando diversas herramientas de desarrollo y demostrando un comportamiento, puntual, ético, con sentido de formalidad pero sobre todo logrando desarrollar sus competencias profesionales, es por ello que logran ser contratados por su desatada participación en las empresas como:

SmartSoft y CONDUSEF (México DF), esto ha permitido que su experiencia les permita aprender nuevas tecnologías y formas de trabajo en proyectos reales e implementados a diferentes Instituciones y empresas a nivel gubernamental y privado logrando el perfil de egreso del Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, de la carrera de Ingeniería Informática:

- Formular, desarrollar y administrar el desarrollo de proyectos de software para lograr ser competitivos en las organizaciones, todo apegado a normas de calidad vigentes.
- Aplicar artefactos computacionales emergentes para apoyar en los procesos de cualquier organización.
- Diseñar e implementar almacenes de Datos para el concentrar, recuperación, administrar y compartir la información en las organizaciones.
- Se desempeñaron profesionalmente bajo un sentido ético, legal, cuidando así la diversidad y conservando el medio ambiente.
- Participaron y dirigieron equipos de trabajo con grupos multidisciplinarios en la construcción de proyectos que requirieron soluciones emergentes utilizando las tecnologías de la información

Se tiene la garantía de que, a lo largo del desarrollo del programa de residencia durante el tiempo estipulado dentro de la empresa, han realizado su trabajó bajo un acuerdo de cooperación, que incluyó preparación de los residentes durante un año, aprendizaje de tecnologías innovadoras de modelado, herramientas para el desarrollo de aplicaciones, claridad en cuanto a la especificación de requerimientos solicitados por las diferentes empresas públicas y privadas.

Acorde a lo estipulado dentro de la hipótesis, se evidencian los resultados obtenidos desde el ingreso de los residentes a las empresas en convenio de colaboración en cuanto al programa Dual y Residencia hasta su contratación por la empresa SmartSoft y CONDUSEF (México, DF).

La mayoría de los estudiantes participantes dentro del proyecto de residencia han sido contratados actualmente los que se encuentran en proceso participaron también en el Modelo de Educación Dual, mostrando conocimientos y buena disposición, razón por la cual continúan su proyecto de Residencia de manera exitosa y con un avance significativo ya que se liderea por la empresa CONDUSEF los alcances y requerimientos de manera muy clara, mismos que fueron atendidos de manera oportuna para la asignación de proyectos a cada uno de los alumnos que actualmente participan, así como la percepción que se tiene de su desarrollo académico durante las materias evaluadas a lo largo de la carrera de Informática del ITST.

Es importante mencionar que dentro su formación profesional, han recibido por parte de las empresas vinculadas una capacitación previa de las diversas tecnologías que manejan en los diferentes proyectos que trabajan, logrando así el desempeño óptimo en cuanto al trabajo asignado.

 ISSN: 2007 8102

A continuación, se muestra unas interfaces de uno de los proyectos de residencia mismo que consistió en una plataforma mediante software libre para el diplomado en educación financiera de CONDUSEF y se muestran dentro de las figuras 2,3 4 y 5.

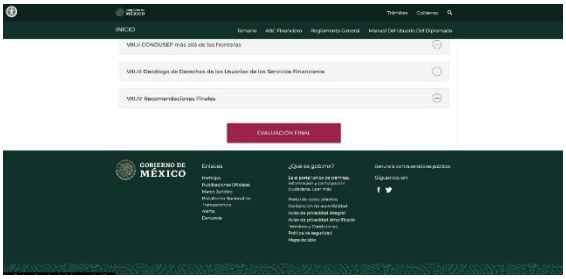


Figura 2. Pantalla de sesión de la Plataforma del Diplomado CONDUSEF.



Figura 3. Pantalla de finalización de módulos.

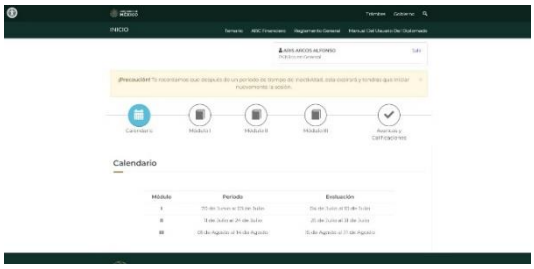


Figura 4. Pantalla de calendario y activación de examen.

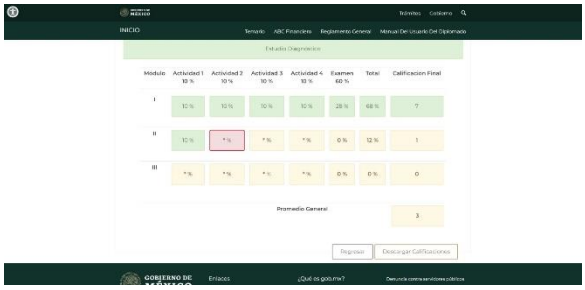


Figura 5. Pantalla de Avance de actividades y calificaciones.

Trabajo a futuro

Se observó que los sistemas que se realizan a Instituciones Gubernamentales o privadas son de gran ayuda en la concentración de bancos de información tanto de personal, capacitación, entre otros, así como la posibilidad de concentrar información que más adelante sirva a otras áreas para una correcta toma de decisiones haciendo uso de Herramientas tecnológicas que permitan minimizar el esfuerzo de capacitación para concentrar o atender a mayor capacidad de empleados en una empresa. De igual manera se logró un menor tiempo en la matriculación de participantes, revisión y seguimiento de actividades atendiendo de manera oportuna necesidades reales para cualquier nivel en una empresa.

Se sigue desarrollando aplicaciones web y móviles, que facilitarán los procesos organizaciones al interior de las Instituciones o empresas de cualquier giro social, logrando con este tipo de prácticas profesionales(residencias) que las áreas de TIC y los convenios de colaboración sean el factor principal para cualquier Institución a nivel educativo.

Conclusiones

Es importante destacar que la alianza en la cooperación para el Programa de Residencia Profesional entre la Institución Educativa-Estudiante-Empresa apoya de manera exitosa al logro de las competencias profesionales adquiridas durante todo el trayecto académico para esta generación ya que se tiene un resultado exitoso, debido a que se abren oportunidades de trabajo para estudiantes que han participado.

En resumen, se presentó un informe de residencia y de acuerdo con la calidad del trabajo que realizó, se decidió la titulación por la opción tesis, mismas que son revisadas por tres docentes de la academia para reforzar aún más el trabajo y se tenga un mejor currículo y experiencia por parte de los participantes, es importante destacar que se han tenido todas las facilidades en cuanto a capacitación con alumnos del plantel, cursos de certificación presencial y virtual, alumnos prestantes en servicio social, entre otras ventajas. Así mismo se tiene comunicación de cerca vía remota con asesores externos de las empresas mencionadas quienes juegan el papel como asesores a lo largo de su estadía en la Empresa.

Hoy en día los convenios de colaboración, son de gran apoyo en todas las Empresas o Instituciones educativas, ya que ayudan a que estudiantes culminen y tengan mejores oportunidades dentro de su último semestre de carrera, logando destacar y realizarse de manera profesional y agregar valor a las empresas con su aporte profesional.

Referencias

[1] TecNM | Campus Acapulco. Accedido el 4 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://acapulco.tecnm.mx/wp-content/uploads/2022/05/MEDTecNM_2022.pdf

[2] G. M. C. G. W. Ramsey, « “Aprendiendo a trabajar. Una evaluación del Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica y del Sistema de Universidades Tecnológicas de México",» 2018.

[3] S. J. y. G. R. Durán P., «Guía de formación Dual,» España, Canara de comercio, Ministererio de Educación, Cultura y Deporte y Fondo Social Europeo, 2018.

[4] “modeloeducativo.pdf”. Accedido el 5 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: http://www.ggest.gob.mx

[5] A. Casanova, de *La evaluación educativa, escuela básica*, México, D.F., SEP- Muralla, 2017.

[6] M. R. H. a. C. P. Mendoza, de *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, México, McGraw-Hill, 2018.

[7] “ITESME|Instituto TecnolÃ³gico Superior de MulegÃ©”. https://mulege.tecnm.mx/pdf/documentos/lineamientos/Cap%2012%20Operaci%C3%B3n%20y%20Acreditaci%C3%B3n%20de%20Residencias%20Profesionales.pdf. Accedido el 5 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: https://mulege.tecnm.mx

 ISSN: 2007 8102

Biosíntesis de nanopartículas de plata como propuesta pedagógica para la enseñanza de la biotecnología

Jorge Alberto Granados Olvera[1], Erika Cristina Cruz Montes de Oca[2], Karelia Liliana Rangel Ruiz[1], Ivan Arroyo Ordoñez[1], Yuri Osmil Anaya Badillo[1]*

[1]Universidad Politécnica de Cuautitlán Izcalli Lago de Guadalupe 1, Lomas de Cuautitlán, 54720 Cuautitlán Izcalli, Méx.
[2]Universidad Tecnológica Fidel Velázquez Av Emiliano Zapata S/N, El Trafico, 54400 Villa Nicolás Romero, Méx.
** alberto_nanotecnologia@hotmail.com*

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

Con el auge de la nanociencia y la biotecnología la Universidad Politécnica de Cuautitlán Izcalli inició cursos en la formación de la Ingeniería en Biotecnología en el 2013. Como parte del Mapa Curricular se presenta en el 9°cuatrimestre la asignatura de Mejora de bioprocesos en la cual, se pretende que los alumnos se involucren en formular proyectos biotecnológicos de innovación considerando protocolos de investigación, técnicas y equipamiento de análisis, uso de modelos, recursos y tratamiento de residuos, así como técnicas de gestión y estrategias de vinculación, para generar nuevos procesos y productos biotecnológicos que impulsen el desarrollo sostenible del entorno.

Derivado de lo anterior el presente trabajo propone una Biosíntesis de nanopartículas de plata diseñado con insumos disponibles en cualquier laboratorio de docencia como una estrategia que dé significado al aprendizaje de desarrollo sustentable.

La presente propuesta involucra la experiencia de laboratorio y los instrumentos de evaluación conforme al Modelo Educativo por Competencias.

***Palabras clave**: Nanopartículas de plata, Enseñanza, Biotecnología, Competencias.*

Abstract

With the rise of nanoscience and biotechnology, the Universidad Politécnica de Cuautitlán Izcalli started courses in Biotechnology Engineering in 2013. As part of the Curricular Map, the subject of Improvement of Bioprocesses is presented in the 9th four-month term, in which students are expected to get involved in formulating innovative biotechnological projects considering research protocols, analysis techniques and equipment, use of models, resources and waste treatment, as well as management techniques and linkage strategies, to generate new biotechnological processes and products that promote sustainable development of the environment.

Thus, the present work proposes a Biosynthesis of silver nanoparticles designed with supplies available in any teaching laboratory as a strategy that gives meaning to the learning of sustainable development.

This proposal involves laboratory experience and evaluation instruments according to the Educational Model by Competences.

.

***Key words**: Silver nanoparticles, Education, Biotechnology, Competences.*

ISSN: 2007 8102

Introducción

Este trabajo presenta una experiencia de laboratorio de docencia como un método sencillo de síntesis de nanopartículas de plata diseñado con reactivos disponibles en cualquier laboratorio. A partir de los resultados de este experimento el alumno puede reconocer que la plata en esta escala presenta diferente coloración a la conocida comúnmente en escala macroscópica, este cambio como consecuencia de un efecto de la resonancia del plasmón de superficie en nanopartículas metálicas [1].
.

De esta manera, la enseñanza en el aula requiere de desarrollar estrategias didácticas que promuevan y faciliten el aprendizaje en los alumnos de educación superior. Ante esta problemática se plantea como alternativa, el uso de experiencias de laboratorio, para favorecer el aprendizaje basado en competencias, con este nuevo enfoque de enseñanza, así como el diseño de materiales que capacitan al alumno para que desarrolle capacidades, destrezas y proponga metodologías de síntesis e incorporación de nanomateriales para atender una necesidad de investigación o comercial y contribuir al desarrollo tecnológico [2].

Investigadores han propuesto prácticas de laboratorio que pueden ser llevadas a cabo por estudiantes de educación superior [3], sin embargo, como lo menciona Martínez (2013), dichas prácticas se encuentran condicionadas al uso de equipo sofisticado que no siempre forman parte del equipamiento de instituciones de enseñanza.

Las nanopartículas de plata han atraído la atención debido a que dependiendo del tamaño o forma presentan las propiedades diferenciadas. En la antigüedad ya se empleaban las nanopartículas de plata y de algunos otros metales como oro, fungiendo éstas como pigmentos decorativos en artesanías, tiñendo vidrio o cerámica [4].

En la actualidad, se ha logrado aprovechar en distintas áreas industriales y comerciales como bactericidas, sensores o incluso en la industria textil. Las propiedades biomédicas de las nanopartículas de plata constituyen también un campo de investigación de gran relevancia. La mayoría de las publicaciones a este respecto se basan en las propiedades antimicrobianas de las nanopartículas de plata, aunque existen también estudios sobre sus propiedades antivirales, fungicidas o de cicatrización. Evidentemente, de manera paralela al estudio de estas propiedades se están desarrollando múltiples aplicaciones prácticas debido a las diferentes coloraciones que puede presentar la plata en función de su forma y tamaño nanométrico [5].

Las nanopartículas se pueden sintetizar utilizando compuestos químicos puros, pero este método tiene muchas limitaciones, como ser costoso y peligroso para la salud. Recientemente se ha descubierto un método alternativo para la biosíntesis de nanopartículas que utilizan una fuente biológica [6]. Debido al impacto que tiene la síntesis de estos materiales en el medio ambiente, en la actualidad se están buscando nuevas alternativas para la producción de nanopartículas que sean más amigables con la naturaleza, y que produzcan una menor cantidad de desechos tóxico.

La síntesis de nanopartículas metálicas usando productos naturales ha demostrado producir resultados similares a los producidos por métodos químicos o físicos. La utilización de extractos de plantas para la biosíntesis de nanopartículas metálicas ha ganado considerable importancia debido a la mejora de las propiedades químicas, físicas y biológicas de las partículas sintetizadas por este método. [7,5].

En los últimos años se ha incrementado el interés en la búsqueda de antioxidantes naturales, generalmente constituidos por mezclas de compuestos con elevada diversidad molecular y funcionalidad biológica. Los extractos vegetales contienen antioxidantes, entre los cuales los más importantes son los compuestos polifenólicos [8] y los flavonoides, compuestos con alta capacidad antioxidante y bajos potenciales redox, los bajos potenciales redox hacen termodinámicamente favorable la reducción de la gran mayoría de radicales libres y algunos metales [9].

ISSN: 2007 8102

Metodología

En este trabajo se propone, sintetizar nanopartículas de plata a partir de extracto Hierbabuena (*Menta piperita*), cuya elección viene motivada por su alta disponibilidad y su bajo costo, no sólo evita utilizar agentes reductores químicos en muchos casos caros y tóxicos, sino que también resulta en un método más económico y ecológico.

Preparación del extracto de la hierbabuena

Se lavaron las hojas de hierbabuena con agua destilada para eliminar la suciedad de estas; posteriormente se secaron antes de ser trituradas con 5 ml de etanol con ayuda de un mortero; la mezcla obtenida se centrifugo a 2000 RPM durante 4 minutos. Esto se hizo con el fin de obtener los fenoles [10].

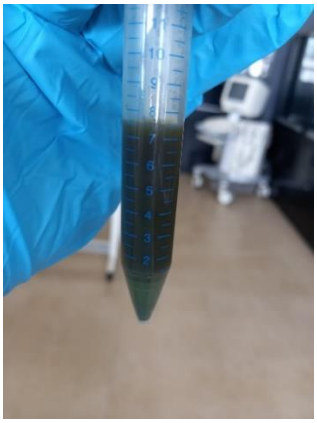


Figura 1. Extracto de la Hierbabuena

Biosíntesis de nanopartículas de plata

Para la síntesis se preparó una solución de Nitrato de Plata ($AgNO_3$) a una concentración de 10 mM, la solución se mantuvo en agitación constante, mientras esta se le añadía gota a gota una solución preparada con el extracto obtenido de hierbabuena, con este proceso comienza la formación de agregados de partículas, la cual se manifiesta a través de una coloración marrón (Figura 2).



Figura 2. Nanopartículas de Plata

 ISSN: 2007 8102

La propuesta de práctica de laboratorio se presenta en el Anexo 1 la cual presenta un cuestionario breve a través del cual puede evaluarse el componente conceptual de la competencia a evaluar, se sugiere que a través del reporte de experiencia de laboratorio se realice la evaluación del componente experimental de la competencia y en el Anexo 2 se presenta una propuesta de evaluación actitudinal del desempeño del alumno durante la práctica de laboratorio.

Resultados

Caracterización

En la Figura 3 se puede observar el espectro UV-Vis de las nanopartículas de plata sintetizados por esta vía, el cual muestra un comportamiento similar de acuerdo con lo reportado por Sally D. Solomon [11], la absorbancia se encuentra entre 395-430 nm atribuibles a un tamaño de partícula entre 30-50 nm.

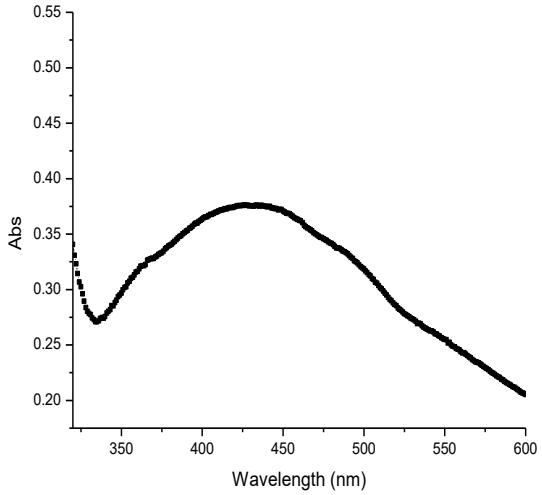


Figura 3. Espectro UV-Vis de la solución de $AgNO_3$-Hierbabuena

La amplitud general de los espectros y el cambio en el pico de absorbancia indica que las nanopartículas de plata requieren mayor de tiempo para estabilizarse, lo que significa que la reacción, aún no ha concluido y puede tardar en completarse. Estas partículas están afectadas, el tamaño crece ligeramente en comparación con la etapa inicial de la reacción durante el proceso de mezclado el extracto, por lo que resulta evidente, que a medida que aumenta el tiempo de reacción, aumenta la concentración y el tamaño de las nanopartículas de plata sintetizadas a partir del extracto de la hierbabuena.

Conclusiones

A partir de una práctica de laboratorio en la que se desarrolla una biosíntesis de nanopartículas de plata se estableció una propuesta pedagógica para el reforzamiento de las competencias de Mejorar un Bioproceso, mediante la generación de nuevos procesos y productos biotecnológicos que impulsen el desarrollo sostenible del entorno, para atender una necesidad de investigación o comercial y contribuir al desarrollo tecnológico.

Se ha propuesto una estrategia de síntesis nueva adaptada a partir de diversas fuentes bibliográficas. La obtención de las nanopartículas de plata fue exitosa por este método y permitió observar el color marrón de la plata que es una diferencia contrastante con el color conocido en tamaño macrométrico. El método es sencillo y fácilmente puede ser desarrollado en cualquier laboratorio de enseñanza media y superior orientado al área de nanociencias ya que se utilizan reactivos de fácil acceso, baja toxicidad y de bajo costo.

A pesar de esta sencillez, los fundamentos técnicos y científicos que explican el comportamiento tan complejo de los materiales a escala nanométrica son novedosos y extensos. La demostración del efecto de resonancia del plasmón de superficie es uno de ellos y puede motivar a los estudiantes a profundizar en el estudio del comportamiento de la materia en escala nanométrica.

A partir del instrumento de evaluación sugeridos para los diversos componentes de la competencia (conceptual, procedimental y actitudinal) puede establecerse de forma clara la evaluación del alumno, favoreciendo su autorregulación en el desarrollo de las actividades de aprendizaje haciéndolas significativas para él.

Referencias

[1] Martinez, F. M., Zuñiga, E., & Sanchez Lafarga, A. K. (2013) Método de síntesis de nanopartículas de plata adaptable a laboratorios de docencia relacionado con la nanotecnología. Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología, 6(10).

[2] Coordinación General de Universidades Tecnológicas y Politécnicas (2015) Programa de la Asignatura de Sintesis de Materiales II del Técnico Superior Universitario en Nanotecnología Área Materiales. SEP .México: Autor

[3] Chhatre, A.; Solasa, P.; Sakle, S.; Thaokar, R. & Mehra, A. (2012) “Color and surface plasmon effects in nanoparticle systems: Case of silver nanoparticles prepared by microemulsion route”. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 404, 83–92. doi:10.1016/j.colsurfa.2012.04.016

[4] Vankar, P. S. y Shukla, D. (2011) “Biosynthesis of silver nanoparticles using lemon leaves extract and its application for antimicrobial finish on fabric”. Applied Nanoscience, 2(2), 163-168. doi:10.1007/s13204-011-0051-y.

[5] Monge, M. (2014). Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. In Anales de Química (Vol. 105, No. 1).

[6] Zanella R. (2012). Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. www. mundonano.unam.mx | Vol. 5, No. 1, enero-junio, 2012 |Artículos | Mundo Nano |

[7] Philip, D. (2010). Green synthesis of gold and silver nanoparticles using Hibiscus rosa sinensis. Physica E, 42,1417–1424.

[8] Makarov V., Makarova S. S., Love A. J. (2014). Biosynthesis of Stable Iron Oxide Nanoparticles in Aqueous Extracts of Hordeum vulgare and Rumex acetosa Plants. Langmuir., 30: 20, 5982–5988.

[9] Han R. M., Zhang, J.P., Skibsted, L. H. (2012). Reaction Dynamics of Flavonoids and Carotenoids as Antioxidants. Molecules., 17: 2140-2160.

[10] Melendez Balbuena, L., Sanchez Muñoz, E., Ramirez Monroy, A., Cabrera Vivas, B. M., & Arroyo Carranza, S. L. M. (2018). Síntesis verde de nanopartículas de plata mediante el uso de la hierbabuena (Allium sativum) como agente reductor.

[11] Solomon, S. D., Bahadory, M., Jeyarajasingam, A. V., Rutkowsky, S. A., Boritz, C., & Mulfinger, L. (2007). Synthesis and Study of Silver Nanoparticles W. Journal of Chemical Education, 84(2.

ISSN: 2007 8102

Anexo 1

BIOSÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA

OBJETIVO

Sintetizar y caracterizar nanopartículas de plata, para implícitamente estimar su tamaño y estudiar la influencia de los diferentes parámetros de síntesis en la morfología de estas.

IDENTIFICACION DE CONCEPTOS PREVIOS

1. ¿Qué es una partícula coloidal?
2. Explica el cambio de color las nanopartículas de plata
3. ¿Qué es un agente estabilizador?
4. ¿Qué función tiene el extracto de la hierbabuena?
5. Menciona 5 propiedades de las nanopartículas de plata y describe cada una de ellas

RELEVANCIA DEL TEMA

1. Comprender los métodos de obtención de las nanopartículas de plata
2. Relacionar las operaciones unitarias para la Biosíntesis de nanopartículas de plata
3. Identificar las condiciones y parámetros para el proceso de biosíntesis para la mejora en los bioprocesos
4. Identificar la morfología y tamaño de los materiales obtenidos a partir del método de síntesis utilizado
5. Identificar las ventajas, desventajas y aplicaciones de los métodos de una biosíntesis

ISSN: 2007 8102

PARTE EXPERIMENTAL: SÍNTESIS DE COLOIDES DE PLATA

MATERIAL

- Vasos pp 250 ml
- Mortero
- Bureta 50 ml
- Pinzas mariposa
- Soporte universal
- Agitador
- Vidrio de reloj
- Espátula
- Piseta
- Embudo
- Pipeta 10 ml
- Perilla

REACTIVOS

$AgNO_3$
Extracto de Hierbabuena
Etanol

DESARROLLO

1. Se ocuparán dos soluciones:
   a) $AgNO_3$: 10 ml-10mM
   b) Extracto de la Hierbabuena
2. Se titula el extracto sobre el $AgNO_3$ gota a gota (~ 1 gota/seg) y se mantiene en agitación constante
3. Se debe poner atención en el color de las partículas obtenidas

ISSN: 2007 8102

Anexo 2

LISTA DE COTEJO PARA EVALUAR EL COMPONENTE ACTITUDINAL DE LA COMPETENCIA.

Nombre del Alumno _____

Asignatura: _____ Periodo: _____ Grupo: _____

Nombre del Docente: _____

Instrucciones: Coloque en la lista de cotejo SI o NO según lo observado en las habilidades del alumno durante la secuencia experimental a desarrollada.

	CRITERIO	EXPERIENCIA	
		SI	NO
1	Demuestra estrategias y buena argumentación para la toma de decisiones, elección de procedimientos y materiales, etc.		
2	Logra identificar las causas de dificultades que se presenten.		
3	Manipulación buena y precisa que permite lograr una exactitud y precisión en los resultados.		
4	Es proactivo y seguro de si mismo.		
5	Busca soluciones a los posibles problemas que se presentan durante el desarrollo de la práctica.		
6	Identifica errores que pueden afectar los resultados.		
7	Acepta sugerencias y sabe evaluarlas correctamente.		
8	Realiza aportes constructivos y con fundamentos.		
9	Es tolerante.		
10	Ayuda a sus compañeros en caso de que lo necesiten.		
11	Fomenta un buen relacionamiento entre los integrantes del grupo.		
12	Se preocupa por que la distribución de las tareas sea equitativa.		
	TOTAL		

 ISSN: 2007 8102

Prototipo móvil para aplicar técnicas de gamificación en la alfabetización de personas jóvenes y adultas

G. Robles Calderón[1], J. Robles Calderón[2], M. Flores Mendoza[3],*
[1]Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla. México, guadalupe.rc@teziutlan.tecnm.mx
[2]Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla. México, jacobo.rc@teziutlan.tecnm.mx
[3]Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla. México, m21te0012@teziutlan.tecnm.mx

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

El presente artículo aborda una investigación que evaluó los efectos de un prototipo de aplicación móvil que incorpora técnicas de gamificación en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la alfabetización en personas jóvenes y adultas. Se compararon dos grupos: uno que utilizó la aplicación móvil y otro que siguió un enfoque tradicional. Los resultados del análisis estadístico mostraron diferencias en cuanto a las calificaciones promedio entre los dos grupos, lo que sugiere que el uso del prototipo móvil condujo a una mejora significativa en el proceso de alfabetización en comparación con el enfoque tradicional. Cabe mencionar que, los participantes expresaron altos niveles de satisfacción y comentarios positivos sobre la aplicación móvil, lo que indica su potencial como herramienta para mejorar la motivación y la experiencia del usuario en el aprendizaje de la alfabetización.

***Palabras clave**: Gamificación, prototipo móvil, alfabetización, adultos.*

Abstract

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

***Key words**: Gamification, mobile prototyping, literacy, adults*

Introducción

El uso de aplicaciones móviles en los diferentes sectores de la sociedad ha venido a simplificar algunas de las tareas o procesos que llevamos a cabo en la vida cotidiana, como resultado de la pandemia por COVID-19 se logró exponenciar el uso de aplicaciones web y móviles. En el sector educativo este tipo de aplicaciones se han convertido en herramientas de enseñanza-aprendizaje, lo cual ha llevado a que un docente y un alumno puedan tener acceso al conocimiento utilizando las TIC's. El presente artículo se enfoca en la aplicación de técnicas de gamificación en el ámbito de la alfabetización de personas jóvenes y adultas, con el objetivo de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje. La gamificación se refiere al uso de elementos y diseños propios de los juegos en contextos no lúdicos, con el fin de hacerlos atractivos y cautivadores para los participantes. Este enfoque ha demostrado su efectividad en diversos escenarios, incluyendo la educación.

En este estudio, se propone un prototipo de aplicación móvil que incorpora técnicas de gamificación adaptadas al contexto de la alfabetización. La gamificación se basa en el uso de elementos como la motivación, la acción,

 ISSN: 2007 8102

el aprendizaje y la solución de problemas, los cuales se combinan con actividades de enseñanza y atributos lúdicos para generar un entorno de aprendizaje motivador y divertido.

El uso de recursos tecnológicos, como aplicaciones y plataformas digitales, facilita la implementación de la gamificación en la alfabetización. Estas herramientas permiten la creación de juegos educativos tradicionales, como sopas de letras, rompecabezas, crucigramas, memorama y el juego del ahorcado, así como el desarrollo de aplicaciones móviles específicas para este propósito.

El prototipo de aplicación móvil desarrollado en este estudio se centra en la motivación, la acción y el aprendizaje. Se busca establecer un vínculo con los participantes, captar su atención y ofrecer estímulos y recompensas para fomentar la autonomía y el logro de objetivos. Además, se otorga una insignia digital como reconocimiento tras completar una fase específica del proceso de alfabetización, denominada "La palabra generadora". Esta investigación se distingue por la creación y aplicación del prototipo de aplicación móvil, que integra de manera innovadora técnicas de gamificación en el proceso de alfabetización. El enfoque en la motivación, la acción y el aprendizaje, junto con el uso de la tecnología móvil, busca mejorar la adquisición de conocimientos, habilidades y destrezas en el ámbito de la alfabetización.

En resumen, este estudio pretende demostrar la eficacia de la gamificación en la alfabetización de personas jóvenes y adultas, mediante el desarrollo y aplicación de un prototipo de aplicación móvil. La integración de técnicas de gamificación, como la motivación, la acción y el aprendizaje, se espera que contribuya a mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje y promueva una experiencia de aprendizaje más enriquecedora y atractiva [1].

Metodología

El método de La Palabra Generadora

La metodología de La Palabra Generadora, desarrollado por Pablo Freire, desempeña un papel fundamental en la educación de adultos, especialmente en el proceso de alfabetización. Esta metodología, que sigue siendo relevante en diversos contextos, se aleja de las ideas tradicionales de la lectoescritura como un método neutral y se enfoca en el desarrollo del pensamiento, incorporando conceptos como la praxis, las palabras generadoras, la educación liberadora y la concienciación [2].

La Palabra Generadora adopta un enfoque situado y contextualizado, tomando como punto de partida la realidad y las experiencias particulares de las personas. Según el constructivismo de Freire, el aprendizaje de los adultos no ocurre simplemente a través de la adquisición de conocimientos, sino que es el resultado de sus saberes, experiencias y prácticas previas. Cada persona tiene algo que aportar y es responsable de la construcción de su propio conocimiento. Por lo tanto, el aprendizaje solo tiene sentido cuando está vinculado a un proyecto de vida personal y adquiere significado para el individuo.

Fases de La Palabra Generadora

Este método según lo expone el constructivismo de Freire se desarrolla en tres fases, en la Tabla 1, se describe cada una de sus implicaciones:

Tabla 1. Fases de la metodología: La palabra generadora
Elaboración: Fuente propia [3]

Fase 1	Fase 2	Fase 3
El alfabetizador presenta una palabra de uso común para fomentar el diálogo entre los alfabetizados.	Se descompone la palabra en familias silábicas para construir nuevas palabras con un significado y contexto claros.	Implica el proceso de alfabetización en sí, donde el alfabetizador lleva a cabo sesiones de motivación, creación y desarrollo de materiales didácticos en lectura, escritura y matemáticas

 ISSN: 2007 8102

La alfabetización de personas jóvenes y adultas está estrechamente relacionada con el sujeto, el contexto y el texto. En este sentido, la Palabra Generadora como estrategia didáctica, junto con el proceso de codificación y decodificación, moviliza la capacidad para aprender a leer y escribir, otorgando no solo un sentido personal, sino también una participación social significativa [4].

Desarrollo

El uso de dispositivos móviles y la aplicación de técnicas de gamificación en el ámbito educativo constituyen temas de gran relevancia en la actualidad. Estas prácticas permiten el desarrollo de habilidades tecnológicas mientras se facilita el aprendizaje, al tiempo que fomentan altos niveles de motivación y compromiso por parte de los estudiantes en su proceso de autoaprendizaje.

En el presente estudio, se propone utilizar la metodología orientada a objetos, conocida como Metodología de diseño hipermedia orientado a objetos (OOHDM), para el desarrollo del prototipo. Esta metodología se basa en un proceso de diseño de cinco fases, en el cual se emplean notaciones gráficas utilizando el Lenguaje Unificado de Modelado (UML)[5].

Fase 1: Obtención de requerimientos.
En la primera fase [6], existen tres métodos comunes para obtener los requerimientos de información de los usuarios: entrevistas, sesiones de diseño de aplicaciones conjuntas (JAD, por sus siglas en inglés) y encuestas a través de cuestionarios. En nuestro caso, hemos optado por acudir a las diferentes unidades operativas que cuentan con círculos de estudio en el nivel de alfabetización. Utilizamos la observación como técnica de recolección de información, realizando descripciones detalladas y tomando evidencias fotográficas para capturar la dinámica de trabajo de los asesores y las inquietudes de los educandos.

A partir de la información recopilada, se han identificado los siguientes elementos clave:

- Actores: Se definen como actores del prototipo móvil a las personas jóvenes y adultas que se encuentran cursando el nivel de alfabetización. A partir de este momento, serán referidos como educandos.
- Escenarios: Se refieren a las diversas actividades o tareas que los educandos deberán realizar a medida que avanzan con cada una de las palabras generadoras.

Los elementos mencionados anteriormente se resumen y representan en la Figura 1, que ilustra de manera visual la estructura y relación entre los actores y los escenarios en el prototipo móvil.

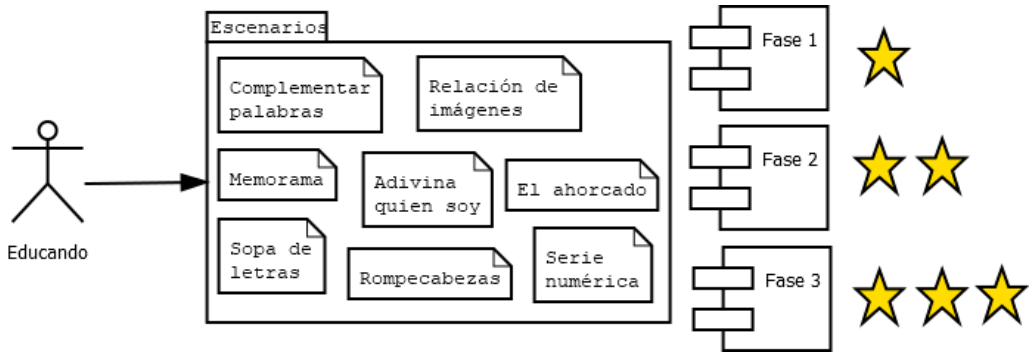


Figura 1. Relación entre educando con las actividades a realizar.
Elaboración: Fuente propia

Fase 2: Modelo conceptual.
En la segunda fase del proceso, se lleva a cabo el diseño conceptual, que consiste en la creación de un modelo del dominio de la aplicación utilizando el enfoque orientado a objetos basado en clases, relaciones y subsistemas.

En este modelo, se definen las clases conceptuales que representan entidades relevantes en el dominio, y se establecen las relaciones entre estas clases. Además, se pueden aplicar jerarquías de agregación, generalización y especialización para organizar y estructurar las clases de manera más precisa.

 ISSN: 2007 8102

El objetivo principal de este modelado es identificar y representar la semántica del dominio de manera neutral, es decir, desde una perspectiva independiente de la implementación técnica. Se toma en cuenta el rol de los usuarios y las actividades que se llevan a cabo en el contexto de la aplicación.

En la Figura 2 se muestra el modelo conceptual, donde se pueden observar las clases (conceptos) que han sido identificadas, las asociaciones entre estas clases (relaciones) y los atributos que se han definido para cada clase. Este modelo proporciona una representación visual de la estructura y las interacciones dentro del dominio de la aplicación.

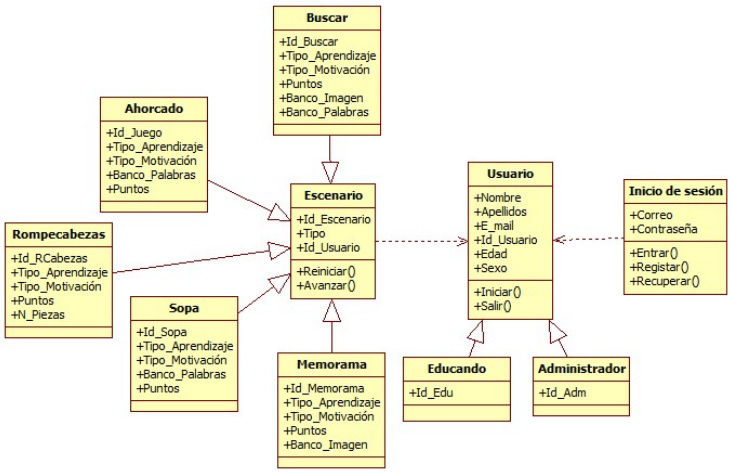


Figura 2. Diseño conceptual prototipo móvil.
Elaboración: Fuente propia

Fase 3: Diseño navegacional.
Una vez establecido el modelo conceptual, el siguiente paso en el proceso de diseño es la creación del modelo navegacional. En el enfoque OOHDM, tener una aplicación implica definir un conjunto de tareas que serán utilizadas por el usuario. En este sentido, OOHDM reorganiza la información del modelo conceptual y la transforma en un modelo de navegación. La navegación es una característica fundamental de las aplicaciones hipermedia y debe ser diseñada teniendo en cuenta las características del usuario, en este caso, del educando.

El diseño navegacional se basa en los datos obtenidos del diseño conceptual y tiene como objetivo definir la forma en que la información será presentada y navegada a través de enlaces. Se pueden construir diferentes modelos de navegación para el mismo esquema conceptual, y estos modelos se componen de tres elementos principales:

1. Nodos: Son las vistas orientadas a objetos de las clases conceptuales. Representan las diferentes pantallas o secciones de la aplicación a las que el usuario puede acceder.

2. Enlaces: Son las relaciones de navegación que permiten al usuario desplazarse entre los nodos. Estos enlaces definen las rutas o conexiones que el usuario puede seguir para acceder a diferentes recursos o realizar acciones específicas.

3. Estructuras de acceso: Son elementos como menús, índices o guías de ruta que facilitan al usuario la navegación y la localización de la información dentro de la aplicación.

En el contexto del presente estudio, los objetos navegables se definen mediante un esquema de clases de navegación que reflejan las vistas seleccionadas del dominio de la aplicación. Además, el diseño navegacional considera el contexto de navegación, que consiste en mostrar pantallas específicas al usuario para facilitar la navegación y guiarlo hacia la información deseada.

En la Figura 3 se presenta el modelo navegacional que representa las actividades que realiza el educando y cómo se relacionan entre sí en términos de navegación dentro de la aplicación.

 ISSN: 2007 8102

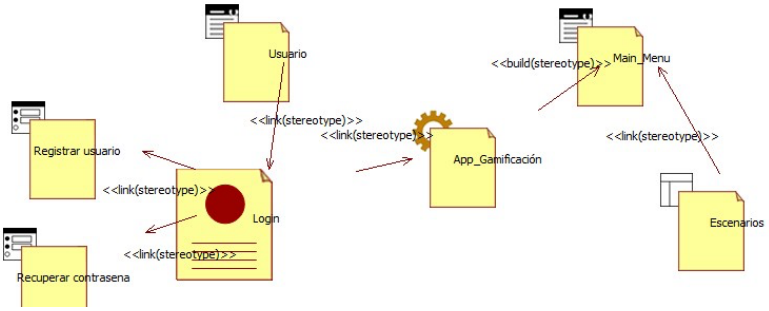


Figura 3. Diseño de navegación prototipo móvil
Elaboración: Fuente propia

Fase 4: Diseño de interfaz abstracta
Una vez establecido el modelo de navegación en la fase anterior, el siguiente paso es crear el diseño de la interfaz abstracta. El diseño de interfaces de usuario es una tarea crucial en el modelado de una aplicación o sistema, ya que la experiencia del usuario puede influir en el éxito o fracaso de esta. En esta etapa se definen los objetos de la interfaz que activarán la navegación, es decir, los eventos y funciones que se desencadenarán cuando el educando interactúe con ellos. Esto implica una clara separación entre la estructura general de la aplicación y los objetos multimedia, así como la ruta que cada uno de ellos debe seguir.

El diseño de interfaces de usuario es una labor sofisticada que requiere la comprensión de la interacción entre el ser humano y la máquina. En general, existen diferentes herramientas que se pueden utilizar para su implementación, y en este caso particular, se empleará la versión de prueba del sitio Balsamiq.

El enfoque OOHDM utiliza un diseño de vistas de datos abstracto que se refiere a lo siguiente:

1. Estructura: Se basa en los mecanismos abstractos de agregación, generalización y especialización para definir la estructura de la interfaz.
2. Relaciones estáticas entre objetos de navegación: Se establecen relaciones estáticas entre los diferentes objetos de navegación presentes en la interfaz.
3. Comportamiento: La interfaz reacciona a eventos externos que pueden surgir de la interacción del educando con la aplicación.

En la Figura 4 se muestra una interfaz que ilustra la interacción del educando con la aplicación, desde el inicio de sesión hasta los juegos de gamificación propuestos.

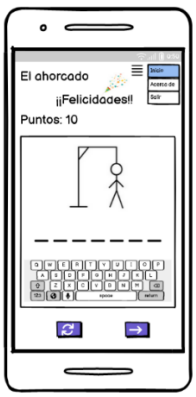


Figura 4. Interfaz juego del ahorcado
Elaboración: Fuente propia

Fase 5: Implementación
La fase final de la metodología OOHDM es la implementación, en la cual se integra toda la información recopilada en las etapas anteriores. Mediante el uso de diferentes diagramas, se describe la funcionalidad de la aplicación, lo cual abarca toda la parte lógica. Esta etapa se materializa a través del desarrollo de un producto o servicio,

 ISSN: 2007 8102

utilizando herramientas y mecanismos de programación, que resulta en la creación de una aplicación móvil ejecutable. El modelo conceptual se implementa utilizando un lenguaje orientado a objetos, y las clases de navegación se instancian en el marco de trabajo correspondiente.

En la Figura 5, se puede observar el conjunto de herramientas y tecnologías desplegadas a lo largo de este proyecto. Estas herramientas y tecnologías fueron utilizadas para llevar a cabo la implementación exitosa del prototipo de aplicación móvil.



Figura 4. Identificación de tecnología correspondientes a la etapa de implementación.
Elaboración: Fuente propia

Resultados y discusión

Primeros resultados

Para avanzar en la etapa de resultados, se procede a trabajar con los instrumentos de recolección de datos cuantitativos, los cuales serán analizados utilizando la Prueba t de Student en la categoría de pruebas independientes. La Prueba t de muestras independientes es una técnica estadística ampliamente utilizada para comparar las medias de dos grupos distintos y determinar si existe una diferencia significativa entre ellos.

Esta prueba proporciona información relevante sobre la efectividad comparativa de diferentes intervenciones, lo que nos permite obtener conclusiones acerca del impacto de la variable independiente en la variable dependiente. A continuación, describiremos su aplicación específica, basándonos en los datos muestrales recopilados.

En primer lugar, se registraron los puntajes obtenidos después de aplicar la prueba de evaluación Formativa 1 (FORMA1.2019) al grupo de estudio. De las 17 muestras recopiladas de individuos que no utilizaron el prototipo móvil, y de las 16 muestras obtenidas de individuos que sí lo utilizaron.

Posteriormente, se describen las hipótesis bajo los siguientes casos:

Hipótesis nula (H0): El puntaje de la media del Grupo 1 (μ1) es igual al puntaje de la media del Grupo 2 (μ2).

Hipótesis alternativa (H1): El puntaje de la media del Grupo 1 (μ1) es diferente al puntaje de la media del Grupo 2 (μ2).

$Ho = \mu 1 = \mu 2$
$H1 = \mu 1 \neq \mu 2$

Con base en la fórmula se calcula el estadístico de prueba:

 ISSN: 2007 8102

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_c^2}{n_2}}}$$

Ecuación 1. Fórmula estadística de prueba

$\bar{X}_1$ = 7.8235 $\bar{X}_2$ = 8.6250 n1= 17 n2 = 16

Se procede a calcular la varianza agrupada mediante la siguiente fórmula:

$$S_c^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Ecuación 2. Fórmula para la varianza común.

S_1^2 = 4.779412 S_2^2 = 1.583333 S_c^2 = 3.232922

Por lo tanto, el valor de t es:

t = -1.27972733

Ahora calculamos el valor crítico y los grados de libertad:
gl = (n1+n2-2) =31
α = 0.05 (5%)

$$t_{\left(1-\frac{\alpha}{2}\right),(n_1+n_2-2)} = \pm 2.039513$$

p-valor = 0.210136

Dado que el valor absoluto del estadístico t calculado (-1.27972733) es menor que el valor crítico de t (2.039513), se concluye que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. En consecuencia, basándonos en los datos y cálculos realizados, considerando la suposición de varianzas iguales, el resultado final de la prueba t de Student para muestras independientes indica que se observa una diferencia estadísticamente significativa en las calificaciones promedio entre el grupo que no utilizó la aplicación móvil y el grupo que sí la utilizó en el proceso de alfabetización evaluado.

Segundos resultados

Por otra parte, se aplica el cuestionario tipo Likert para evaluar diversos aspectos de la experiencia del usuario, incluida la facilidad de uso, la satisfacción, el compromiso, la motivación y los resultados de aprendizaje percibidos del prototipo móvil. El cuestionario consistió en 10 declaraciones a las que los participantes respondieron en una escala de cinco puntos que van desde "Totalmente en desacuerdo" hasta "Totalmente de acuerdo". Tras analizar los datos recogidos, se obtuvieron los siguientes resultados, los cuales se describen en la Tabla 1 y su representación gráfica en la Figura 6.

Tabla 2. Evaluación cuestionario de uso prototipo móvil
Elaboración: Fuente propia

Nivel de satisfacción	Frecuencia	%
Totalmente en desacuerdo	0	0%
En desacuerdo	0	0%
Neutral	17	11%
De acuerdo	19	12%
Totalmente de acuerdo	124	78%
Total	160	

 ISSN: 2007 8102

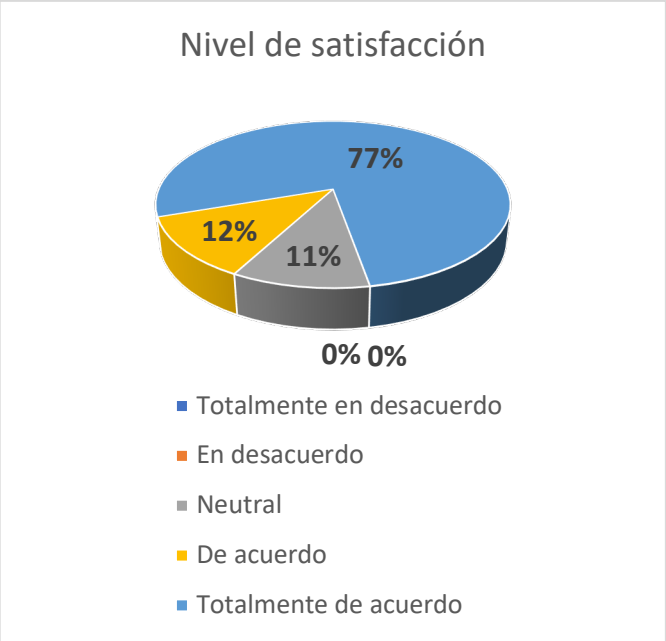


Figura 6. Niveles de Satisfacción de los usuarios
Elaboración: Fuente propia

En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que la inclusión de técnicas de gamificación en el prototipo móvil tuvo un efecto positivo en el proceso de enseñanza-aprendizaje de alfabetización en personas jóvenes y adultas. Los niveles significativos de acuerdo y acuerdo total indican que la aplicación móvil fue efectiva para involucrar y motivar a los usuarios, al tiempo que mejoró su comprensión y confianza en las habilidades de alfabetización. Estos hallazgos respaldan la idea de que la integración de técnicas de gamificación en aplicaciones educativas puede generar resultados positivos y contribuir a una experiencia de aprendizaje mejorada. Sin embargo, es importante destacar que estas conclusiones se basan en las respuestas de los participantes en este estudio y pueden no ser generalizables a otras poblaciones o contextos.

Trabajo a futuro

Este estudio presentó algunas áreas de oportunidad que requieren ser consideradas. En primer lugar, el tamaño de la muestra fue relativamente pequeño, lo cual puede restringir la generalización de los hallazgos. Además, el estudio se centró en una población específica de individuos jóvenes y adultos, lo que implica que los resultados obtenidos pueden no ser aplicables a otros grupos de edad. Asimismo, la investigación se basó en los puntajes obtenidos en la evaluación del instrumento Formativa 1(FORMA1.2019), lo cual introduce la posibilidad de sesgos o inexactitudes en los resultados.

Como trabajo a futuro, se sugiere continuar con el uso del prototipo móvil en la segunda y última fase de la metodología La palabra generadora. Esto permitiría realizar un análisis comparativo adicional y estudiar si los valores resultantes logran modificar el valor crítico establecido hasta el momento. Esta extensión del estudio proporcionaría una comprensión más completa y robusta de los efectos del prototipo móvil en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la alfabetización. Además, se recomienda ampliar la muestra de participantes y considerar la inclusión de diferentes grupos de edad para obtener resultados más representativos y generalizables.

Conclusiones

A partir del análisis de los datos, se puede concluir que la utilización del prototipo móvil, el cual incorporó técnicas de gamificación, generó una mejora significativa en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la alfabetización en comparación con el enfoque tradicional. Se sugiere llevar a cabo investigaciones adicionales para explorar

 ISSN: 2007 8102

variables adicionales y evaluar los efectos a largo plazo de las técnicas de gamificación en el desarrollo de la alfabetización.
Por otro lado, los comentarios positivos y los altos niveles de satisfacción expresados por los participantes también indican que el prototipo móvil tiene el potencial de ser recomendado a otras personas que deseen mejorar sus habilidades de alfabetización. Esto resalta la aplicabilidad y el impacto potencial del prototipo móvil en entornos educativos más amplios, así como el potencial de su adopción como una herramienta eficaz para el desarrollo de la alfabetización.

En general, los resultados sugieren que la integración de técnicas de gamificación en la aplicación móvil tuvo una influencia positiva en el proceso de enseñanza-aprendizaje y generó beneficios en términos de la experiencia del usuario, el compromiso, la motivación y los resultados de aprendizaje percibidos en el contexto del desarrollo de la alfabetización.

Agradecimientos

La realización de la presente obra fue patrocinada y apoyada por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), y el Tecnológico Nacional de México (TecNM), en hora buena muchas gracias.

Referencias

[1] Real Academia Española, «Diccionario de la lengua española,» 2021. [En línea]. Available: https://dle.rae.es/juego?m=form
[2] Instituto Nacional de Educación para los Adultos, La Palabra, cuaderno de ejercicios, Impresora y Encuadernadora Progreso, S.A de C.V., 2018.
[3] Instituto Nacional de Educación para los Adultos, «Formativas. Instructivo de aplicación. Criterios de evaluación. Ejercicio diagnostico,» 2023. [En línea]. Available: http://www.ineaformate.conevyt.org.mx/index.php/todos-los-articulos/28-general/143-ejercicio-diagnostico-formativas-1-y-2.
[4] AulaAragon, «M2 La alfabetización en la clase de español,» 2022. [En línea]. Available: http://aularagon.catedu.es/materialesaularagon2013/EspanolAdultos/zips/Modulo_2/index.html.
[5] Leeper, James D., «UCLA Statistical Methods and Data Analytics,» 2021. [En línea]. Available: https://stats.oarc.ucla.edu/other/mult-pkg/whatstat/.
[6] B. Charles, «A Framework for Evaluating the Effectiveness of Gamification Techniques by Personality Type,» *Springer International Publishing Switzerland,* nº 8527, pp. 381-389, 2014.

 ISSN: 2007 8102

Análisis de los niveles de ansiedad, estrés, salud y educación en estudiantes universitarios de lo virtual a lo presencial

Angel Eduardo Lara Segura[1], Francisca Hernández-Angel[2], Dulce Belem Castillo Gonzalez[3], Juana Elizabeth Medina Alvarez[4], Sandy Arely Valdez Gonzalez [5],*
1Universidad Politécnica de Altamira y angeleduardolarasegura@gmail.com1, 2Universidad Politécnica de Altamira y frany.hernandez@upalt.edu.mx2, 3Universidad Politécnica de Altamira y dulcecastillo3008@gmail.com3, 4Universidad Politécnica de Altamira y elizabeth.medina@upalt.edu.mx4, 5Universidad Politécnica de Altamira y arely.valdezz00@gmail.com5

***Área de participación**: Investigación educativa*

Resumen
La pandemia por COVID-19 ocasionó muchas afectaciones en aspectos sanitarios, económicos, sociales y en educación, provocando que se implementaran medidas emergentes como las clases y el trabajo en línea. El objetivo del presente trabajo es analizar la percepción de los alumnos de nivel superior sobre el estrés, ansiedad, educación y nivel de salud desde dos escenarios: durante pandemia y post pandemia. Se realizaron pruebas como el Alpha de Cronbach y la confiabilidad para validar la encuesta y determinar la veracidad de los resultados. Los resultados arrojaron un Alpha de Cronbach de 0.918 de manera general, y por variable; ansiedad: 0.811 y 0.864, estrés de 0.856 y 0.801, educación: 0.755 y 0.892 y nivel de salud: 0.815 y 0.792, la primera cifra corresponde a la categoría de pandemia y la segunda a la post pandemia. Estos resultados determinan que la encuesta es válida y sus resultados son confiables.

***Palabras clave**: Ansiedad, educación, estrés, pandemia.*

Abstract
The COVID-19 pandemic caused many effects in health, economic, social, and educational aspects, causing the implementation of emerging measures such as online classes. The objective of this paper is to analyze the perception of higher education students about stress, anxiety, education, and level of health from two scenarios: during the pandemic and post-pandemic. Tests such as Cronbach's Alpha and reliability were performed to validate the survey and determine its validity. The results showed a Cronbach's Alpha of 0.918 in general and by variable: anxiety: 0.811 and 0.864, stress of 0.856 and 0.801, education: 0.755 and 0.892 and level of health: 0.815 and 0.792, the first figure corresponds to the category of pandemic and the second to the post pandemic. These results determine that the survey is valid, and its results are reliable.

***Key words**: Anxiety, education, stress, pandemic.*

Introducción
La pandemia ocasionada por el coronavirus o Covid-19 cambió las condiciones del sistema educativo a nivel mundial, obligando a las instituciones de educación superior a trasladar sus clases a modalidad virtual online, lo cual generó varios problemas en los procesos académicos de los estudiantes en el proceso de enseñanza y aprendizaje y principalmente en los niveles de estrés, ansiedad y depresión, afectando los niveles de conocimiento y salud mental de los estudiantes [1].

En México, en marzo del 2020, por motivo de la pandemia, se implementaron una serie de medidas instruidas por el gobierno, en las que incluyó el cierre de instituciones educativas desde el nivel básico hasta el nivel superior, lo provocó que la población estudiantil universitaria debería de migrar sus clases a un entorno virtual, iniciando una adaptación a diversos desafíos que el confinamiento sitúo, como el aislamiento y el cese de actividades físicas en espacios confinados como las aulas de clase.[2].

Este artículo pretende compartir el interés y la preocupación por saber cuáles son los efectos emocionales identificados como el estrés académico, debido al confinamiento y rotura de la cotidianidad que llevaban los universitarios a raíz del cierre de las instituciones y el forzoso cambio al modelo de enseñanza y aprendizaje virtual [3].

Debido a la evolución constante y durante más de dos años que tuvo la pandemia en México, se acentuaron los niveles de ansiedad en los estudiantes, particularmente por la falta que había de certidumbre sobre el inicio de clases presencial en las instituciones universitarias, por lo tanto, las autoridades educativas hicieron énfasis en que dichas instituciones pusieran atención especial en la salud mental del alumnado [4].

A pesar de que en los estudiantes universitarios el estrés académico es una reacción bastante común, la presencia de niveles elevados puede deteriorar el rendimiento académico, calidad de vida y su bienestar psicológico, afectando en lo académico y además traspasando a contextos personales, familiares, relaciones afectivas y sociales. Es necesario considerar que el problema del estrés en los alumnos de universidad pudo haberse agravado debido al confinamiento el cual se originó por consecuencia de la pandemia de la COVID – 19, además de los problemas económicos que trajo consigo a los estudiantes y sus familias [5].

Ansiedad

La crisis sanitaria que se vivió en el país por la COVID – 19 dejó millones de muertes y afectados. La cuarentena obligatoria y las medidas que se usaron para reducir el número de contagiados trajeron consigo consecuencias negativas en la salud mental de los universitarios [6]. Para los estudiantes universitarios, ha resultado delicado el regreso a las labores educativas de manera presencial tras dos años en confinamiento y de la prohibición de actividades sociales. Con esto, la reactivación de dichas actividades sociales hizo que los estudiantes tuvieran de nueva cuenta un cambio drástico de regreso a las actividades que se consideraban ordinarias previo a la pandemia [7]. Como se ha mencionado la ansiedad se considera como uno de los factores que está vinculado en la salud de la población escolarizada, por lo cual puede influir en los logros o fallas que realice una persona [8].

Estrés

El estrés en los universitarios ha sido una problemática de suma importancia y objeto de estudiar de manera intensa puesto que repercute en los niveles físicos, emocionales y psicológicos. Dicho trastorno está presente en los ámbitos de acción de una persona, incluido desde el nivel educativo, por ello la preocupación de los expertos de salud para conocer las implicaciones que este tiene en el rendimiento estudiantil [9].

El estrés académico asociado a la pandemia por la COVID-19 se está incrementando. En el análisis preliminar de resultados de la Escala de Afrontamiento del Estrés Académico (A-CEA) y del Cuestionario Percepción del Estrés Académico en estudiantes universitarios asociado a la COVID-19 se muestran una disminución de la motivación y del rendimiento académico con un aumento de la ansiedad y dificultades familiares, éstos resultados aportan a los estudios de las variables estrés y ansiedad y conjuntamente se recupera el debate en la comunidad académica sobre el impacto que la epidemia está teniendo en la salud mental de los estudiantes y sus profesores, y cuáles son los retos que la educación superior tiene que enfrentar en un futuro inmediato [10].

La afectación de la salud mental que tienen los alumnos universitarios es el resultado de algunas experiencias negativas originadas en el periodo de confinamiento por distintas causas, teniendo restricciones de movilidad. Mientras los alumnos desarrollaban sus actividades de forma virtual, presentaron diversas dificultades que afectaban su desempeño. Algunos de los factores limitantes son la convivencia, ambiente familiar, calidad y cantidad de actividades académicas y economía familiar. [11].

Estado de Salud

Las actividades académicas que se llevan a cabo en las instituciones universitarias para muchos estudiantes representan una fuente de estrés y ansiedad primaria debido a las altas demandas académicas, además de las sociales y personales. Por ello, en los últimos tiempos el tema ha generado interés por parte de doctores e investigadores debido especialmente a las consecuencias negativas que trae en la salud física y psicológica, el rendimiento académico y la cotidianidad en la vida de los estudiantes [5].

El continuo uso de las herramientas y sistemas de videoconferencia que se ocuparon para llevar a cabo el proceso de enseñanza-aprendizaje en las instituciones de educación superior durante el periodo de confinamiento por la pandemia de la COVID-19, permitieron el avance lentamente en la educación, lo cual ha influido de manera negativa tanto en la enseñanza como en el aprendizaje de los estudiantes, provocando la llamada “fatiga digital”. La fatiga digital afecta de principalmente la vista, los estados emocionales, sociales y motivacionales [12].

ISSN: 2007 8102

Los alumnos de educación superior son considerados como una población vulnerable cuando en términos de salud mental se habla, por las situaciones que han sido expuestas. Frente a los hechos por la pandemia y a las medidas establecidas por los gobiernos a nivel mundial para hacer frente a la situación, la salud de los universitarios se encontraba y encuentra amenazada. Visto desde el marco de la responsabilidad social, las instituciones universitarias podrían ser lugares para abordar de manera correcta y detallada la necesidad de salud física, mental y de bienestar para los estudiantes. Existen factores de riesgo que han sido identificadas en diversas investigaciones que han afectado la salud mental de los jóvenes estudiantes, algunos de los cuales son: las condiciones económicas en el entorno, el atraso de las actividades académicas, entre otros que han detonado la ansiedad y posteriormente ha incrementado otros factores relacionados como la depresión, el estrés y la ansiedad [13].

Educación

La etapa de educación de nivel superior implica elevadas exigencias, responsabilidades en demasía, así como demandas académicas, sociales y personales del alumnado. Dicho contexto se tornó más complicado debido la época pandémica, pues la educación pasaría de lo presencial a lo virtual, la cual puso en evidencia limitaciones tales como problemas de conectividades y accesibilidad, además de una nueva forma de aprendizaje [5]. Durante los últimos años, la población ha sido blanco del sufrimiento de consecuencias emocionales y psicológicas de la pandemia provocada por la COVID – 19. Por su parte, los alumnos de la educación superior tuvieron que hacer cambios drásticos en sus rutinas para la adaptación a la modalidad virtual [9].

Metodología

Población

Los sujetos de estudio pertenecen a una universidad ubicada en el sur del estado de Tamaulipas, la cual oferta las siguientes carreras: Ingeniería Industrial, Ingeniería en Energía, Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones e Ingeniería en Tecnologías de Información y cuya población de atención son los poblados que se encuentran a la redonda. Actualmente la escuela cuenta con 437 de alumnos, siendo la población de estudio 225 estudiantes, específicamente quienes ingresaron en los cuatrimestres septiembre-diciembre de 2020 y 2021, respectivamente, retomando sus clases presenciales en marzo del 2022. En la tabla 1 se pueden apreciar las características de la población.

Muestra

Los sujetos de estudio fueron alumnos quienes se encuentran cursando los cuatrimestres de 5° y 8° debido a que han sido los estudiantes que ingresaron a la universidad en la pandemia y tras un año de confinamiento retomaron sus clases presenciales en dicha institución. Tomando en consideración esta población de 225 estudiantes se calculó la muestra, considerando un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, dando como resultado un total de 143 encuestas. Los 143 alumnos fueron seleccionados por medio de un muestreo aleatorio simple, yendo a las aulas del alumnado de 5° y 8° cuatrimestre con la ayuda del profesor en turno y de manera voluntaria, compartiendo un QR para facilitar el acceso a la encuesta antes mencionada.

Tabla 1. Población de la Universidad.

Carrera	Alumnos	
	5° cuatrimestre	8° cuatrimestre
Ingeniería Industrial	55	54
Ingeniería en Energía.	14	27
Ingeniería en Electrónica y Telecomunicación	19	15
Ingeniería en Tecnologías de Información	26	15
Total	114	111

 ISSN: 2007 8102

Tabla 2. Características de los integrantes del muestreo.

Carrera	Alumnos			
	Mujeres	Hombres	Trabajan	
			sí	no
Ingeniería Industrial	37	44	24	57
Ingeniería en Energía.	1	17	11	7
Ingeniería en Electrónica y Telecomunicación	4	19	6	17
Ingeniería en Tecnologías de Información	11	10	7	14
Total	53	90	48	95

Instrumento de medición

Se utilizó una encuesta para la recolección de información por medio de la herramienta Google Forms. Se obtuvieron los datos característicos como: edad, sexo, carrera, si labora o no. Las respuestas fueron capturadas en una escala Likert de 5 puntos, en donde 1 equivale a totalmente en desacuerdo y el 5 corresponde a totalmente de acuerdo. Las secuencias de las escalas utilizadas en la encuesta para analizar la comparativa de los estudiantes en su estancia en la universidad durante y después de pandemia, las variables de estudio se presentaron de la siguiente manera: en primer lugar, se presentó el estado de salud (4 ítems), posteriormente la educación (4 ítems), seguido de la ansiedad (4 ítems) y finalmente el estrés (4 ítems). En la tabla 3 se muestra la construcción del estudio.

Tabla 3. Variables del estudio

Variables de estudio	Concepto
Ansiedad	La ansiedad se considera como uno de los factores negativos vinculados con la salud de la población universitaria, el cual llega afectar el rendimiento académico así como de forma física y mental [8].
Estrés	El estrés se ha vuelto un tema de suma importancia al presentarse en de manera intensa en estudiantes universitarios repercutiendo en los niveles físicos, emocionales y psicológicos perjudicando al estudiante en su aprendizaje y salud [9].
Estado de salud	La salud del alumnado en las instituciones universitarias hace frente a diversos factores que llegan a dañar esta por lo que se busca abordar temas como la ansiedad y estrés de manera detallada y correcta para el bienestar de los estudiantes [13].
Educación	La educación de nivel superior era y es una etapa con exigencias en demasía, ya sean académicas, sociales o personales del alumnado; sin embargo, con la llegada de la COVID – 19 y el confinamiento, la educación pasaría de lo presencial a lo virtual teniendo limitantes como la conectividad y accesibilidad, además de ser una forma de aprendizaje totalmente nueva para todos [5].

Los ítems presentados a partir de la revisión de literatura fueron adaptados de acuerdo con la población. Las variables del estudio seleccionadas son las siguientes: Estado de salud, el propósito es conocer sobre la salud que se tenía durante y después del confinamiento. Educación, cuya finalidad es conocer cómo se sintió el alumnado en las clases virtuales y su comparativa con las presenciales. Ansiedad, el objetivo de esta variable es identificar si el estudiante adquirió ansiedad durante la pandemia o al regresar a clases y finalmente el estrés, variable que tiene las mismas intenciones que la ansiedad siendo esta el identificar si el alumno desarrolló este trastorno durante clases virtuales o presenciales. En la tabla 4, se pueden apreciar las escalas de cada variable de estudio.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 4. Escala de variables del estudio

Variable
Ansiedad
1.- ¿En el confinamiento observo si su boca estaba seca?
2.- ¿Su cuerpo mostro dificultades al respirar?
3.- ¿Su cuerpo mostro las manos temblorosas?
4.- ¿Es preocupante para usted hacer el ridículo?
5.- ¿Usted entro en pánico?
6.- ¿Usted sintió que su corazón latía rápidamente?
7.- ¿Presentaste miedo sin razón alguna?
Estrés
8.- Durante pandemia ¿se mostró ante situaciones priorizando sus valores sobre los impulsos o sentimientos del momento?
9.- ¿Le costó mucho bajar su nivel de tensión?
10.- ¿Reacciono de manera exagerada?
11.- ¿Sintió fatiga?
12.- ¿Usted presentaba inquietud?
13.- ¿Tuvo dificultad para relajarse?
14.- ¿Usted se considera tolerante?
15.- ¿Usted con facilidad suele molestarse?
Estado de salud
16.- ¿Durante el confinamiento se sintió no saludable y sin condición física?
17.- ¿Sintió la necesidad reconstituyente (vitaminas y minerales, suplementos, multivitamínicos, entre otros)?
18.- ¿Presento debilidad y cansancio?
19.- ¿Tuvo noción de estar enfermo?
20.- ¿Tuvo efectos de dolores de cabeza?
Educación
21.- ¿Cómo calificas tu aprendizaje estando en clases en línea?
22.- ¿Tu rendimiento académico mejoró o empeoró durante este periodo?
23.- ¿Contabas dispositivos electrónicos para tomar clases virtuales?
24.- ¿La interacción con tus compañeros en línea fue buena?
25.- ¿Lograbas concentrarte en tus clases?
26.- ¿Te sentías cómodo con este tipo de aprendizaje?

Resultados

Con los resultados obtenidos en la encuesta se realizó un análisis factorial exploratorio con el propósito de validar las variables, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5. Observando los resultados se muestra que la encuesta por su totalidad es válida. Los ítems utilizados para medir cada dimensión (ansiedad, estrés, estado de salud y educación) son los adecuados y se concluye que estas dimensiones están correlacionadas entre sí, mostrando valores mayores a 0.5. Estos resultados demuestran la confiabilidad y la validez del instrumento de medición.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 5. Resultados estadísticos

Variables	En pandemia		Post Pandemia	
	Confiabilidad	Alpha de Cronbach	Confiabilidad	Alpha de Cronbach
Ansiedad		0.811		0.864
Ítem 1	0.522		0.654	
Ítem 2	0.844		0.832	
Ítem 3	0.698		0.585	
Ítem 4	**0.420**		0.650	
Ítem 5	0.734		0.763	
Ítem 6	0.652		0.705	
Ítem 7	0.743		0.704	
Estrés		0.859		0.801
Ítem 8	0.604		0.501	
Ítem 9	0.825		0.613	
Ítem 10	0.623		0.643	
Ítem 11	0.567		0.555	
Ítem 12	0.766		0.637	
Ítem 13	0.763		0.728	
Ítem 14	0.822		0.627	
Ítem 15	0.633		0.466	
Estado de salud		0.815		0.792
Ítem 16	0.533		0.600	
Ítem 18	0.699		0.721	
Ítem 19	0.740		**0.433**	
Ítem 20	**0.453**		0.539	
Educación		0.755		0.892
Ítem 21	0.602		0.556	
Ítem 22	0.520		0.720	
Ítem 23	0.755		0.640	
Ítem 24	0.670		0.683	
Ítem 25	0.656		0.637	
Ítem 6	0.643		0.664	

En el caso del ítem 4 muestra una confiablidad de 0.420 en la categoría de en pandemia, sin embargo, la categoría de post pandemia mostró una cifra de 0.650, por lo que se considera significativa y no pudo ser extraída, situación similar presento el ítem 20, mostrando una cantidad de 0.453 a 0.539 respectivamente. Por otra parte, el ítem 19 mostró el resultado inverso, es decir, mostrando una confiabilidad significativa en el primer apartado de 0.740 y el segundo 0.433, siendo este no significativo. En estos casos se optó por mantener dichos ítems debido el nivel de significancia es aceptable en al menos una categoría. Sin embargo, en el caso el ítem 17 se decidió no contemplarlo debido a sus resultados fueron menores a 0.50.

Dados los resultados se puede determinar que los estudiantes se sienten menos estrés y ansiedad estando en clases presenciales que virtuales y que sus afectaciones en temas de salud son menores al igual que en aspectos académicos, la percepción que tienden a sentirse mejor asistiendo a clases presenciales.

Trabajo a futuro

Una vez validada la encuesta, dentro de los trabajos futuros que se pueden realizar es una mediación o una moderación entre las variables de estudio. En el primer escenario, la mediación sería entre las variables ansiedad y estrés, siendo la mediadora la variable estado de salud y en el caso de la moderación seria de igual manera las variables ansiedad y estrés y moderadas por la variable educación. Esto ayudaría a comprender que los niveles de estrés y ansiedad pueden cambiar de acuerdo condición de salud y su percepción en cuanto a su desempeño educativo, esta comprensión se analizaría de en primer lugar de manera estadística y posteriormente de acuerdo a la literatura.

 ISSN: 2007 8102

Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se puede concluir la correlación entre las cuatro variables: ansiedad, estrés, salud y educación de los estudiantes de la Universidad Politécnica de Altamira, así como la alta confiabilidad en la correlación de las cuatro variables, debido a los resultados del coeficiente de Alpha de Cronbach ya que la consistencia interna de la escala que se manejó para evaluar la magnitud de cada item, están correlacionados con valores por encima de 0.70, lo cual indica que si es confiable la correlación entre las variables.

Realizando una comparativa la ansiedad se está presentando post pandemia, el estrés se acumuló durante la pandemia, sin embargo, con el regreso a las aulas bajó significativamente, las causas del estrés son tema de otra investigación, por otra parte el estado de salud físico de los estudiantes mejoró con el regreso a las actividades presenciales, así como también la educación.

Respecto a los coeficientes de Cronbach correspondientes a la variable ansiedad, se puede concluir que las afecciones físicas se adquirieron más durante la pandemia y solamente la exposición a realizar el ridículo incrementó postpandemia, situación que indudablemente durante la pandemia se debía a estar tras de una cámara o dispositivo, totalmente diferente a exponerse al público.

Por otro lado, en la variable estrés, a los estudiantes les costaba durante la pandemia bajar su nivel de estrés y ser más tolerantes, sin embargo, después de la pandemia, los estudiantes se encontraban menos estresados y con una tolerancia baja al estrés. Acorde con la variable estado de salud de los estudiantes, ésta mejoró en la salud física de la pandemia a postpandemia, disminuyó también la debilidad, cansancio y se percibió menos la noción de estar enfermo, situación contraria a los dolores de cabeza, que post pandemia pudieran deberse a otras fuentes estresores.

Con la variable educación, se puede concluir que el aprendizaje significativo de los estudiantes se quedó en nivel básico y que no exista diferencia tan significativa para que este pueda ser un factor detonante Indudablemente la forma de enseñar y aprender cambió radicalmente con la pandemia y las nuevas herramientas tecnológicas ayudaron al aprendizaje durante la pandemia, hoy por hoy estas herramientas se vuelven parte de las herramientas del proceso de enseñanza aprendizaje y se suman para lograr una educación de calidad.

Con estos resultados es importante tomar con seriedad el tema de la ansiedad en los estudiantes de educación superior, es preocupante que vaya en aumento y más aún que traiga consigo consecuencias en la salud mental y/o física de los estudiantes de la Universidad.

Finalmente, los resultados permiten sustentar programas de apoyo para los estudiantes que padezcan la ansiedad, en el caso de estudiantes que ya la tengan identificada como padecimiento psicológico, ya que puede haber estudiantes que ni siquiera puedan identificar el padecimiento como tal.

Referencias

[1] J. P. Chávez Reinoso, J. E. Chávez Guevara, D. C. Villarreal Meza, y L. A. Ortiz Parra, “Factores de estrés en estudiantes universitarios en época de pandemia (Covid-19)”, *Horizontes. Rev. Investig. en Ciencias la Educ.*, 2021.

[2] R. Benites, “La Educación Superior Universitaria en el Perú post-pandemia”, *Políticas y debates públicos*, vol. 1, núm. 1, pp. 1–11, 2021.

[3] L. G. Velázquez, “Estrés académico en estudiantes universitarios asociado a la pandemia por covid-19”, *Espac. I+ D, Innovación más Desarro.*, vol. 9, núm. 20, pp. 158–179, 2020.

[4] I. L. Chávez Márquez, “Ansiedad en universitarios durante la pandemia de COVID-19: un estudio cuantitativo”, *Psicumex*, 2021.

[5] M. M. Ramos, N. A. G., Araoz, E. G. E., Uchasara, H. J. M., Araoz, M. C. Z., & Roque, “Estrés académico en estudiantes universitarios peruanos en tiempos de la pandemia del COVID-19”, *Arch. Venez. Farmacol. y Ter.*, vol. 40, núm. 1, pp. 88–93, 2021.

[6] D. Izurieta-Brito, S. Poveda-Ríos, T. Naranjo-Hidalgo, y E. Moreno-Montero, “Trastorno de ansiedad generalizada y estrés académico en estudiantes universitarios ecuatorianos durante la pandemia COVID-19.”, *Rev. Neuropsiquiatr.*, 2022.

 ISSN: 2007 8102

[7] R. A. Silvero, “Niveles de estrés, depresión y ansiedad tras la pandemia del COVID- 19 en los estudiantes universitarios paraguayos”, *UNIDA Salud*, vol. 2, núm. 2, pp. 31–39, 2023.
[8] W. G. S. Campoverde y J. L. V. Tornero, “Aumento de los niveles de ansiedad en estudiantes universitarios durante la época de pandemia de la COVID-19 Increased”, *Rev. Cuba. Med. Mil.*, 2021.
[9] M. E. C. Silva-Ramos, M. F., López-Cocotle, J. J., & Meza-Zamora, “Estrés académico en estudiantes universitarios”, *Investig. Cienc.*, vol. 28, núm. 79, pp. 75–83, 2020.
[10] L. González Velázquez, “Estrés Académico En Estudiantes Universitarios Asociados a La Pandemia Por Covid-19”, *Rev. Espac. I+D Innovación más Desarro.*, vol. 9, núm. 25, pp. 158–179, 2012.
[11] M. C. Eduardo y Y. S. Nila, “impacto psicosocial y mindfulness en universitarios / post pandemia", *Rev. Científica y Arbitr. Ciencias Soc. y Trab. Soc. Tejedora*, vol. 6, núm. 11, pp. 95–112, 2023.
[12] A. Romero-Rodríguez, J. M., Hinojo-Lucena, F. J., Kopecký, K., & García-González, “Fatiga digital en estudiantes universitarios como consecuencia de la enseñanza online durante la pandemia”, *Educ. XX1*, vol. 26, núm. 2, pp. 165–184, 2023.
[13] R. Cobo-Rendón, A. Vega-Valenzuela, y D. García-Álvarez, “Consideraciones institucionales sobre la Salud Mental en estudiantes universitarios durante la pandemia de Covid-19”, *CienciAmérica*, vol. 9, núm. 2, pp. 277–284, 2020.

 ISSN: 2007 8102

Popotes de bambú un proyecto de inversión sostenible

Nancy Verónica Sánchez Sulú[1], Limberth Agael Peraza Pérez[2], Perla Gabriela Baqueiro López[3], Patricia del Rosario Cerecedo Núñez[4] , Celestina López Robles[5],*
[1]Universidad Autónoma del Carmen, nsanchez@pampano.unacar.mx,
[2] Limberth Agael Peraza Pérez, lperaza@pampano.unacar.mx,
[3] Perla Gabriela Baqueiro López, pbaqueiro@pampano.unacar.mx,
[4] Universidad Autónoma del Carmen, pcerecedo@pampano.unacar.mx,
[5] Universidad Autónoma del Carmen, clopez@pampano.unacar.mx

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

Este trabajo de investigación aborda el tema de la consultoría universitaria (CU), aplicada en las micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) en Ciudad del Carmen, Campeche. La metodología propuesta para el desarrollo de esta tesis en un inicio será exploratoria de carácter documental, debido al análisis de la literatura existente sobre el proceso de los proyectos de inversión. Posteriormente se transitará a una investigación práctica, en la cual consiste en la elaboración de una de las primeras etapas del proceso de inversión que es la preinversión. Con los resultados arrojados se puede observar que la TIR que arroja el proyecto a cinco años con una inversión de $110,464.00 fue de 58.79%, que es mayor a la tasa de la referencia. Por tanto, esta técnica de evaluación de proyectos indica que el proyecto es factiblemente viable en términos financieros.

***Palabras clave**: Inversión, Popotes, Proyecto, Sostenible.*

Abstract

This research work addresses the issue of university consulting, applied in micro, small and medium-sized enterprises in Ciudad del Carmen, Campeche. The proposed methodology for the development of this thesis will initially be exploratory of a documentary nature, due to the analysis of the existing literature on the process of investment projects. Subsequently, a practical investigation will be carried out, which consists of the elaboration of one of the first stages of the investment process, which is pre-investment. With the results obtained, it can be seen that the IRR of the project for five years with an investment of $110,464.00 was 58.79%, which is higher than the reference rate. Therefore, this project evaluation technique indicates that the project is feasible in financial terms.

***Key words**: Investment, Straws, Project, Sustainable.*

Introducción

A nivel global el consumo de plásticos de un solo uso o desechables, que suelen ser utilizados una sola vez antes de ser desechados o reutilizados, como son las bolsas de plásticos, popotes, botellas de refrescos, platos de alimentos, cucharas, tenedores, cuchillos entre otros, traen consecuencias, económicas, sociales y ambientales.

En el estado de Campeche consideran [1] que tan solo anualmente se consumen 352 millones 38 mil 240 bolsas desechables y otros plásticos, por lo que se han implementado nuevas estrategias para reducir el consumo de este ,como lo es la actualización de la reforma implementada por la Ley para la gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos, de Manejo Especial y Peligroso del Estado de Campeche que tiene como objetivo erradicar el consumo específicamente de bolsas de acarreo y popotes de plástico de un solo uso, tomando en cuenta que es importante la disminución puesto que el mal manejo de este tipo de productos llega a las zonas costeras del estado.

Por lo cual, la problemática principal que se pretende atacar es el uso excesivo de popotes de plástico que se consumen en Ciudad del Carmen. Este proyecto recae en una idea de negocio que consiste en la elaboración y comercialización de popotes elaborados a base de carrizo de bambú que tiene como finalidad satisfacer las necesidades de los clientes potenciales a nivel local, ofreciendo un producto innovador y amigable con el medio ambiente.

Por ello, el producto que se lanza al mercado es STRAW, popotes de bambú con diseños personalizados. Crear un producto como este, surge a partir de la problemática existente del uso excesivo de popotes de plástico que terminan afectando al entorno.

Proceso de Inversión

Un primer trabajo denominado Proyecto integrador "Diseño de un plan de negocios para la comercialización de sorbetes de madera en la ciudad de Guayaquil" cuyo objetivo fue el diseño de un plan de negocios para la comercialización de sorbetes de bambú con el fin de disminuir el uso de sorbetes hechos a base de plástico [2]. Este trabajo se relaciona con la investigación en curso dado que se realiza un estudio previo sobre un plan de negocios dirigido a la comercialización de un producto que esté elaborado de un material que sustituya al plástico, disminuya la contaminación y el uso de sorbetes que son bastante dañinos al medio ambiente.

Un segundo trabajo de tesis "Modelo de negocio para la producción y comercialización de envases biodegradables a base de cascarilla de arroz", la cuestión central discutida en detalle en este documento es: diseñar una fábrica de envases descartables biodegradables a partir de la cascarilla de arroz [3]. Para ello, se basó en un modelo de negocio que incluye el estudio de mercado, estudio tecnológico y financiero.

Seguido a esto, en el trabajo de grado, que es un plan financiero "Viabilidad de la producción y comercialización de pitillos biodegradables a base de plantas" como objetivo principal de la investigación encontramos: Evaluar la factibilidad de la producción y comercialización de pitillos biodegradables a base de plantas [4]. Para ello, se basó en un modelo financiero donde los resultados de este estudio nos muestran que el proyecto es viable y la demanda del producto irá aumentando debido a las nuevas regulaciones nacionales e internacionales que se han ido implementado a través de los años con el fin de erradicar el uso de plásticos.

Estos estudios arrojan resultados que subrayan las conclusiones obtenidas en gran parte de los trabajos previos revisados en este campo estudiado, en donde se puede identificar que el proceso de inversión es un instrumento, que se utiliza como un enfoque que pretende ser universal y aportar una forma metodológica para explicar el proceso antes mencionado en los proyectos de inversión que buscan solucionar problemas o necesidades humanas por medio de etapas en los procesos de proyectos de inversión.

Entendiéndose el proceso de inversión como etapas secuenciales en el cual se requieren de una serie de pasos para su preparación y evaluación.

Contaminación

En estos momentos es necesario tratar el tema de la contaminación, para así poder comprender como minimizar el impacto de este utilizando el proceso de inversión como un instrumento de respuesta a una problemática tan importante como lo es la contaminación del medio ambiente por el alto consumo de popotes de plástico y que son de uso común en nuestra sociedad.

En cuanto a contaminación se puede definir como: "Alterar nocivamente la pureza o las condiciones normales de una cosa o un medio por agentes químicos o físicos" [5].

La contaminación es "una alteración o degradación del ambiente y sus componentes" por lo que se entiende que esta acción implica un impacto en el ecosistema, afectando a personas, especies y otros factores que se producen a través de esta alteración como lo son las enfermedades, extinción de especies, fenómenos meteorológicos entre otras situaciones. [6]

En la actualidad, la contaminación es una de las más grandes preocupaciones a nivel mundial, lamentablemente es un proceso que involucra todos los ambientes como lo son el aire, agua y suelo. La cantidad de contaminantes que aportan las sociedades y las grandes industrias comprometen cada día la calidad de vida de nuestro planeta, se debe tomar en cuenta que es la contaminación un proceso inevitable de malos hábitos que se tienen y que serían muy difíciles de eliminar. Es por ello que se debe hacer conciencia de la situación desde distintos puntos,

ya sea como gran industria, productor, empresario o ciudadano para minimizar los contaminantes que se producen y enfocar los esfuerzos en generar cambios positivos en el ambiente.

De acuerdo con las definiciones mencionadas anteriormente acerca de la contaminación, se puede identificar que existen muchos factores contaminantes que influyen en el deterioro de la calidad ambiental, es por ello, por lo que se aborda también el tema de los popotes ya que estos se consideran como uno de los productos más dañinos para el ambiente.

Los proyectos de inversión tienen su punto de partida en el diseño de propuestas de solución a los problemas que se presenten en las organizaciones y se realizan de forma detallada, que implica la asignación de recursos económicos, humanos y materiales, que permitan realizar gestiones que encaminen a las ganancias económicas futuras.

Con esto queremos decir que un proyecto de inversión es una sucesión de egresos e ingresos de efectivo que se dan en diferentes momentos del tiempo, con el objetivo de tener un beneficio económico.

Metodología

Por otro lado, la metodología realizada en este trabajo de investigación en un inicio fue exploratoria de carácter documental, debido al análisis de la literatura existente sobre el proceso de los proyectos de inversión, así mismos temas relacionados a la contaminación de los productos de un solo uso como lo es el popote de plástico, el cual nos permitió definir y analizar los conceptos antes mencionados para así elaborar el marco teórico.

Posteriormente se transitó a una investigación práctica, en la cual consiste en la elaboración de una de las primeras etapas del proceso de inversión que es la preinversión.

Además, se llevó a cabo dos fases que integran la primera etapa de la formulación y evaluación de los proyectos de inversión, la cual inicial con el proceso de la identificación, que consta de un nivel de estudio que es la gran visión, esta permitió realizar un análisis del sector.

La segunda fase que es la formulación y evaluación, que está formada por tres niveles de estudios que son el perfil, la prefactibilidad y factibilidad del proyecto, y finalmente, se llevó a cabo análisis más detallados como lo es el estudio de mercado, técnico, administrativo, legal, ambiental y financiero.

El análisis de este proyecto de investigación se realizó con la finalidad de evaluar la rentabilidad económica y financiera del proyecto de inversión para la elaboración de popotes de bambú en Ciudad del Carmen, Campeche.

Resultados y Discusión

El primer estudio aplicado es el de mercado, el cual establece la cantidad de clientes que, en cierta área geográfica de la ciudad y bajo determinadas condiciones económicas, los posibles clientes estarían dispuestos adquirir los popotes elaborados a base de bambú. A través de dicho estudio se trata de identificar las características del mercado para determinar si el producto será aceptado por los posibles consumidores y constatar la existencia de una necesidad que permita estimar la cantidad de clientes potenciales.

Dicho lo anterior, es necesario presentar de forma clara las características del producto a lanzar al mercado, así como de identificar la oferta y la demanda que permita realizar las proyecciones de las tendencias y variables que afectan las ventas, efectuar un pronóstico de la demanda, estudiar los aspectos de comercialización y por último establecer un programa de ventas que detalle las condiciones bajo las cuales se llevaran a cabo. Las variables del mercado a estudiar son: Características del producto, Precios, Promoción y Canales de distribución.

El producto que se ofrece son popotes elaborados de carrizo de bambú 100 % artesanales.

Se caracteriza por ser:

- Durable y reutilizable.
- De fácil degradación.
- Elaborados a mano.

 ISSN: 2007 8102

- 100% Carrizo de Bambú.

En esta etapa del estudio de mercado se utilizaron dos fuentes de información: primarias y secundarias, la cual nos permitieron recabar las opiniones de los posibles clientes y así determinar que hay todas las condiciones necesarias para ofrecer nuestro producto al mercado.

Las fuentes primarias nos permitieron identificar de manera detallada las necesidades y preferencias de nuestros posibles clientes, tales como: Variables socioeconómicas, Frecuencia de uso de los popotes, Características del producto, Precio dispuesto a pagar por el producto y Necesidades de uso.

Para obtener la información antes mencionada se aplicó un cuestionario directamente a potenciales clientes, realizando la recolección de información mediante encuestas (fuentes primarias).

Para la determinación del tamaño de la muestra, se utilizó la técnica de muestreo no probabilístico por conveniencia, tomando en consideración una población finita de a 235 calculada con un margen de error de +/- 5%, con base en un nivel de confianza del 95%.

Con los datos anteriores, se calculó el tamaño de la muestra mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

N = Total de la población de 234 de la colonia.
Z= 1.96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%)
p = proporción esperada (en este caso 5% = 0.05)
q = 1 – p (en este caso 1-0.05 = 0.5)
e = precisión (en esta investigación un 5%).

$$n = \frac{234 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (235-1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 145$$

El resultado de la aplicación de la formula anterior, nos indica que el tamaño de la muestra recomendado es de 145 y se interpreta de la siguiente manera: *Si se encuesta a 145 el 95% de las veces el dato que se quiere medir estará en el intervalo +/- 5% respecto al dato que se observa en la encuesta*.

Según los datos de la encuesta realizada se determinó que el uso de los popotes es más común en las personas del sexo femenino que el masculino. La población a la cual va dirigida nuestro producto de popotes elaborados a base de bambú es para empresarios considerados potenciales compradores específicamente en Ciudad del Carmen, Campeche, los cuales tengan la necesidad de consumo de este producto por el giro de su empresa, sin importar el género, raza, religión o nivel socioeconómico que les permita pagar por el producto.

En relación con las especificaciones técnicas del producto, pueden observarse en la Tabla 1 las medidas y longitudes del mismo.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del producto

Popotes		Medidas (mm y cm)
Longitud		24 cm
	Diámetro Interno.	2.5 mm - 4.5mm
	Diámetro externo	1 Cm

En cuanto al aspecto legal y administrativo el proyecto estaría constituido bajo la figura de una persona física en el nuevo régimen fiscal: Régimen Simplificado de Confianza

 ISSN: 2007 8102

La organización consiste en proporcionar una estructura formal encaminada al logro de metas específicas que se llevan a cabo por medio de los elementos humanos dentro de esta misma y que realizan actividades con el fin de alcanzar los objetivos señalados.

En la Figura 1 podemos observar una estructura organizacional con autoridad lineal.



Figura 1. Estructura Organizacional

El análisis económico-financiero nos permite determinar la rentabilidad del proyecto de inversión, para lo cual es necesario elaborar los principales estados financieros de la empresa que son: Estado de Resultados Proforma proyectados a 5 años (Figura 2), y Balance General Proforma (Figura 4).

Del mismo modo, mediante el apoyo de los indicadores financieros se puede tomar la decisión de aceptar o rechazar un proyecto de inversión utilizaremos aquellos que consideran el valor del dinero en el tiempo, como son: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Relación Beneficio-Costo (B/C).

De acuerdo con la Figura 2 de los estados financieros proforma las ventas en los tres años son iguales suponiendo que los productos a vender serán constantes. La utilidad bruta representa el 36.95% de las ventas netas en los 5 años. La utilidad antes de impuestos para el primer año es de 15.33% de las ventas netas, para el segundo año 18.39%, 20.22% en el tercer año, para que el quinto año es de 22.98%. La utilidad neta del primer año 9.59% de las ventas netas, 12.16% en el segundo año y 14.03% del tercer año, teniendo un crecimiento en los primeros tres años de 4.44%, por los cinco años se tiene un crecimiento del 13.58%

	ESTADO DE RESULTADOS					
	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	TOTAL
Ventas	576,000.00	576,000.00	576,000.00	576,000.00	576,000.00	2,880,000.00
Costo de Ventas	363,168.00	363,168.00	363,168.00	363,168.00	363,168.00	1,815,840.00
Utilidad Bruta	**212,832.00**	**212,832.00**	**212,832.00**	**212,832.00**	**212,832.00**	1,064,160.00
Gastos de Operación	75,900.00	75,900.00	75,900.00	75,900.00	75,900.00	379,500.00
Utilidad antes de depreciaciones	**136,932.00**	**136,932.00**	**136,932.00**	**136,932.00**	**136,932.00**	684,660.00
Depreciaciones y amortizaciones	16,673.28	6,373.36	6,073.24	4,539.96	4,539.96	38,199.80
Utilidad después de depreciaciones y amortizaciones	**120,258.72**	**130,558.64**	**130,858.76**	**132,392.04**	**132,392.04**	646,460.20
Resultado Integral de Financiamiento	31,960.00	24,626.53	14,363.34	-	-	70,949.87
Utilidad antes de impuestos	**88,298.72**	**105,932.11**	**116,495.42**	**132,392.04**	**132,392.04**	575,510.33
Impuestos	33,071.15	35,903.63	35,986.14	39,717.61	39,717.61	184,396.14
Utilidad Neta	**55,227.57**	**70,028.48**	**80,509.28**	**92,674.43**	**92,674.43**	**391,114.19**

Figura 2. Estados de Resultados proforma proyectados a 5 años

Podemos apreciar en la Figura 3 que las depreciaciones son reducción del valor de un activo fijo (excepto terrenos) de forma sistemática, hasta que su valor llegue a cero o sea despreciable. Por lo tanto, vemos que el valor de las depreciaciones del año 1 al año 5 disminuyen esto debido a que existen activos fijos que se terminan de depreciar en el año 3.

DEPRECIACIONES	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Activos con Vida útil de 2 años	300.00	300.00	-	-	-
Activos con Vida útil de 3 años	1,533.36	1,533.36	1,533.28	-	-
Activos con vida útil con 5 años	339.96	339.96	339.96	339.96	339.96
Activos con vida útil de 10 años	4,200.00	4,200.00	4,200.00	4,200.00	4,200.00
DEPRECIACION POR AÑO	**6,373.32**	**6,373.32**	**6,073.24**	**4,539.96**	**4,539.96**
DEPRECIACIÓN ACUMULADA		**12,746.64**	**18,819.88**	**23,359.84**	**27,899.80**

Figura 3. Depreciaciones a 5 años

En la Figura 4 con referencia al Balance General Proforma se puede apreciar que el efectivo y equivalente del efectivo del año 1 al año 5 tiene un incremento de 295,769.78. Existe Activos fijos que se deprecian al termino del año 3, los acreedores bancarios para último año de la proyección es 0, ya que el año 3 se cubre en su totalidad el adeudo que se contrajo. Respecto a las utilidades desde el primer año se tuvo una utilidad 55,227.57 y esta ha ido incrementando ya que en el año 5 se tuvo 92,674.43.

ACTIVO			PASIVO	
CIRCULANTE		400,578.01	**CIRCULANTE (CORTO PLAZO)**	-
EFECTIVO Y BANCOS		400,578.01	PROVEEDORES	-
CUENTAS POR COBRAR		-		
INVENTARIOS DE INSUMOS		-		
FIJO		21,000.20	**FIJO (LARGO PLAZO)**	0.01
1 ACTIVOS CON VIDA UTIL HASTA DE 2		600.00	BANCARIOS PAGOS PERIODICOS	0.01
2 ACTIVOS CON VIDA UTIL DE 3 AÑOS		4,600.00	BANCARIOS PAGO FINAL	-
3 ACTIVOS CON VIDA UTIL DE 4 AÑOS		-	BANCARIOS INTERES ANUAL	-
4 ACTIVOS CON VIDA UTIL DE 5 AÑOS		1,700.00		
5 ACTIVOS CON VIDA UTIL DE 10 AÑOS		42,000.00		
6 ACTIVOS CON VIDA UTIL DE 20 AÑOS		-		
DEPRECIACIONES	-	27,899.80	**CAPITAL**	
			TOTAL CAPITAL	421,578.20
DIFERIDO		-	APORTADO	30,464.00
GASTOS PREOPERATIVOS		10,300.00	RESULTADO EJ. ANT	298,439.77
AMORTIZACIONES	-	10,300.00	RESULTADO	92,674.43
SUMA TOTAL DEL ACTIVO		**421,578.21**	PASIVO MAS CAPITAL	**421,578.21**

Figura 4. Balance General Proforma

Aun cuando los resultados son positivos, se debe dar seguimiento al proyecto de inversión como tal en la marcha del negocio en tiempo real, para ir midiendo el cumplimiento de los cálculos, el cual los resultados propiciarán a un próximo trabajo para confirmar los indicadores obtenidos en la preinversión.

Conclusiones

En el cálculo del VPN la inversión y los activos tendrán un horizonte de tiempo de cinco años los cuales producirán diferentes flujos de efectivo. Al calcular el valor presente neto, arroja un valor de $95,403.00, dicho importe representa la ganancia adicional después de recuperar la tasa de rendimiento exigida por los inversionistas y el monto de la inversión inicial.

Se puede observar en la TIR que arroja el proyecto a cinco años con una inversión de $110,464.00 fue de 58.79%, que es mayor a la tasa de la referencia. Por tanto, esta técnica de evaluación de proyectos indica que el proyecto es factiblemente viable en términos financieros.

De acuerdo con el resultado del cálculo del índice de rendimiento que representa el valor actual de los flujos divididos entre la inversión inicial neta da como resultado $1.86, esto significa que los flujos de efectivo son suficientes para recuperar el monto de la inversión y el costo del proyecto.

El cálculo del costo beneficio indica que si el C/B>1 demuestra que los beneficios son mayores a los costos. En consecuencia, el proyecto debe ser considerado. Esto significa que por cada peso invertido se obtiene un beneficio del 86.36%.

El Periodo de recuperación descontado indica el tiempo en el que se recupera la inversión inicial, de acuerdo con el resultado de Evaluación financiera, se observa que la inversión de este proyecto se recupera en el año 1.

Referencias

[1] Secretaría de Medio Ambiente, Biodiversidad y Cambio Climático (12 de febrero 2021). Vamos por un "Campeche sin Plásticos". [on line] Disponible en: https://www.semabicc.campeche.gob.mx/prensa/vamos-por-un-campeche-sin-plasticos/

[2] M.F. Merchán Caiche y M.A. Arrieta Hernández. Diseño de un plan de negocios para la comercialización de sorbetes de madera en la ciudad de Guayaquil (Bachelor's thesis). 2019

[3] A. A. Ávalos Mezones y I.C. Torres Bazán. Modelo de negocio para la producción y comercialización de envases biodegradables a base de cascarilla de arroz (tesis).2018

[4] T. Botero Ramírez, y C. González Barreneche. Viabilidad de la Producción y Comercialización de Pitillos Biodegradables a Base de Plantas (tesis). 2021

[5] Real Academia Española. (15 de julio de 2022). Contaminar [on line). Disponible en: https://dle.rae.es/contaminar

[6] R. Vega Torres, y A. Vega Torres. Efectividad de la normativa legal de prevención y control de la contaminación ambiental producida por fuentes móviles en el cantón Cuenca [Trabajo de investigación de Grado. Universidad Católica de Cuenca].2022.

[7] P. Orellana (17 de abril del 2020). Proyectos de inversión. Economipedia. [on line] Disponible en: https://economipedia.com/definiciones/proyecto-de-inversion.html

 ISSN: 2007 8102

Estrategia de exploración de aptitudes emocionales del estudiante de ingeniería en sistemas computacionales

I.E. Corzas García[1], M.E Chamosa Sandoval[2], Y. Martin Franco[3], B.N Jaramillo Islas[4]*
[1]Universidad Justo Sierra ivettec@ujsierra.com.mx, [2]Universidad Justo Sierra mchamosa@ujsierra.com.mx,
[1]Universidad Justo Sierra ymartinf@ujsierra.com.mx, [2]Universidad Justo Sierra
bnjaramillo@ujsierra.com.mx,

***Área de participación**: Investigación educativa*

Resumen

El objetivo de este proyecto de investigación fue diseñar una estrategia de intervención educativa mediante el uso de tecnologías, que permitiera el registro, análisis y exploración del estado emocional de los estudiantes de ingeniería en sistemas computacionales de una universidad privada en la ciudad de México, todo esto con la intención de identificar si el estudiante poseía la aptitud de reconocer sus emociones, patrones y estados emocionales de alerta y con ello canalizarlos y brindarles apoyo oportuno. Esta propuesta se diseñó con la intención de medir la prevalencia de emociones positivas y negativas (reflejadas en un semáforo verde, naranja, amarillo y rojo) y ubicar si bajo ciertas condiciones existió algún incremento en las emociones. En conjunto, estos aspectos subrayan la relevancia de abordar la dimensión emocional en la educación de Ingeniería en Sistemas, generando un aprendizaje holístico y formando individuos con habilidades emocionales y sociales significativas para su desarrollo futuro.

***Palabras clave**: educación, emociones, tecnología*

Abstract

The objective of this research project was to design an educational intervention strategy through the use of technologies, which would allow the recording, analysis and exploration of the emotional state of engineering students in computer systems of a private university in Mexico City, all this with the intention of identifying if the student had the ability to recognize their emotions, patterns and emotional states of alert and thereby channel them and provide timely support. This proposal was designed with the intention of measuring the prevalence of positive and negative emotions (reflected in a green, orange, yellow and red traffic light) and to locate if under certain conditions there was any increase in emotions. Taken together, these aspects underscore the relevance of addressing the emotional dimension in Systems Engineering education, generating holistic learning and training individuals with significant emotional and social skills for their future development.

***Key words**: education, emotions, technology*

Introducción

En términos generales, se puede afirmar que la inteligencia emocional constituye un conjunto de competencias y aptitudes en el ámbito emocional y social que ejercen un impacto significativo en nuestra habilidad global para afrontar de manera eficaz las exigencias de nuestro entorno [1]. Daniel Goleman, una figura fundamental en la construcción de esta definición, describe la inteligencia emocional como una serie de rasgos que incluyen la habilidad para automotivarse, perseverar ante desafíos a pesar de las frustraciones, controlar impulsos, regular el propio estado emocional y prevenir que la angustia interfiera en la toma de decisiones en situaciones problemáticas específicas [2]. Estas nociones cimentan la base conceptual que subyace en la comprensión y aplicación de la inteligencia emocional.

Por otro lado, según García Ancira (2020) [3], se puede señalar que una persona que posee una inteligencia emocional desarrollada demuestra mayor habilidad para gestionar las emociones negativas de manera eficiente, lo que amplía sus oportunidades para alcanzar estados de bienestar. Asimismo, al cultivar aptitudes empáticas, un sujeto puede lograr una mejora significativa en su capacidad de establecer relaciones interpersonales sanas y enriquecedoras. En una línea similar, la perspectiva de Soriano Márquez y Díaz Cerón (2019) [2] sugiere que

 ISSN: 2007 8102

la inteligencia emocional se refiere a la habilidad para percibir y comprender tanto las propias emociones como las de los demás.

Un elemento esencial dentro del constructo de la inteligencia emocional radica en las aptitudes emocionales, las cuales engloban una serie de destrezas, ya sean innatas o adquiridas de manera consciente, que facilitan la comprensión y el manejo de las propias emociones. En este sentido, la perspectiva de García Cabrero (2018) [4] identifica las aptitudes emocionales como la capacidad para tomar decisiones y anticipar escenarios de manera intencionada, permitiendo así la formulación de planes de acción en respuesta a situaciones específicas. Esto se logra mediante la coordinación hábil de competencias, conocimientos, habilidades, razonamiento y valores. Lo anterior enfatiza el papel central de las aptitudes emocionales en la inteligencia emocional y su aplicabilidad en el proceso de toma de decisiones y planificación estratégica.

De igual modo, las aptitudes emocionales desempeñan un papel crucial al permitir a los individuos discernir las emociones de aquellos que los rodean y responder empáticamente en consecuencia. Esta habilidad empática se integra de manera significativa en el contexto de la inteligencia emocional, donde se busca aplicar estas aptitudes de manera eficaz en situaciones cotidianas a través de la toma de decisiones informadas. En este contexto, la perspectiva de Mórtigo Rubio y Rincón Caballero (2018) [5] cobra relevancia al destacar cómo la aplicación del manejo emocional en el entorno de la educación superior surge como una respuesta a necesidades sociales no abordadas en el aula, contribuyendo así a la mitigación de aspectos como la violencia, la agresión y los conflictos que pueden surgir en el proceso educativo.

Daniel Goleman ha subrayado la relevancia de las aptitudes emocionales no solo en el ámbito académico y laboral, sino también en la esfera general de la vida. De manera particular, el autor ha señalado que estas aptitudes poseen una influencia aún más significativa que la mera inteligencia y habilidades técnicas en la consecución del desempeño laboral sobresaliente. En consecuencia, Goleman (2022) [6] ha enfatizado la importancia de fomentar la educación socioemocional en las instituciones educativas, según las palabras del autor, para cultivar un entorno de aprendizaje enriquecedor y seguro. Investigaciones actuales, respaldadas por análisis teóricos y empíricos, han subrayado cómo el estado emocional puede impactar la motivación, la atención y la retención de información entre los estudiantes. En este sentido, el papel del docente universitario se destaca como esencial, ya que su compromiso en el desarrollo emocional de los estudiantes debe manifestarse a lo largo de todas las etapas del proceso educativo.

En el marco del proceso de enseñanza-aprendizaje en la Educación Superior, se reconoce la trascendencia vital de las emociones, especialmente en el contexto que emerge tras la pandemia. En este sentido, cobra una urgencia apremiante la incorporación de la investigación educativa que abarque el terreno emocional, con el propósito de brindar apoyo a los estudiantes en sus esfuerzos de autorregulación [7]. En este nuevo contexto, se abre la oportunidad de abordar de manera más profunda y efectiva los aspectos emocionales que impactan el proceso de enseñanza y aprendizaje en la Educación Superior.

De acuerdo con lo planteado líneas arriba, se considera de relevancia abordar de manera específica los efectos socioemocionales que afectan a los estudiantes universitarios en el escenario post pandemia En este contexto, resaltan investigaciones como la de Delgado Coronado (2022) [8] la cual pone de manifiesto cómo el confinamiento ha desencadenado una alteración en la regulación psicoemocional de la comunidad educativa. Las restricciones en la interacción social, como respuesta a la pandemia, intensificaron la presencia de emociones adversas, tales como ansiedad, estrés y frustración, entre los estudiantes [8]. Esta correlación directa entre la identificación de los impactos emocionales y la urgente necesidad de involucrar la investigación educativa en esta esfera subraya la importancia de respaldar el desarrollo de habilidades de autorregulación emocional y enriquecer la vivencia de aprendizaje en el entorno universitario contemporáneo.

En esta misma línea, pero con una focalización más específica, la exploración de las aptitudes emocionales en estudiantes de ingeniería se presenta como una necesidad evidente, dadas las complejas y desafiantes exigencias intrínsecas a esta disciplina. Los estudiantes de ingeniería, con frecuencia, se enfrentan a exigencias académicas arduas y la necesidad de resolver problemas técnicos de alta complejidad en contextos colaborativos. La capacitación en aptitudes emocionales no solo apoyaría a estos estudiantes para enfrentar la presión y mantener una motivación sostenida, sino también podría ser de gran utilidad para perfeccionar sus habilidades de interacción interpersonal, elementos esenciales para destacar en proyectos de equipo y establecer una comunicación efectiva con colegas, autoridades y clientes.

 ISSN: 2007 8102

Se han identificado trabajos académicos que documentan abordajes y la evaluación de indicadores relacionados con la inteligencia emocional En este sentido, Saavedra Odar (2022) [9] valida, a través de un estudio empírico respaldado por múltiples investigaciones similares, que los estudiantes de Ingenierías a menudo encuentran dificultades en la creación de estrategias para enfrentar situaciones conflictivas o estresantes que involucran complejidades emocionales; lo que puede acarrearles efectos desagradables de corto plazo [9].

En este contexto, se considera de relevancia diseñar una propuesta de intervención educativa que aborde directamente la necesidad de fortalecer las aptitudes emocionales de los estudiantes de ingeniería en sistemas computacionales en una universidad privada de la Ciudad de México. Por lo anterior, aquí se presenta una propuesta de intervención que se sustenta no solo en la falta de iniciativas documentadas en este campo, sino también en la inherente importancia de cultivar destrezas emocionales en futuros ingenieros.

Metodología

El objetivo general del proyecto fue diseñar una estrategia de intervención educativa respaldada por tecnologías, que permita registrar, analizar y explorar el estado emocional exhibido por los estudiantes de ingeniería en sistemas computacionales pertenecientes a una universidad privada en CDMX con la intención de detectar la capacidad de los estudiantes para identificar sus propias emociones, así como en el reconocimiento de patrones y estados emocionales de alerta, con miras a canalizarlos de manera oportuna al servicio especializado de psicopedagogía.

Esta iniciativa está enfocada en brindar apoyo en momentos oportunos. Además, busca la evaluación cuantitativa de la prevalencia de emociones tanto positivas como negativas, al tiempo que investiga la posibilidad de un aumento en la manifestación de emociones bajo condiciones particulares.

En esta línea de ideas, los objetivos específicos fueron:

- Analizar y presentar una revisión sistemática de estudios previos para respaldar la relevancia de las emociones en el entorno educativo, a fin de justificar la adopción de la estrategia propuesta.
- Evaluar y comparar diversas herramientas viables para el registro, análisis y exploración del estado emocional de los estudiantes, examinando sus atributos distintivos.
- Seleccionar la herramienta más apropiada que facilite de manera óptima la exploración, registro y análisis del estado emocional de los estudiantes en el contexto académico.
- Garantizar la pertinencia de la metodología de intervención propuesta, a través de una evaluación preliminar.

Metodología para la validación del proyecto

Se realizó un proceso de validación por parte de pares expertos, el cual fue llevado a cabo de manera sistemática y ordenada. Este enfoque riguroso se implementó con el fin de asegurar la eficacia y viabilidad del proyecto. La metodología de investigación empleada para este procedimiento fue una combinación de enfoques cualitativos y cuantitativos, por tanto, el procedimiento se cataloga como mixto. Se utilizó un enfoque cualitativo inductivo para comprender en profundidad las percepciones y experiencias de los participantes, mientras que el uso de evaluaciones constituyó un enfoque cuantitativo para recopilar datos numéricos y medibles. Además, la metodología fue de carácter descriptivo, enfocándose en describir y analizar detalladamente las dinámicas emocionales y sociales de los estudiantes en relación con la estrategia de intervención propuesta. Esta investigación tuvo un alcance exploratorio y analítico, permitiendo obtener una visión comprensiva y enriquecedora de la efectividad y adaptabilidad del proyecto. Cabe mencionar que las pruebas se aplicaron con estudiantes de diversas licenciaturas que de manera voluntaria se prestaron a probar el procedimiento. El piloto definitivo se llevará a cabo de manera exclusiva con estudiantes de ingeniería en sistemas computacionales.

A continuación, se presenta un resumen detallado de cómo se desarrolló este proceso:

 ISSN: 2007 8102

1. **Definición del Objetivo de Validación:** El equipo de docentes estableció claramente el propósito de la validación, que incluía poner a prueba el mecanismo del proyecto, el funcionamiento de la herramienta tecnológica y la adecuación del procedimiento didáctico propuesto.

2. **Diseño de las Pruebas Iniciales:** Se diseñaron las pruebas iniciales que abordarían distintos aspectos del proyecto. Estas pruebas se enfocaron en evaluar la idoneidad del procedimiento, la claridad de las instrucciones proporcionadas a los estudiantes y la objetividad de las respuestas recopiladas.

3. **Realización de las Pruebas Preliminares**: Se realizaron las primeras pruebas con un grupo reducido de participantes, seleccionados por el equipo de docentes a partir de una propuesta voluntaria dirigida a los estudiantes. Durante estas evaluaciones, se identificaron áreas potenciales de mejora y se recopilaron valiosos comentarios que permitieron ajustar tanto el procedimiento como la herramienta.

4. **Evaluación y Análisis de los Resultados:** Después de cada prueba, se realizaron análisis de los resultados obtenidos. Se evaluó la pertinencia de los criterios asignados al semáforo de emociones y se analizó la coherencia de las respuestas obtenidas por parte de los participantes.

5. **Ciclo repetitivo y Mejora Continua:** Con base en los resultados y retroalimentación de las pruebas, se realizaron ajustes en el procedimiento y la herramienta. Se realizaron repeticiones sucesivas, mejorando aspectos como la claridad de las instrucciones, la comprensión de las emociones representadas por los emojis y la eficacia del proceso en general.

6. **Validación entre Pares Expertos:** El equipo de docentes involucradas en el proyecto realizó una validación cruzada, donde cada miembro evaluó las pruebas realizadas por las otras docentes. Esto permitió obtener una perspectiva integral y enriquecedora, validando así la efectividad del proyecto desde diferentes enfoques.

7. **Elaboración de la Versión Final:** Después de múltiples repeticiones y evaluaciones, se elaboró la versión final del proyecto, que integra las mejoras y ajustes realizados a lo largo del proceso de validación.

8. **Planificación del Piloto**: Con la versión final que se muestra a continuación, y con base en los resultados obtenidos en la validación entre pares expertas, se llevará a cabo la realización de un piloto con dos grupos de ingeniería en sistemas computacionales, uno experimental y otro de control.

Desarrollo de la propuesta

Durante la labor docente, el educador se posiciona como un observador constante del estudiante, cultivando en él el interés por el aprendizaje y mediando entre la búsqueda de recursos y el proceso de adquisición de conocimientos. Además, cumple el rol de facilitador de la interacción entre los estudiantes, estableciendo límites definidos para preservar no solo el espacio de aprendizaje, sino también para abordar la resolución de conflictos. Adicionalmente, fomenta la interconexión entre compañeros, lo que contribuye al desarrollo de diversas habilidades, competencias y capacidades de utilidad a lo largo de la vida estudiantil. En consecuencia, el docente está en posición de identificar posibles factores socioemocionales que puedan requerir intervención. El docente actual se enfrenta a nuevos retos educativos entre ellos el de cubrir nuevas tendencias educativas en las que podemos incluir la emoción y el sentimiento además de las mostradas en la siguiente ilustración 1:

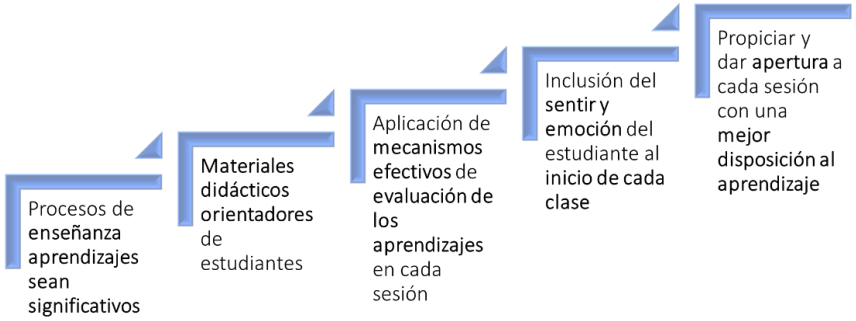


Ilustración 1 Necesidades actuales en el aula

 ISSN: 2007 8102

A partir de lo expuesto, surge la necesidad de indagar en las aptitudes emocionales de los estudiantes con el propósito de mantener un ambiente de confianza en el aula. Esta búsqueda se traduce en la implementación de una estrategia que pueda equipararse a un apoyo emocional, proporcionando a los estudiantes un espacio de contención y respaldo. En este tenor, se plantea una intervención basada en la pregunta de investigación: ¿De qué manera puede plantearse una representación significativa del estado emocional de los estudiantes de ingeniería en sistemas computacionales en una universidad privada de la CDMX, a fin de establecer una intervención educativa basada en tecnología que se enfoque en el reconocimiento temprano de las emociones?

Daniel Goleman (2022) [6], en su obra "La Inteligencia Emocional", profundiza en la naturaleza de las emociones al definirlas como “impulsos para la acción”, los cuales pueden desencadenar y direccionar las acciones y respuestas ante diversas situaciones. Según Goleman, estas fuerzas emocionales intrínsecas no solo influyen en la percepción del entorno y las interacciones sociales, pues también moldean decisiones y conductas

Asimismo, el enfoque de Feldman (2018) [10] añade una perspectiva esclarecedora a la esencia de esta propuesta, introduciendo el concepto de "granularidad emocional". Feldman define este término como el grado de detalle que distingue la manifestación de una vivencia afectiva, lo cual implica cuán precisos somos al expresar nuestras emociones. Al buscar explorar y potenciar las aptitudes emocionales de los estudiantes, estamos también impulsando una mayor capacidad para expresar y comunicar sus emociones de manera detallada y efectiva. Esta habilidad no solo fortalecerá su autorreflexión y autoconocimiento, sino que también contribuirá a crear un ambiente de confianza y comprensión en el aula, esencial para el éxito de la propuesta. Así, la noción de "granularidad emocional" de Feldman se integra armónicamente en nuestra iniciativa, enriqueciendo la forma en que los estudiantes exploran, comprenden y expresan sus emociones dentro del contexto educativo.

Estrategia de exploración de aptitudes emocionales del estudiante

Para desarrollar la estrategia se realizó una búsqueda de herramientas sencillas, atractivas e interactivas que permitieran recabar la información sobre el estado emocional del estudiante, entre las cuales se revisaron las que se presentan en la Ilustración 2.

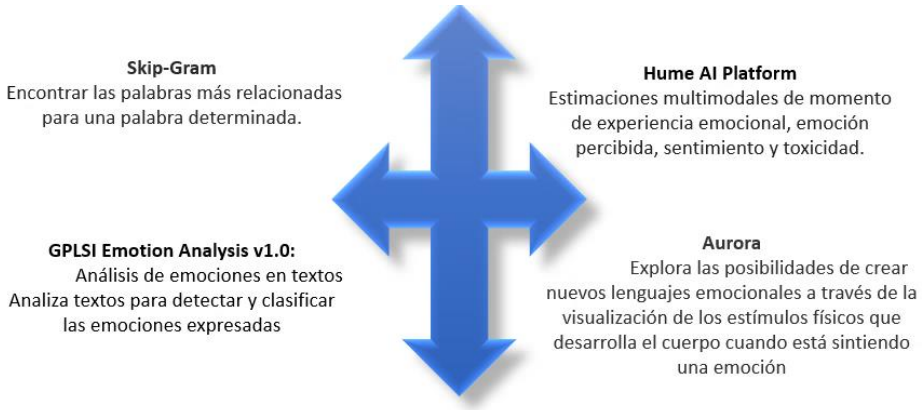


Ilustración 2 Herramientas revisadas para el desarrollo de este proyecto.

Tras el análisis se decidió seleccionar aquella que fuera de fácil acceso, atractiva, dinámica, gratuita y con la facilidad de registrar datos fáciles de obtener y procesar, por lo que se seleccionó la herramienta Reflect® de la Suite Microsoft@.

De acuerdo con Microsoft Reflect®

> *…esta herramienta permitirá reconocer y manejar sus emociones ofreciéndoles regularmente oportunidades para compartir y ser escuchados, a fin de promover una comunidad saludable en el aula, dicha aplicación permite ampliar el vocabulario emocional de los estudiantes y profundiza la empatía con sus compañeros, tiene la ventaja de uso gratuito, que a través del registro de emojis ayuda a los estudiantes a desarrollar aptitudes sociales y emocionales que permiten mejorar el rendimiento académico y conductual de los estudiantes...* [11].

Reflect® es una aplicación que permite ampliar el vocabulario emocional de los alumnos y profundizar la empatía con sus compañeros, a la vez que proporciona comentarios valiosos a los educadores para una comunidad saludable en el aula [11], esta aplicación es de uso gratuito, que a través del registro de emojis ayuda a los

 ISSN: 2007 8102

estudiantes a desarrollar aptitudes sociales y emocionales que permiten mejorar el rendimiento académico y conductual de los alumnos y además tiene impactos positivos durante su vida.

Después de elegir la herramienta, se procedió a buscar un nombre que los estudiantes pudieran relacionar con el proyecto. Este nombre debía ser fácil de recordar y reflejar tanto las cualidades de la herramienta como el propósito fundamental del proyecto. Fue así como se rescataron las palabras "empatía", "emojis" y "emociones", culminando en la creación del nombre "EMPATICONES". Esta elección se alinea con la esencia del proyecto al destacar la conexión emocional, la expresión visual y la comprensión empática que se busca promover entre los estudiantes.

La estrategia de intervención educativa diseñada consta de la siguiente estructura para identificar el estado emocional de los estudiantes de ingeniería a través de una encuesta corta de opción múltiple, basada en elementos paralingüísticos (emoticones) con lo cual se involucran las emociones de los estudiantes.

La dinámica de la estrategia consta de dos breves encuestas (comprobación) que se deben aplicar al inicio de la clase, la segunda encuesta incluye un video corto disponible en la web. A continuación, se detalla la estrategia paso a paso:

1. Se genera una encuesta corta, llamada *comprobación,* en la herramienta Reflect®, que incluya la pregunta ¿cómo te sentiste esta semana?, como se observa en el ejemplo de la Figura 1.



Figura 1 Opciones de respuesta basada en elementos paralingüísticos (emoticones), elaboración propia, 2023

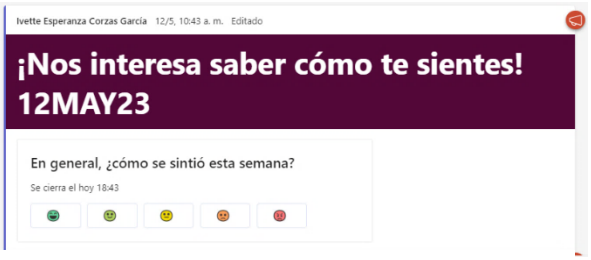


Figura 2 Ejemplo de comprobación 1 en Reflect®, elaboración propia, 2023

2. Al acceder a la plataforma de comprobación, el estudiante tendrá la opción de identificar su estado de ánimo mediante la selección de un emoji, tal como se ilustra en la Figura 2.

3. Tras completar la primera evaluación, el estudiante visualizará un breve video, al que luego responderá en una segunda instancia: ¿Cuál es tu opinión acerca del vídeo sobre "empatía" y qué impresión te dejó al verlo? Para llevar a cabo esta segunda evaluación, se procederá previamente a una selección en conjunto con el departamento psicopedagógico, el director del programa académico y los investigadores de este proyecto. Se conformará una lista de 16 vídeos, uno para cada semana del ciclo escolar, considerando que los temas de los videos contribuirán al estado de ánimo de los estudiantes durante las semanas de exámenes parciales y finales. Un ejemplo de esta segunda evaluación se ilustra en la Figura 3.



Figura 3 Ejemplo de comprobación 2, se incluye un vídeo con intención motivacional, elaboración propia, 2023

4. La herramienta Reflect® registra y almacena la selección de las emociones que los estudiantes identificaron en cada comprobación, como se puede observar en la Figura 4, siendo un semáforo el que refleje a través

 ISSN: 2007 8102

de colores verde, amarillo, naranja o rojo, las emociones registradas, las cuales se pueden observar de forma individual como se muestra en la Figura 5.

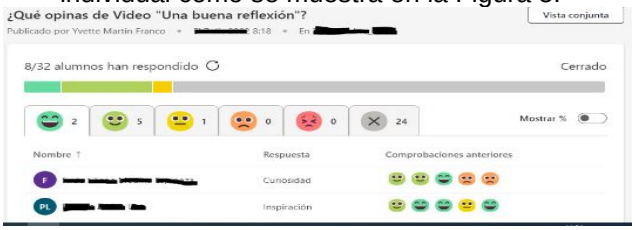


Figura 5 Ejemplo de la vista del registro de emojis por cada estudiante, elaboración propia, 2023

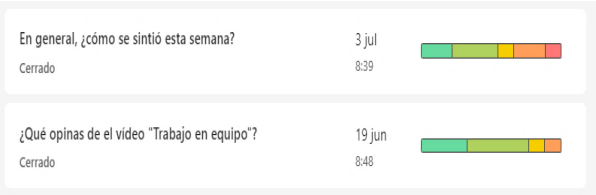


Figura 4 Semáforo de resultados de las emociones seleccionadas por los estudiantes, elaboración propia, 2023

El ciclo escolar de los estudiantes de ingeniería en sistemas computacionales consta de 16 semanas, por lo que se realizarán dos comprobaciones semanales, una que incluya el registro de la emoción sobre cómo se sintieron durante la semana de la publicación y otro que registre la emoción que les generó al ver el vídeo breve con corte motivacional que previamente se seleccionó (serán 16 vídeos de máximo 2 minutos de duración).

5. Se revisará cada comprobación publicada al finalizar la clase, para identificar señales de alerta que reportar al departamento psicopedagógico.

La plataforma ofrece una serie de emojis, designados para este proyecto como "EMPATICONES", los cuales simbolizan diversas emociones. Para la interpretación del estudio, después de la implementación de la prueba piloto, se categorizarán de la siguiente manera: tono verde (emociones positivas), tono amarillo (emociones neutras) y tonos naranja-rojo (emociones de alerta).

Mediante esta estrategia, se espera que los estudiantes experimenten una sensación de atención, consideración y escucha activa, lo que contribuirá a que se sientan atendidos y comprendidos en un entorno seguro. Es fundamental destacar que esta iniciativa se fundamenta en la firme convicción de que el rol del docente consiste en educar sin exceder sus atribuciones, colaborando de manera integrada con las áreas pertinentes, como el departamento psicopedagógico, para garantizar un enfoque completo y equilibrado de apoyo.

Resultados y discusión

Los resultados derivados de la validación del proyecto destacaron el potencial prometedor de la propuesta. A través de la simulación preliminar implementada para validar la dinámica y herramientas planificadas para la iniciativa "EMPATICONES", se pudo observar que esta intervención podría tener un impacto positivo en la identificación precisa de emociones, especialmente en situaciones de desafío académico. Entre los voluntarios que participaron en la prueba piloto (provenientes de diversas disciplinas), se evidenció una disposición de los estudiantes para compartir sus estados emocionales, lo que fomentó un ambiente de apertura y empatía en el aula.

A pesar de la creciente atención que los investigadores educativos han dirigido hacia la inteligencia emocional de los estudiantes de diversas ingenierías desde la primera década del siglo XXI, existe una notoria carencia de iniciativas o proyectos de intervención que se hayan publicado en los últimos diez años y que se centren específicamente en la mejora de las aptitudes emocionales de estos sujetos de estudio. Aunque la literatura refleja una comprensión cada vez más profunda de la importancia de las habilidades emocionales en el éxito académico y profesional de los ingenieros, la ausencia de propuestas activas de intervención representa una brecha significativa en la formación de estos estudiantes.

Los resultados de la validación del proyecto revelaron el potencial de la propuesta. A través de la simulación preliminar realizada a fin de validar la dinámica y herramientas planificadas para la iniciativa, se pudo apreciar que la intervención denominada "EMPATICONES", podrá incidir en la identificación precisa de emociones, especialmente en situaciones de desafío académico. Entre los voluntarios que ayudaron a probar la actividad (los cuales pertenecían a carreras diversas) se evidenció la disposición de los estudiantes para compartir sus estados emocionales, promoviendo un ambiente de apertura y empatía en el aula.

 ISSN: 2007 8102

La discusión de estos hallazgos resalta la relevancia de abordar la inteligencia emocional en el contexto académico. Los resultados de la prueba preliminar apoyan la eficacia de la estrategia puesta a prueba, la cual no solo contribuirá al desarrollo de aptitudes emocionales, sino que también enriquecerá la interacción entre pares y la comunicación docente-estudiante.

Trabajo a futuro

Se tiene planificado llevar a cabo una prueba piloto con los estudiantes de Ingeniería en Sistemas en el próximo ciclo escolar. Durante el proceso de investigación inicial, surgieron algunos desafíos adicionales, como la necesidad de establecer un mecanismo que vincule de manera sistemática la propuesta que aquí se comparte con el Programa Institucional de Tutorías y Asesorías (PITAA), dirigido por la coordinación de psicopedagogía, y la posibilidad de derivar la atención a la Clínica de Psicología universitaria u otros recursos si es necesario.

De acuerdo con lo anterior, esta propuesta también busca enriquecer los procesos de enseñanza y aprendizaje al incorporar elementos emocionales. Esto implica abandonar la estandarización educativa y la despersonalización, y en su lugar, construir y adaptar los modelos educativos existentes de manera individualizada, teniendo en cuenta las necesidades de cada estudiante. Esta apertura a la dimensión emocional en las sesiones de clase se plantea como una manera de generar una disposición más receptiva al aprendizaje y promover un enfoque educativo más humano y centrado en el estudiante.

Conclusiones

La labor del docente como observador constante se torna especialmente crucial para los estudiantes de Ingeniería en Sistemas, permitiendo identificar y atender posibles factores socioemocionales que demanden intervención. Su función no solo implica despertar el interés por el aprendizaje, sino también actuar como mediador en la búsqueda de recursos y propiciar interacciones entre los estudiantes. Establecer un entorno que resguarde los límites y fomente la resolución de conflictos es fundamental para crear un ambiente propicio donde estos estudiantes puedan florecer, desarrollando habilidades, competencias y capacidades pertinentes para su trayectoria.

Por otro lado, garantizar un espacio seguro y confiable es esencial en el proceso de enseñanza-aprendizaje para los estudiantes de Ingeniería en Sistemas. Reconociendo la importancia de las emociones en el aprendizaje, se brinda la oportunidad de expresar sus sentimientos de manera sencilla, promoviendo la empatía y la conexión con sus pares. Al alentar la apertura emocional y la capacidad de compartir más allá del aula, se crea un ambiente enriquecedor que contribuye al desarrollo personal y académico de estos estudiantes de manera particular. En conjunto, estos aspectos subrayan la relevancia de abordar la dimensión emocional en la educación de Ingeniería en Sistemas, generando un aprendizaje holístico y formando individuos con habilidades emocionales y sociales significativas para su desarrollo futuro.

Referencias

[1] A. P. Alarcón Cubas, Inteligencia emocional: una revisión teórica., Perú.: Universidad Señor de Sipán, 2019.

[2] A. S. M. y. A. D. Cerón, «La inteligencia emocional como factor importante en el liderazgo.,» *Revista Ciencia Administrativa,* nº 1, pp. 87-92, 2019.

[3] C. García Ancira, «La inteligencia emocional en el desarrollo de la trayectoria académica del universitario,» *Revista Cubana de Educación Superio,* vol. 39, nº 2, 01 agosto 2020.

[4] B. García Cabrero, «Las habilidades socioemocionales, no cognitivas o “blandas”: aproximaciones a su evaluación.,» *Revista Digital Universitaria,* vol. 19, nº 6, Noviembre 2018.

[5] A. y. R. C. D. Mórtigo Rubio, «Desarrollo de competencias emocionales en el aula de clase: estrategia para la resolución de conflictos.,» *Revista Boletín Redipe. Ética, educación e investigación.,* vol. 7, nº 2, pp. 104-113, febrero 2018.

ISSN: 2007 8102

[6] D. Goleman, «La inteligencia emocional. Por qué es más importante que el coeficiente intelectual.,» 2022.

[7] D. y. C.-R. A. M. Ocampo-Eyzaguirre, «Situación emocional y resiliencia de estudiantes universitarios, pos-pandemia de la COVID-19.,» *Revista Sociedad & Tecnología,* vol. 6, nº 1, pp. 17-32, Enero 2023.

[8] S. Delgado Coronado,, «Efecos de la pandemia en el desarrollo de la práctica educativa universitaria. Un estudio de caso,» *PANORAMA, vo,* vol. 16, nº 30, p. 18, Junio 2022.

[9] P. Saavedra Ordar, «Perfil de inteligencia emocional en estudiantes de Ingeniería Ambiental en la región Lambayeque,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2022.

[10] L. Feldman Barret, Cómo se contruyen las emociones, Barcelona, España: Paidós, 2018.

[11] Microsoft, «Introducción a Reflect en Teams,» Support Microsoft, 20 agosto 2022. [En línea]. Available: https://support.microsoft.com/es-es/topic/introducci%C3%B3n-a-reflect-en-teams-e9198f62-7860-4532-821f-53ef14afa79a. [Último acceso: 15 mayo 2023].

MATEMÁTICAS, LA DIFICULTAD EN LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN LOS TEMAS DE LENGUAJES Y AUTÓMATAS

M. E. Carreón Romero[1], L. Carreón Romero[2], R. Gutiérrez Marcos[3]*
[1]Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán
maria.cr@teziutlan.tecnm.mx
[2]Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán
laura.cr@teziutlan.tecnm.mx
[3]Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán
roman.gm@eziutlan.tecnm.mx

Área de participación: *Investigación Educativa*

Resumen

Las habilidades matemáticas juegan un papel muy importante en las materias de ingeniería, el caso de la asignatura de Lenguajes y Autómatas I, integra conocimientos de varias materias que son indispensables para plantear y dar solución a problemas. En este trabajo se hace una revisión de los ejercicios entregados por estudiantes que cursaron la asignatura, a través de un estudio de tipo cuantitativo descriptivo de tipo transversal; también se mencionan algunas de las habilidades matemáticas que dificultaron la solución correcta de ejercicios en cada tema, a través de un análisis donde se relaciona cada tema abordado con las habilidades de matemáticas requeridas para plantear soluciones. Finalmente se presentan resultados y conclusiones del estudio, observándose dificultad de los estudiantes en la resolución de ejercicios por el uso de las matemáticas.

Palabras clave: *Matemáticas, resolución problemas, dificultad, autómatas*.

Abstract

Mathematics skills play a very important role in engineering subjects, in the case of the Languages and Automata I subject, it integrates knowledge of various subjects that are essential to pose and solve problems. In this work, a review of the exercises delivered by students who took the subject is made, through a cross-sectional descriptive quantitative study; Some of the mathematical skills that made it difficult to correctly solve the exercises in each subject are also mentioned, through an analysis where each topic addressed is related to the mathematical skills required to propose solutions. Finally, the results and conclusions of the study are presented, observing the difficulty of the students in solving exercises due to the use of mathematics.

Keywords: *Mathematics, problem solving, difficulty, automata.*

Introducción

Los problemas de aprendizaje juegan un papel importante en el desarrollo de los estudiantes, pues no solo se trata del rendimiento académico, sino de su crecimiento personal [2].
La funcionalidad del conocimiento matemático se genera a partir del uso de un conjunto de procedimientos denominados algoritmos, que orientan las acciones para la resolución de problemas; de esta manera el conocimiento procedimental permite desarrollar el saber hacer. De esta manera resolver problemas plantea tres

aspectos fundamentales: planteamiento y resolución de problemas, razonamiento matemático (formulación, argumentación, demostración) y Comunicación matemática[3].

Uno de los fines de la enseñanza de las matemáticas es la resolución de problemas [2], siendo el medio esencial para lograr los aprendizajes de manera activa, además de dar oportunidades de plantear, explorar y resolver problemas con un esfuerzo significativo, es decir, aplicar la teoría en temas de interés para el estudiante [4].

Resulta necesario aproximarse a las nuevas tendencias que plantean la resolución de problemas como el motor del aprendizaje del conocimiento matemático creando un ambiente de trabajo reflexivo, dialogante y crítico [5]. El conocimiento escolar de las matemáticas "es también conocimiento tecnológico ya que se refiere a la capacidad para aplicar unos determinados conceptos y procedimientos a la resolución práctica de problemas", entendiendo que los procedimientos son aquellas formas de actuación o ejecución de tareas matemáticas [6].

En las carreras de ingeniería las matemáticas son fundamentales para el desarrollo y aplicación de conocimientos; el diseño curricular presenta tópicos matemáticos en diferentes cursos que representan la base de otras asignaturas, tanto de tronco común como de especialidad, lo que supone en el estudiante conocimientos previos y dominio para su aplicación en actividades propias de las asignaturas cursadas [7].

De esta forma, los estudiantes que cursan la carrera de Sistemas Computacionales requieren una sólida base de conocimientos matemáticos, facultad que garantiza destrezas cognitivas, capacidad de razonamiento y lógica.

La resolución de problemas es un elemento indispensable en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas al proveer al estudiante de oportunidades para establecer conexiones razonadas entre distintos elementos matemáticos que desarrollarán en el estudiante habilidades como examinar, representar, aplicar, así como, de utilizar procesos asociados al pensamiento matemático avanzado como abstraer, analizar, conjeturar, generalizar o sintetizar [8].

Planteamiento del problema

La retícula de la carrera de ingeniería en Sistemas Computacionales (ISC) ofertada por tecnológico Nacional de México (TNM), contiene gran cantidad de materias con alto porcentaje de contenido matemático, lo que implica que los estudiantes requieran una sólida base de conocimientos matemáticos, garantizando con ello destrezas cognitivas, capacidad de razonamiento y lógica.

La materia de Lenguajes y autómatas I, cursada en el 6º semestre de la carrera, se caracteriza por integrar tópicos de materias previas como: arquitectura de computadoras, matemáticas discretas, programación orientada a objetos y estructura de datos; así como un programa de estudios enfocado al desarrollo de sistemas, lo que supone complejidad en su desarrollo debido a temas con bases matemáticas abordados en la asignatura.

Durante el desarrollo de la materia se solicita al estudiante el diseño de soluciones para problemas de análisis y procesamiento de información, donde deberá aplicar de manera correcta conocimientos matemáticos mediante procedimientos, técnicas y métodos en el desarrollo de ejercicios; dichas actividades originan en los estudiantes dificultad para desarrollarlos correctamente, debido entre otros factores, a la falta de dominio en contenidos de matemáticas como análisis, selección y aplicación de métodos, así como, procesamiento y representación de los datos.

Hipótesis

En el periodo enero-junio del 2022 al menos un 25% de los estudiantes de la carrera de Sistemas Computacionales que cursan la materia de Lenguajes y Autómatas I, presentan dificultad para resolver correctamente los ejercicios propuestos debido a la falta de dominio de tópicos específicos de matemáticas.

Objetivo general

Identificar las habilidades matemáticas requeridos para mejorar la entrega y realización de ejercicios de la materia de Lenguajes y Autómatas I mediante un análisis de los ejercicios entregados por los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el ITST inscritos en el periodo escolar 2022.

Metodología

El método de investigación utilizado en este trabajo fue cuantitativo de tipo transversal con alcance descriptivo. En el estudio se utilizó una muestra obtenida de 3 grupos de estudiantes de sexto semestre de la carrera de ISC del ITST. Los instrumentos de recolección de datos usados en el estudio fueron cuestionarios, banco de ejercicios por tema, bitácoras, así como, fórmulas estadísticas para medir la dificultad presentada por los estudiantes para entregar ejercicios resueltos.

1. Lugar donde se desarrollará el estudio. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, carrera de ISC.
2. Población y muestra. Estudiantes de 6o. semestre de la Carrera de Sistemas Computacionales inscritos en el año 2022.

La muestra se obtuvo a partir de la fórmula estadística para cálculo de poblacionales finitas:

$$n = \frac{N \times Z_a^2 \times p \times q}{d^2 \times (N-1) + Z_a^2 \times p \times q}$$

Donde:

N = Población total → **50 estudiantes**
Z_a =Nivel de Confianza del 95% → **1.96**
p = proporción esperada del 50% → **0.5**
q = 1 – p = **0.5**
d= margen de error 7% **= 0.07**

$$n = \frac{50 \times (1.96)^2 \times 0.5 \times 0.5}{(0.07)^2 \times (50-1) + (1.96)^2\, 0.5 \times 0.5} = 40$$

3. **Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**, fueron utilizados cuestionarios en línea, series de ejercicios diseñados previamente, y para el registro de datos la bitácora; como herramienta de apoyo para aplicar cuestionarios se empleó la plataforma Moodle.

Con relación al diseño del instrumento para identificar el uso correcto de fórmulas, técnicas y métodos para la solución de ejercicios, fueron diseñados cuestionarios, con respuestas de opción múltiple. Con respecto al instrumento para conocer el desempeño de los estudiantes en la resolución de ejercicios se proporcionó previamente a los estudiantes una serie de ejercicios a resolver, diseñados de acuerdo con las competencias específicas de la asignatura. Para el registro de datos fue utilizada la bitácora, que contiene los resultados de la revisión de ejercicios. La información registrada contiene datos de los ejercicios entregados como: cantidad ejercicios realizados, cantidad de ejercicios completos y cantidad de ejercicios correctos.

Con respecto a las habilidades matemáticas requeridas por los estudiantes que cursan la asignatura y puedan desarrollar correctamente los ejercicios solicitados, fue necesario analizar la relación matemática de cada tema de la asignatura de Lenguajes y Autómatas I.

4) Procedimiento metodológico

a. Análisis matemático y elaboración de instrumentos (ejercicios propuestos y listas de cotejo).

b. Entrega y recolección de ejercicios.

c. Revisión de ejercicios de temática analizadas.

d. Descarga y llenado de bitácoras con datos obtenidos en revisión de ejercicios.

e. Realizar el procesamiento de los datos, mediante el uso de las fórmulas estadísticas como: media, mediana, moda, varianza, desviación estándar, etc.

f. Identificar habilidades matemáticas necesarias en los estudiantes mediante la agrupación y clasificaron los datos.

 ISSN: 2007 8102

g. Análisis de resultados y verificar hipótesis.

A continuación, se muestra un análisis de las habilidades matemáticas requeridas para la resolución de ejercicios de los 6 temas que integran la asignatura de Lenguajes y Autómatas I, ver Tabla 1.

Tabla 1. Análisis de habilidades matemáticas para el desarrollo de ejercicios por tema de la asignatura analizada.

Tema	Subtema	Habilidad Matemática					Max
		1	2	3	4	5	
1. Lenguajes.	1. Alfabeto	x	x				2
	2. Cadenas	x	x	x			3
	3. Lenguajes	x	x	x			3
	4. Estructura						0
	5. Fases						0
							3
2. Exp. Regular	1. Definición	x	x	x			3
	2. Diseño	x	x	x	x		4
	3. Aplicaciones	x	x	x	x	x	5
							5
3. Autómatas	1. Conceptos	x	x	x			3
	2. AFND y AFD	x	x	x			3
	3. ER uso AF	x	x	x	x		4
	4. Minimización	x	x	x			3
	5. ER usando	x	x	x	x		4
	6. Aplicaciones	x	x	x	x	x	5
							5

Tema	Subtema	Habilidad Matemática					**Max**
		1	2	3	4	5	
4. A. Léxico	1. Funciones	x	x				2
	2. Componentes,	x	x	x	x		4
	3. Tablas tokens	x	x	x	x	x	5
	4. Errores	x	x	x			3
	5. Generadores	x	x	x	x		4
	6. Aplicaciones	x	x	x	x	x	5
							5
5. A. Sintáctico	1. Clasificación	x	x	x			3
	2. GLC	x	x	x			3
	3. Árboles	x	x	x	x		4
	4. Diagramas	x	x	x			3
	5. Matriz Predict.	x	x	x	x		4
	6. Errores	x	x	x	x		4
	7. Generación_AS	x	x	x	x	x	5
							5
6. Maq.Turing	8. Def. y Const.	x	x	x			3
	9. Lenguajes MT	x	x	x	x		4
							4

La Tabla 1 muestra los subtemas correspondientes a cada tópico de la asignatura analizada, así como, las habilidades matemáticas requeridas en los estudiantes para lograr un buen desempeño.

Tabla 2. Temas y uso de habilidades matemáticas requeridas para el desarrollo de ejercicios.

		HABILIDADES MATEMÁTICAS					
NUM	TEMA	1 ANALIZAR	2 REPRESENTAR INFORMACIÓN	3 APLICAR PROCEDIMIENTOS/ TÉCNICAS	4 DISEÑAR ALGORITMOS	5 REALIZAR APLICACIONES	RELACIÓN
1	Introducción a los lenguajes formales	1	1	1	0	0	3
2	Expresiones Regulares	1	1	1	1	1	5
3	Autómatas Finitos	1	1	1	1	1	5
4	Análisis Léxico	1	1	1	1	1	5
5	Análisis Sintáctico	1	1	1	1	1	5
6	Máquinas de Turing	1	1	1	1	0	4

La Tabla 2 muestra el tipo y cantidad de habilidades matemáticas requeridas en los estudiantes para desarrollar los ejercicios propuestos por cada uno de los temas de la asignatura.

Resultados

El siguiente apartado presenta los resultados del instrumento aplicado a la muestra de 40 estudiantes que cursaron la materia de Lenguajes y Automatas I, de la carrera de ISC del ITST en el año 2022. A continuación, se muestra el concentrado de datos recolectados mediante el uso de la bitácora, donde se identifica cada elemento muestral de la población estudiada, mediante un numero ID representado con un numero entero entre 1 y 40.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 3. Resultados obtenidos en la revisión de ejercicios del tema 1 de los 40 estudiantes.

Estudiante	Ejercicios Resueltos	Ejercicios Completos	Ejercicios Correctos	Promedio
01	8	8	6	7
02	7	7	7	7
03	8	7	6	6.5
04	6	6	6	6
05	8	6	6	6
06	8	7	7	7
07	7	7	6	6.5
08	7	6	6	6
09	8	7	6	6.5
10	8	8	8	7
11	6	6	6	6
12	6	5	5	5
13	8	7	6	6.5
14	7	7	7	6.5
15	8	8	8	8
16	8	7	7	6.5
17	8	8	8	8
18	7	7	6	6.5
19	7	6	6	5.5
20	6	5	4	4.5

Estudiante	Ejercicios Resueltos	Ejercicios Completos	Ejercicios Correctos	Promedio
21	6	6	6	6
22	6	5	5	5
23	8	7	6	6.5
24	7	7	7	7
25	8	8	8	8
26	8	7	7	7
27	8	8	8	7.5
28	7	7	6	6.5
29	7	6	6	5.5
30	8	8	6	7
31	7	7	7	7
32	8	7	6	6.5
33	6	6	6	6
34	8	6	6	6
35	8	7	7	7
36	7	7	6	6.5
37	7	6	6	6
38	8	7	6	6.5
39	8	8	8	8
40	7	7	7	6.5

La tabla 3 muestra información correspondiente a 8 ejercicios propuestos en el tema I, donde se observa la cantidad de ejercicios entregados por cada estudiante, así como, los desarrollados en su totalidad y los solucionados de forma correcta.

Tabla 4. Resultados obtenidos de la revisión de ejercicios de los temas 2, 3 y 4.

ID Estudiante	Tema 2 Ejercicios Correctos	Tema 3 Ejercicios Correctos	Tema 4 Ejercicios Correctos	Promedio	ID Estudiante	Tema 2 Ejercicios Correctos	Tema 3 Ejercicios Correctos	Tema 4 Ejercicios Correctos	Promedio
1	6	6	7	6.3	21	**6**	**6**	**6**	6
2	7	7	7	7	22	**5**	**5**	**5**	5
3	6	7	6	6.3	23	**6**	**6**	**6**	6
4	6	6	6	6	24	**7**	**6**	**6**	6.3
5	6	6	5	5.7	25	**8**	**6**	**5**	6.3
6	7	6	7	6.7	26	**7**	**5**	**5**	5.7
7	6	5	6	5.7	27	**7**	**7**	**7**	7
8	6	6	7	6.3	28	**6**	**6**	**6**	6
9	6	5	7	6	29	**5**	**5**	**5**	5
10	6	6	6	6	30	**6**	**6**	**5**	5.7
11	6	7	5	6	31	**7**	**6**	**6**	6.3
12	4	4	6	4.7	32	**6**	**5**	**5**	5.3
13	6	6	5	5.7	33	**6**	**6**	**5**	5.7
14	6	6	7	6.3	34	**6**	**6**	**5**	5.7
15	8	7	7	7.3	35	**7**	**6**	**6**	6.3
16	6	6	6	6	36	**6**	**5**	**5**	5.3
17	8	8	7	7.7	37	**6**	**5**	**5**	5.3
18	6	6	6	6	38	**6**	**7**	**5**	6
19	5	6	5	5.3	39	**8**	**8**	**6**	7.3
20	4	4	5	4.3	40	**6**	**6**	**6**	6

La tabla 4 contiene el concentrado de los 8 ejercicios correspondientes a los temas 2, 3 y 4 de la asignatura, los datos registrados muestran el puntaje obtenido de los ejercicios entregados por cada estudiante.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 5. Promedio de ejercicios entregados por tema de la población analizada.

	Tema 2	Tema 3	Tema4
Promedio ejercicios correctos	6.2	5.95	5.825
Calificación promedio de población	77.5	74.375	72.8125

La tabla 5 muestra que el promedio de ejercicios entregados en cada unidad se encuentra alrededor de 6, con una valoración de 75; al observar las calificaciones, es notoria la disminución del grupo al avanzar en cada tema, lo que indica un incremento de dificultad de los estudiantes para la resolución de ejercicios.

De acuerdo con el tipo de estudio y uso de la estadística descriptiva se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} = 5.825$$

$$\delta^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n} = 0.4661$$

$$\delta = \sqrt{108.3} = 0.6827$$

Por lo tanto: $\bar{x} + \delta = 5.825 + 0.6827 = 6.5077$

$\bar{x} - \delta = 5.825 - 0.6827 = 5.1423$

Los intervalos estándar en la entrega correcta de ejercicios de la población analizada se observan en el gráfico de la Figura 1.

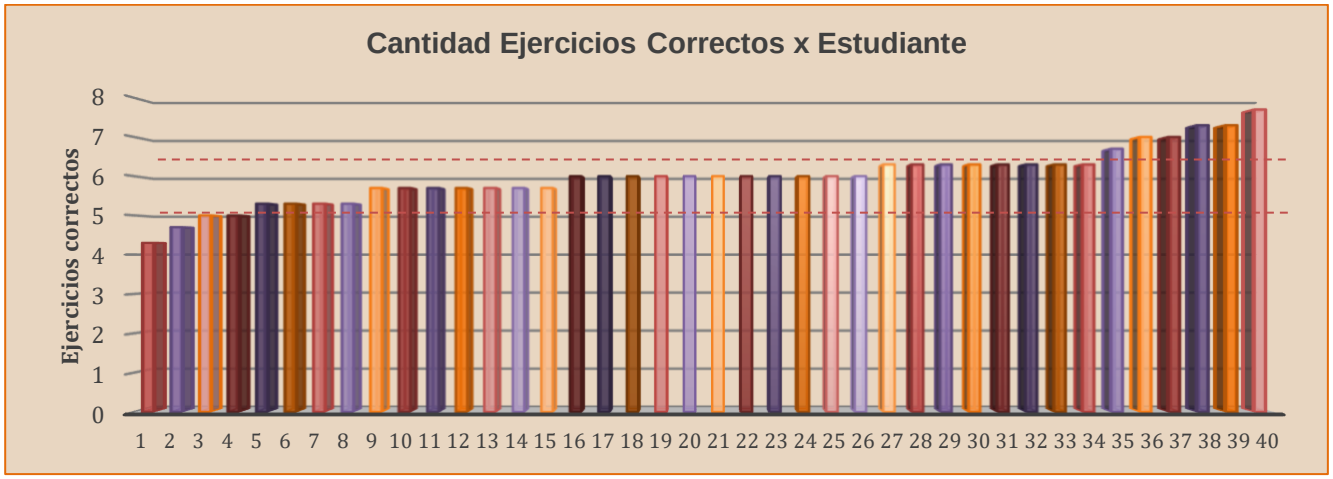


Figura 1. Representación ejercicio correctos realizados por población estudiada

Los datos obtenidos permitieron conocer que dentro del intervalo estándar se encuentran un total de 30 estudiantes que entregan entre 6.5 y 5 ejercicios resueltos correctamente. Sin embargo, el procesamiento de datos revela que un porcentaje del 20% de estudiantes dentro del rango estándar tienen dificultad para resolver los ejercicios correctamente, mientras que el 45% de los estudiantes entregan entre 5.5 y 6 ejercicios correctamente, con valoraciones alrededor de 70. Dichos datos muestran que un 65% de los estudiantes presentan dificultad para resolver correctamente los ejercicios de la materia. Para mayor claridad de la información ver la Tabla 6.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 6. Clasificación de grupos por cantidad de ejercicios entregados

Grupo	Cantidad Ejercicios Correctos	Valoración	Cantidad Estudiantes	Porcentaje
A	7.2- 8.0	90-100	1	2%
B	6.1 – 7.0	80-89	13	33%
C	5.5 - 6.0	70-79	18	45%
D	5.5 – 4.0	50-69	8	20%
			40	**100%**

La clasificación de la tabla 6 presenta 4 grupos, donde se observa un total de 8 estudiantes pertenecientes al grupo D**,** los cuales obtuvieron una valoración de por debajo del 70, el grupo C con el 45%, indica que la mayor cantidad de estudiantes entregan un máximo de 6 ejercicios, mientras un 33% de los estudiantes entrega un máximo de 7 ejercicios, y que únicamente el 2% entrega todos los ejercicios correctos, ver Figura 2.

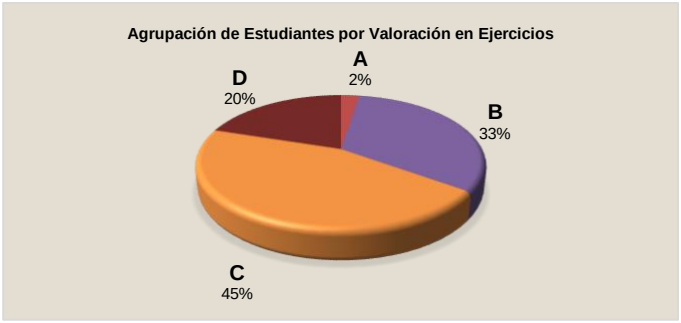


Figura 2. Representación de grupos de estudiantes con valoración de revisión de ejercicios entregados.

Tabla 7. Habilidades matemáticas aplicadas en la resolución de ejercicios de los temas 2,3,4.

TEMA	Análisis	Representación	Conocer procedimientos	Aplicar procedimientos
2	**14**	**13**	**10**	**15**
3	**16**	**15**	**11**	**17**
4	**16**	**16**	**12**	**17**

La tabla 7 muestra la población de estudiantes que entregaron ejercicios y presentaron dificultad para solucionarlos de manera correcta (grupos C y D de la Tabla 5). La revisión permitió conocer las habilidades matemáticas requeridas para desarrollar correctamente las soluciones de los ejercicios planteados, dejando en claro que las habilidades de análisis y aplicación son las que representan mayor dificultad, ver la Figura 3.

ISSN: 2007 8102

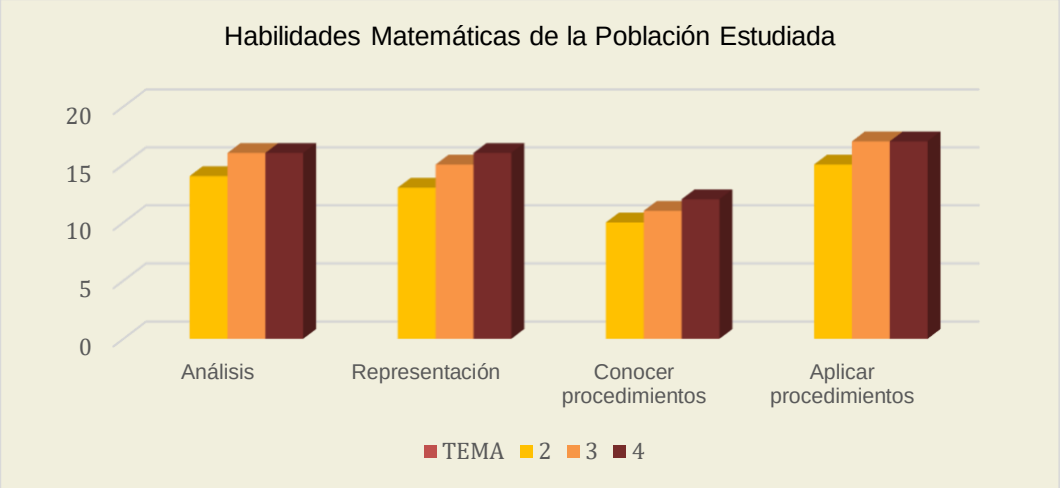


Figura 3. Representación habilidades matemáticas por tema de la asignatura.

Conclusiones

Los resultados muestran que, del total de la población estudiada, por cada serie de ejercicios un 25% de ellos no son solucionados correctamente, alcanzando valoraciones de 75 en promedio por la mayoría de los estudiantes. También se pudo saber que el estándar de ejercicios entregados correctamente por los estudiantes oscila entre 5 y 6.5 ejercicios, abarcando un 75% de la población. Además, se pudo conocer que un porcentaje del 20% de estudiantes dentro del rango estándar tienen dificultad para resolver los ejercicios correctamente, mientras que el 45% de los estudiantes entregan entre 5.5 y 6 ejercicios correctamente, con valoraciones alrededor de 70, lo anterior significa que un 65% de los estudiantes presentan cierta dificultad para resolver ejercicios.

Además, en este estudio se logró conocer que del total de 40 estudiantes que presentaron ejercicios de los temas 2, 3 y 4, un alto porcentaje presentó falta de dominio en la mayoría de las habilidades matemáticas de análisis, representación de datos, conocimiento de procedimientos y aplicación de ellos; observando mayor dificultad en el análisis y aplicación de los método o procedimientos, es decir, lo mayores problemas se observa al inicio y final de la resolución de problemas.

Los resultados obtenidos en este estudio señalan que, más del 25% de los estudiantes que cursan la materia han presentado dificultad en la resolución de problemas; demostrado a través de la cantidad de ejercicios y las valoraciones obtenidas en la revisión de ellos, debido entre otras cosas al dominio de habilidades matemáticas requeridas para desarrollo correcto de ejercicios planteados en cada tema.

Lo anterior deja en claro la necesidad de fortalecer las habilidades matemáticas de los estudiantes durante todo el curso de Lenguajes y Autómatas, puntualizando que para mejorar los indicadores presentados en relación a la resolución de problemas, el docente deberá ser claro y especifico durante la explicación de soluciones a problemas, donde deberá indicar paso a paso, las operaciones realizadas, desde el planteamiento del problema hasta la aplicación y desarrollo del procedimiento utilizado. También es importante señalar que para mitigar la dificultad en la resolución de problemas matemáticos en los estudiantes el docente deberá proporcionar materiales de repaso de los temas con las competencias previas requeridas en cada tema.

ISSN: 2007 8102

Referencias

[1] G. J. Defaz Cruz, «JOURNAL OF SCIENCE AND RESEARCH: REVISTA CIENCIA E INVESTIGACI´ON, E-ISSN: 2528-8083, VOL. 2, NO. 5, ENERO - MARZO 2017, PP. 14-1714El desarrollo de habilidades cognitivas mediante la resolución deproblemas matemáticos,» *REVISTA CIENCIA E INVESTIGACIÓN,* 2017.

[2] J. Orrantia, «Dificultades en el aprendizaje de la matemáticas, una perspectiva evolutiva-,» *Revista Psicopedagógica,* vol. 1, nº 1, p. 23, 2018.

[3] D. Gallego , L. Bustamante, L. Salcedo , M.-. Gava y E. Alfaro, «Estudio cuantitativo sobre las concepcionesde ciencia, metodología y enseñanza para profesores en formación,» *Revista Lasillista de Investigación,* vol. 1, nº 14, 2017.

[4] G. J. Defaz Cruz, «El desarrollo de habilidades cognitivas mediante la resolución de problemas matemáticos,» *REVISTA CIENCIA E INVESTIGACIÓN,* 2017.

[5] A. Mallart y J. Deulofeu, «ESTUDIO DE INDICADORES DE CREATIVIDAD MATEMÁTICA EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS,» *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa ,* 2017.

[6] C. Barajas Arenas, S. E. Parada Rico y J. G. Molina Zavaleta, «Procedimientos Aritméticos en la Resolución de Problemas de Fenómenos Variacionales,» *Boletim de Educación Matemática,* 2017.

[7] Y. Alvarez y M. Ruiz Soler, «ctitudes hacia las matemáticas en estudiantes de ingeniería en universidades autónomas venezolanas,» *Revista de Pedagogía,* 2010.

[8] C. Reyex, J. Perdomo Dias y P. Felmer, «TALLER DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS: DESARROLLANDO HABILIDADES EN MATEMÁTICA,» *Educacion JNEM,* 2017.

[9] M. B. Escobar Medina, «Influencia de la interacción alumno-docente en el proceso enseñanza-aprendizaje,» *PAAKAT: Revista de Tecnología y Sociedad,* vol. 5, nº 8, Agosto 2016.

 ISSN: 2007 8102

Evaluación de las prácticas profesionales desde la perspectiva de los estudiantes: un estudio de caso

Mar.I[1], Eli.J[1], And.R[1], Jos.G[1], Ana.G[1]*
[1]Coahuila, Escuela, Torreón, Coah., México
**m.ojeda@uadec.edu.mx*

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

Las prácticas profesionales son un componente principal de formación necesaria en la educación académica de los estudiantes. Es por esto, que la evaluación de las prácticas profesionales es fundamental para la Institución Educativa. En el periodo de enero-junio 2017 a enero-junio 2023 se recopilaron los datos de 141 evaluaciones por parte de los estudiantes, fueron analizados a través de un estudio no experimental de diseño transversal, diseñado para evaluar el desarrollo de las actividades que los estudiantes realizaron en sus prácticas profesionales. La correlación entre las variables fue validada a través del coeficiente Alfa de Cronbach elaborado en NCSS. Los resultados reflejan la perspectiva que tienen los estudiantes de la práctica profesional con relación al proyecto, conocimiento, recursos y espacio, lo que indica que es necesario desarrollar un mecanismo de vinculación entre las empresas de la región, además de actualizar el modelo de gestión interna de prácticas profesionales.

***Palabras clave**: estudiantes, prácticas profesionales, empresas, universidad.*

Abstract

Professional internships are a main component of training necessary in students' academic education. This is why the evaluation of professional practices is fundamental for the Educational Institution. In the period from January-June 2017 to January-June 2023, data from 141 evaluations by students were collected. They were analyzed through a non-experimental study with a cross-sectional design, designed to evaluate the development of the activities that the students carried out in their professional practices. The evaluation between the variables was validated through Cronbach's Alpha coefficient developed in NCSS. The results reflect the perspective that students have of professional practice in relation to the project, knowledge, resources and space, which indicates that it is necessary to develop a linkage mechanism between companies in the region, in addition to updating the internal management model of professional practices.

***Key words**: students, professional practices, companies, university.*

Introducción

Las Instituciones de Educación Superior (IES) brindan la oportunidad de que los estudiantes puedan realizar las prácticas o estancias profesionales mientras estudian una licenciatura permitiendo poner en práctica la formación académica en la vida real [1].

En México no existe una ley o algún sistema que regule la realización de las prácticas o estancias profesionales a nivel nacional de los estudiantes de las diferentes IES, sin embargo, cada una de las Escuelas o Facultades implementa procesos internos para que los estudiantes cumplan con el requisito, en algunos casos es obligatorio debido a que forma parte del plan de estudios y en otros casos es un complemento a la formación académica [2].

Es necesario mencionar que existió una iniciativa con proyecto de decreto en el que se propone incluir la práctica o estancia profesional como un requisito constitucional para obtener el título profesional, en carreras donde se determine como necesaria la comprobación de que el estudiante cuenta con los conocimientos, cualidades y capacidades esenciales para asegurar su ejercicio responsable y de calidad, sin embargo, esta iniciativa no fue aprobada [3].

Las prácticas profesionales permiten al estudiante de licenciatura la oportunidad de desarrollar sus habilidades y actitudes, ampliar el conocimiento, conocer nuevas técnicas lo que le posibilita la adquisición de una experiencia laboral con la posibilidad de un empleo al terminar la estancia profesional [4].

Con la realización de la estancia profesional se logra identificar las necesidades actuales que tienen las organizaciones y permiten la actualización de contenidos curriculares, además de la incorporación de las técnicas de aprendizaje-enseñanza que contribuyen a la formación de estudiantes acorde a la demanda actual de las organizaciones [5].

En el caso de estudio que se analiza los estudiantes pueden realizar su práctica o estancia profesional en organizaciones públicas o privadas tanto regionales, nacionales o extranjeras, siempre y cuando cumpla el reglamento de la Universidad, el cual es aplicado a cada uno de los estudiantes que cursan el octavo semestre de los tres planes de estudio: Ingeniero Industrial y de Sistemas (IIS), Ingeniero en Tecnologías de la Información y Comunicaciones (ITIC) y Licenciado en Sistemas Computacionales Administrativos (LSCA) que ofrece la Escuela. Las prácticas profesionales forman parte del plan de estudios de la carrera de ITIC y LSCA, considerándose como obligatorio; en la carrera de IIS no forma parte del plan de estudios, sin embargo, es necesario la realización de la estancia como requisito interno de la Escuela para que pueda tramitar el título de la carrera [6].

Metodología

La investigación que se presenta es de tipo no experimental de diseño transversal que se define como el diseño de una investigación observacional, individual que mide una o más características o variables en un determinado momento [7]; de tipo descriptiva y exploratoria, debido a que se desea la comprensión y definición del tema [8], lo que permite identificar la perspectiva entre el estudiante y la empresa al momento de la realización de las prácticas o estancias profesionales en los periodos enero-junio 2017 a enero-junio 2023 a través de la utilización de un instrumento recolección de datos que fue aplicado a cada estudiante inscrito en alguno delos planes de estudio que ofrece la Escuela.

Población

La población objeto de estudio fue aplicado a 141 estudiantes de la Escuela de Sistemas de las licenciaturas: Ingeniero Industrial y de Sistemas, Ingeniero en Tecnologías de la Información y Comunicaciones y Licenciado en Sistemas Computacionales Administrativos que cursaban el octavo semestre y cumplían con ser alumnos regulares, es decir no tener materias reprobadas. Para que este estudiante tuviera la posibilidad de acceder al instrumento mediante un enlace era necesario cumplir con el modelo interno de prácticas profesionales que se describe a continuación.

El modelo de prácticas profesionales desarrollado por la Escuela y apegado al reglamento de la Universidad mantiene una organización adecuada en la gestión de trámites internos, es importante mencionar que existe una plataforma por parte de la Universidad para dar seguimiento a los estudiantes que están realizando sus prácticas profesionales, sin embargo, el sistema carece de algunas secciones importantes que apoyen a la gestión interna del departamento, a continuación se desglosa el modelo interno de prácticas profesionales que apoya en la gestión del seguimiento oportuno de cada estudiante para que este pueda llegar al estado de acreditación de prácticas profesionales.

Modelo interno de prácticas profesionales de la Escuela. Este modelo surge de la necesidad de tener organizados los documentos que los estudiantes deben entregar para acreditar sus prácticas profesionales, los estudiantes tienen la responsabilidad enviar de los documentos en formato PDF, escaneados de forma individual al correo electrónico del responsable de departamento de prácticas profesionales de la Escuela.

a. Al momento de que el estudiante se incorpora en la empresa deberá de enviar de la carta de aceptación por parte de la empresa.
b. Entregar el convenio individual firmado entre en responsable de la empresa y el director de la escuela, el formato del convenio se les entrega a través de una plataforma.
c. Al transcurrir 480 horas el estudiante solicita la carta de liberación por parte de la empresa y la envía al responsable de prácticas profesionales.
d. El estudiante está obligado a entregar un reporte donde realiza la explicación del proyecto que realizo durante su estancia, para el llenado de este se siguen una serie de especificaciones donde se explica cada sección del reporte.

e. Al inicio de cada semestre, se realiza la asignación de un asesor por parte de la escuela, que es el encargado de revisar el reporte del estudiante asignado, al finalizar este proceso el asesor entrega una carta de liberación donde consta que el reporte cumple con los elementos necesarios para la liberación del reporte de prácticas profesionales, el documento que contiene la descripción detallada de cada sección se les hace llegar a través de la plataforma a los estudiantes y a los asesores por correo electrónico.
f. Dentro de este modelo y en relación con el reglamento de prácticas profesionales de la Universidad, existe una evaluación del desempeño del estudiante dentro de la empresa, esta evaluación debe de ser realizada por el responsable del departamento en el que colaboró el estudiante, en esta evaluación se califican tres secciones: habilidades, actitudes y aptitudes, así como el alcance del objetivo del proyecto.
g. Después de cumplir con los puntos anteriores se les hace la entrega del enlace a través del correo electrónico, esta evaluación la realiza el estudiante, cabe mencionar que para objeto de este estudio es el instrumento que se esta analizando en esta investigación.
h. Finalmente, se les hace entrega del Acta de Acreditación de Prácticas Profesionales (AAPP), siempre y cuando cumpla con la acreditación del servicio social que se realiza un semestre anterior.

Con la aplicación de este modelo se le da seguimiento oportuno y se logra la acreditación de las prácticas profesionales de cada uno de los estudiantes, además de que los datos que se obtienen proporcionan un grado de confiabilidad debido que los estudiantes realizan el llenado de la encuesta hasta la finalización del modelo, esto garantiza que los datos obtenidos por el estudiante sean verdaderos y aplicados en una sola organización.

Instrumento de investigación

Para la recopilación de los datos se aplicó una encuesta apegada al reglamento de prácticas profesionales de la Universidad y es aplicada por el personal responsable del departamento de prácticas profesionales de la Escuela, fue elaborada en Microsoft Forms, y el enlace fue distribuido por correo electrónico.

El estudio piloto fue aplicado a cinco estudiantes de cada una de las carreras de la Escuela, en donde, después de ser validada y aprobada con relación a la fiabilidad se entregaba el enlace a los estudiantes que cumplían con la entrega de la documentación correspondiente al modelo interno de prácticas profesionales de la Escuela.

La estructura del instrumento fue dividida en dos secciones: 1) datos generales del estudiante y 2) desarrollo de actividades, con la aplicación de la encuesta los datos obtenidos fueron analizados, procesados y almacenados en la base de datos del departamento de prácticas profesionales de la Escuela.

Las variables del instrumento de la sección 2) desarrollo de actividades, fueron medidas en una escala de 1 a 5, donde (1= pésimo, 2= deficiente, 3= suficiente, 4= adecuado y 5= excelente) en conjunto con el grado de relación existente entre el estudiante y la organización, al momento de realizar sus prácticas profesionales. El numero total de encuestas aplicadas fue de 141 estudiantes que cumplieron satisfactoriamente el modelo de prácticas profesionales. Las variables elegidas para determinar la confiabilidad del instrumento de análisis son las siguientes: GRADO_DE_CUMPLIMIENTO, CONGRUENCIA_PROYECTO, CONGRUENCIA_PERFIL, HORARIO, ESPACIO_FISICO, MOBILIARIO_Y_HERRAMIENTAS, RELACION, ASESORIA, ESCUELA_PERTINENTE, CONOCIMIENTOS, APOYO_PP, TRATO, RECOMENDACIÓN y SEG_E_HIG; el software utilizado para el procesamiento de datos fue el NCSS, donde los resultados muestran una fiabilidad de 0.91 obtenida a través del alfa de Cronbach, lo que significa que existe una confiabilidad de datos entre las variables que conforman el estudio.

Resultados y discusión

De acuerdo con lo observado, a continuación, se presentan los resultados que se obtuvieron en las dos secciones que forman parte del instrumento que fue aplicado a estudiantes de las carreras de: Ingeniero Industrial y de Sistemas, Ingeniero en Tecnologías de la Información y Comunicaciones y Licenciado en Sistemas Computacionales Administrativos.

Sección: datos generales del estudiante

La sección de datos generales tuvo el propósito de recopilar la información general de cada uno de los estudiantes que está realizando sus prácticas profesionales. En la figura 1 que se muestra a continuación aparece la población de estudiantes a los que se les aplicó la encuesta, teniendo como resultado que la participación mayor se obtuvo

 ISSN: 2007 8102

de la carrera de Ingeniero Industrial y de Sistemas, esto es debido a que esta carrera presenta un mayor numero de estudiantes inscritos en el programa, sin embargo, los indicadores que se reflejan cada semestre varían en relación a el numero de estudiantes inscritos en el plan de estudios; en el semestre de agosto-diciembre 2021 la carrera de ITIC presentó el 100% de estudiantes acreditados en prácticas profesionales, contra un 33% de carrera de LSCA y un 50% de acreditados de la carrera de IIS.

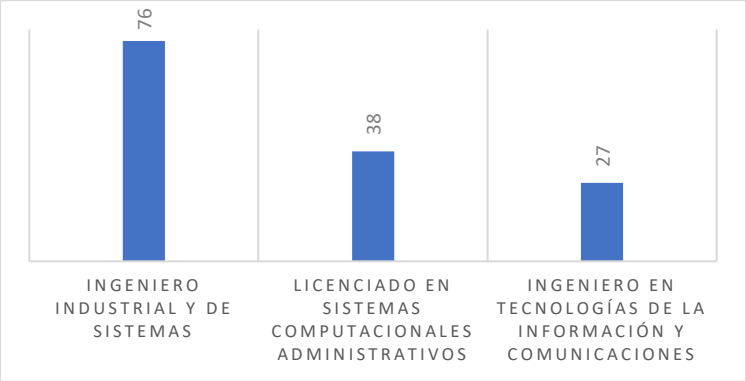


Figura 1. Grado de participación por carrera de los estudiantes de licenciatura

En la figura 2 se muestra el periodo en donde los estudiantes acreditaron las prácticas profesionales, del periodo de enero-junio 2017 a enero-junio 2023 el ciclo que mayor participación presentó es el de enero-junio 2022 con 28 respuestas y el de menor participación es el de agosto-diciembre 2018 con solamente 3 respuestas. A través de una entrevista realizada al secretario académico menciona que anteriormente antes de iniciar con el modelo interno de prácticas profesionales, el proceso se llevaba a cabo con entregas de documentos físicos y reportes impresos engargolados, esto dificultaba que existiera una mayor entrega de documentos para acreditar las prácticas profesionales, esto reflejaba que los indicadores de acreditación de prácticas profesionales presentaban números bajos a lo esperado [9]. A partir del año 2017 entra en vigor el modelo interno de prácticas profesionales, donde se trató de agilizar la entrega de los documentos, dando la opción de que la entrega del reporte se hiciera en un cd-rom, con esto se logró aumentar un poco la participación de los estudiantes, actualmente el proceso es llevado a cabo como se mencionó anteriormente en el detalle de la población de estudio, con este diseño se logró incrementar a un más del 50% la acreditación de prácticas profesionales, sin embargo, es importante realizar esfuerzos para reforzar el modelo interno para que mejoren los indicadores de acreditación de prácticas profesionales, debido a que se tiene el registro de que el 100% de los estudiantes realizan sus prácticas profesionales, el problema se encuentra al momento de la entrega de los documentos.

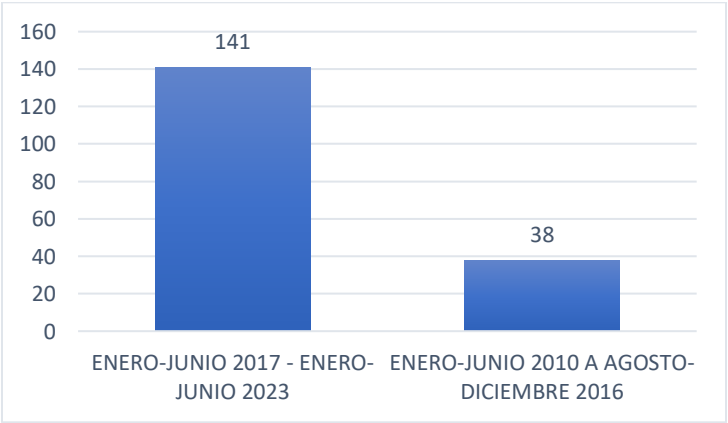


Figura 2. Periodo de acreditación de prácticas profesionales

Sección: desarrollo de actividades

El objetivo de esta sección fue recopilar datos a través de 17 preguntas que buscaron identificar los lineamientos de acuerdo al reglamento de prácticas profesionales de la Universidad, de esta forma se logró conocer de una

 ISSN: 2007 8102

forma más profunda la percepción de los estudiantes al momento de prestar sus servicios en la estancia, así como también identificar las áreas de oportunidad en los planes de estudio que se ofertan dentro de la Escuela. Dentro de las variables a analizar se observa en la tabla 1 que la variable que obtuvo una mayor puntuación es la variable de trato que corresponde a la pregunta número 12 en donde se les cuestionó a los estudiantes si recibieron un trato digno y respetuoso en el desarrollo de la práctica profesional con (4.63 de media) indica que en su mayoría existe un trato respetuoso; en menor puntuación se encuentran dos variables que corresponden a la pregunta 9 y 10, en donde se pregunta si la escuela es pertinente, es decir, se busca conocer si la escuela ofreció asesoría para resolver dificultades dentro del proyecto, y la segunda variable es la de conocimientos que se refiere al grado en que la escuela ofreció los conocimientos para desempeñar las actividades del proyecto, de estas dos variables se obtiene (4.05 de media) cada una, el grado de participación fue de 76 estudiantes de la carrera de IIS, 27 estudiantes de la carrera de ITIC y 38 estudiantes de la carrera de LSCA, el porcentaje de respuestas con mayor índice negativo corresponde a la carrera de IIS, aunque es mayor el numero de estudiantes, el porcentaje supera en 1.5% a la carrera de LSCA y un 1% a la carrera de ITIC, esto significa que se debe de tener un mayor grado de atención en los estudiantes de carrera de IIS y observar en que áreas y actividades son desarrolladas las prácticas profesionales.

Variable	Media	Desviación estándar
GRADO_DE_CUMPLIMIENTO	4.390071	0.7537814
CONGRUENCIA_PROYECTO	4.368794	0.7112499
CONGRUENCIA_PERFIL	4.255319	0.8053771
HORARIO	4.539007	0.7701367
ESPACIO_FISICO	4.397163	0.8007089
MOBILIARIO_Y_HERRAMIENTAS	4.198582	0.8554018
RELACION	4.588653	0.687344
ASESORIA	4.41844	0.8031725
ESCUELA_PERTINENTE	4.056737	0.9163051
CONOCIMIENTOS	4.056737	0.9240675
APOYO_PP	4.496454	0.7428143
TRATO	4.631206	0.6257721
RECOMENDACIÓN	4.304965	0.948256
SEG_E_HIG	4.283688	0.7495355

Tabla 1. Resultados descriptivos

Dentro de este análisis se identificaron algunas actividades que los estudiantes realizaron durante las prácticas profesionales, en algunos casos, las actividades asignadas no son totalmente acordes al proyecto asignado, se puede decir que están relacionadas, dentro de la misma área o departamento, sin embargo, esto puede ocasionar que los estudiantes consideren que los conocimientos adquiridos dentro de la escuela no están en total vinculación con los requerimientos de las organizaciones. La figura 3 muestra que los estudiantes realizan actividades que no están contempladas en el proyecto y esto tiene como consecuencia un menor índice de aprendizaje, conocimiento y falta de dominio de habilidades dentro del área o departamento de la organización.

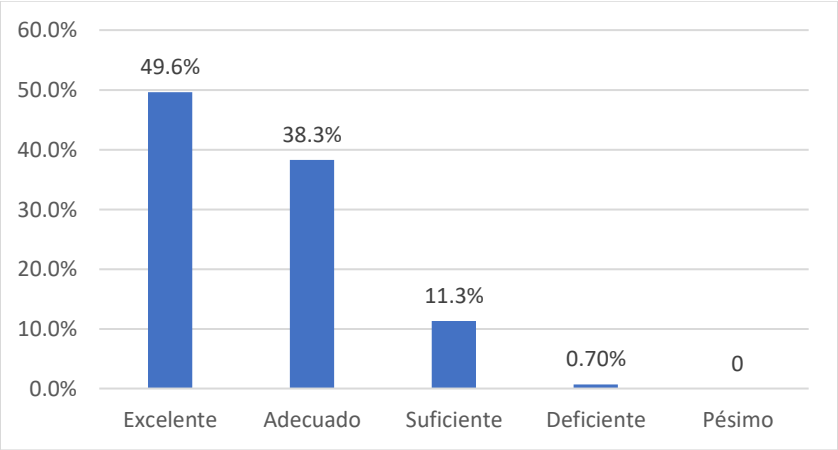


Figura 3. Congruencia de actividades en el proyecto

 ISSN: 2007 8102

Durante la estancia profesional es difícil que los asesores contribuyan directamente en la solución a los problemas que se presentan dentro de la organización, debido a que cada vez son más las restricciones que tienen las empresas, en cuestión de accesos, datos, documentos, información, etc., algunos de los estudiantes firman convenios de confidencialidad para evitar que se distribuya información fuera de la empresa, esto dificulta que los asesores o profesores afín a los proyectos intervengan de una forma oportuna en la solución a la problemática o situación que se presenta, es por este motivo que los estudiantes recurren de forma inmediata con la persona que tiene la función de asesor dentro de la empresa. En la figura 4 se muestra el grado de atención que reciben los estudiantes dentro de la empresa, se observa que existe un alto grado de atención, sin embargo, algunos de los estudiantes perciben que, si los atienden, pero no con la rapidez que se requiere.

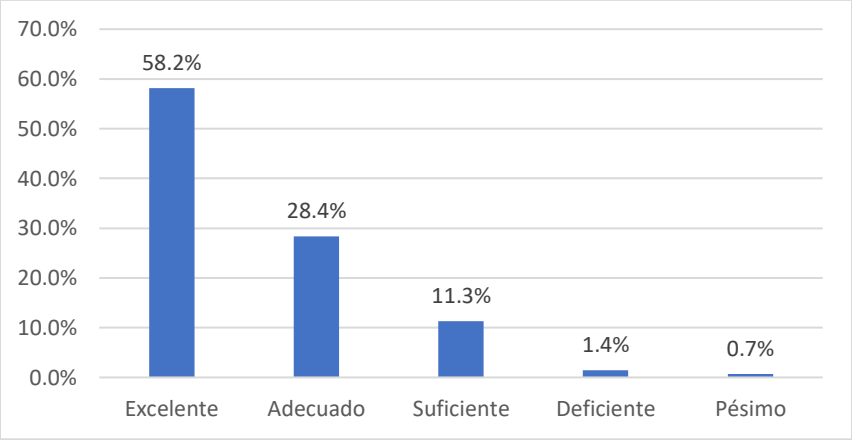


Figura 4. Grado de atención por el responsable del proyecto

Con los resultados de la variable 3 se puede observar que existe un 44% de actividades congruentes con el perfil profesional, sin embargo, los niveles restantes de puntuación indican que probablemente los estudiantes no elijan empresas afines a su carrera por temor a no realizar en el ciclo correspondiente la prestación de sus prácticas profesionales, es necesario que se haga una revisión en relación a los proyectos que han sido asignados a los estudiantes, esta representación se muestra en la figura 5.

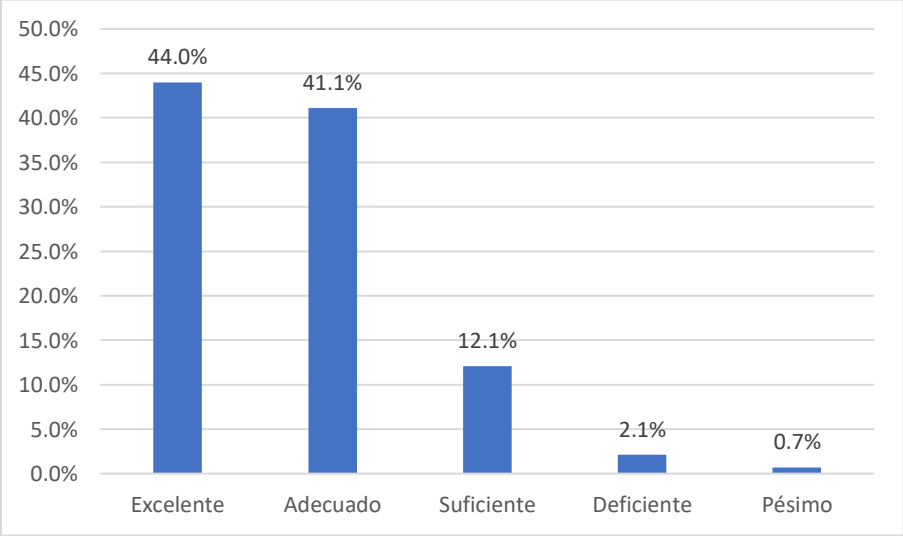


Figura 5. Actividades congruentes con el perfil profesional

Dentro de estos resultados se puede analizar que las organizaciones proporcionan el mobiliario y herramientas adecuadas para la realización de la práctica profesional, en la figura 6 se logra identificar que existe un grado de compromiso alto en las organizaciones para que los estudiantes desarrollen las actividades de los proyectos que van desde el préstamo de equipo de cómputo dentro de la organización, existe también un porcentaje mínimo en donde no se les proporciona ningún apoyo en la estancia profesional, con el apoyo dentro de las organizaciones se facilita el que el estudiante tenga un aprendizaje significativo dentro del área de trabajo.

 ISSN: 2007 8102

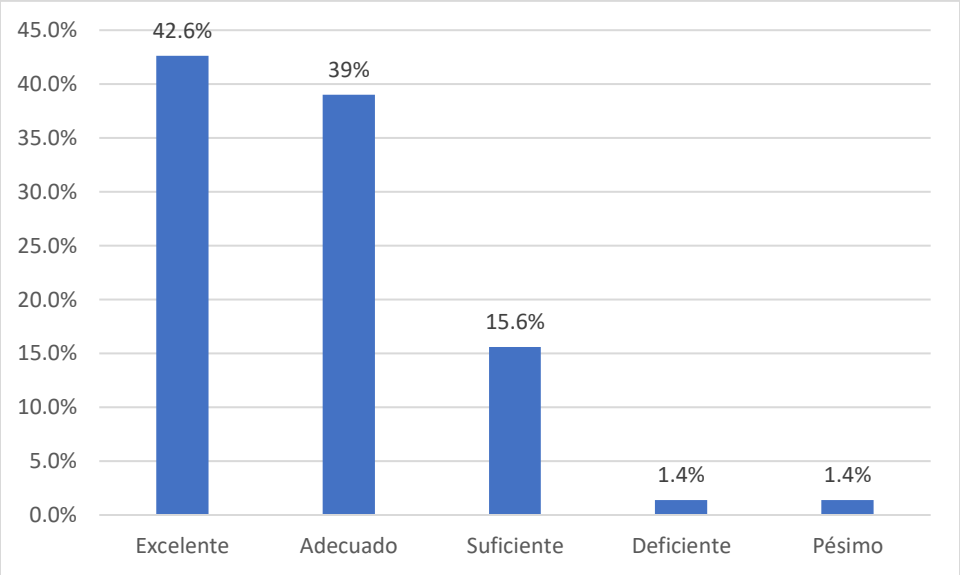


Figura 6. Mobiliario y herramientas proporcionadas para la ejecución de las actividades

Para algunos estudiantes la realización de las prácticas profesionales no representa un valor significativo, solamente tratan de cumplir con el requisito por parte de la Escuela, esto influye de manera negativa tanto en el desarrollo de las actividades como para el propio crecimiento del estudiante dentro del ámbito profesional, algunos de estos estudiantes encuentran prácticas profesionales que desde el primer momento no van acorde al perfil de la carrera, sin embargo, también se tienen estudiantes que buscan crecer profesionalmente, eligiendo empresas que son totalmente del perfil de la carrera lo que contribuye a que los estudiantes sean contratados con un empleo de medio tiempo al momento de finalizar su estancia profesional y una vez concluidos sus estudios son contratados de tiempo completo, esto hace que como egresados tengan un mayor grado de conocimiento en el área de estudio de acuerdo al perfil de la carrera.

Trabajo a futuro

Uno de los trabajos a futuro que se realizara para complementar esta investigación es verificar los proyectos que realizan los estudiantes en la prestación de sus prácticas profesionales, con esto se podrán comprobar hipótesis donde se pueda verificar que realmente existió una relación y entre las empresas, proyectos y perfil de estudio, y esto a su vez servirá para determinar cual es el perfil que necesitan las empresas con relación al año de estudio.

Otro de los trabajos a futuro que se pueden desarrollar es analizar el instrumento de evaluación de desempeño de los estudiantes dentro de la empresa, esta evaluación la realizan los responsables del departamento y se identifican las áreas de oportunidad que tiene cada uno de los estudiantes, además del grado de cumplimiento del objetivo del proyecto, esto influye de forma directa en la contratación del estudiante al finalizar sus prácticas profesionales.

Conclusiones

Las practicas profesionales brindan la posibilidad de que los estudiantes puedan poner en práctica los conocimientos teóricos que han adquirido durante la carrera profesional. Esta posibilidad permite un acercamiento real con el sector laboral, a su vez, sirven para que el estudiante pueda identificar cuales son sus fortalezas y áreas de oportunidad, así como verificar si el área de preferencia es la que realmente cubre las expectativas.

La investigación se centró en la evaluación de las prácticas profesionales para determinar la percepción de los estudiantes. Los resultados de la entrevista y el instrumento permitieron obtener evidencia acerca del nivel de satisfacción y efectividad de la aplicación del modelo interno de prácticas profesionales.

Con esta investigación se determina que existe un rezago en la acreditación de las prácticas profesionales, el problema se encuentra en la entrega de los documentos para liberar la estancia profesional, esto indica que se deben de reforzar las medidas para que los estudiantes concluyan en tiempo y forma la acreditación de prácticas profesionales, para esto es necesario que se actualice el modelo interno de prácticas profesionales.

Existen variables como el tiempo, el lugar, distancia, entre otras, que influyen en que los estudiantes no logren colocarse en empresas que son afines a la carrera de estudio, esta situación trae como consecuencia la participación de estudiantes en el desarrollo de proyectos que no tienen relación con la carrera que estudian, para esta situación es necesario desarrollar un mecanismo de vinculación entre las empresas de la región. Es importante que la Escuela a través de los coordinadores de carrera verifiquen sus planes de estudio para comprobar la pertinencia de las materias para que los estudiantes adquieran una mayor seguridad y puedan ser más competitivos al momento de buscar una organización para realizar sus prácticas profesionales.

En lo que respecta a la prestación de espacio, mobiliario y herramientas para la realización de las prácticas profesionales se identificó que existe un alto grado de compromiso por parte de las organizaciones, lo que facilita que los estudiantes desarrollen las actividades con un mayor grado de satisfacción.

Referencias

[1] Universia.net, «Prácticas y estadías profesionales en México: análisis del panorama actual,» 28 octubre 2019. [En línea]. Available: https://www.universia.net/mx/actualidad/empleo/practicas-estadias-profesionales-mexico-analisis-panorama-actual-1167054.html. [Último acceso: 12 junio 2023].

[2] D. A. M. R. J. F. E. E. M. D. R. M. Miriam V. Chan Pavon, «Contribución de las Prácticas Profesionales en la formación de los Estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán (México),» 24 agosto 2017. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://scielo.conicyt.cl/pdf/formuniv/v11n1/0718-5006-formuniv-11-01-00053.pdf. [Último acceso: 01 julio 2023].

[3] S. d. l. República, «Gaceta del Senado,» 14 diciembre 2015. [En línea]. Available: https://www.senado.gob.mx/65/gaceta_del_senado/documento/59983. [Último acceso: 09 julio 2023].

[4] J. L. C. O. A. P. M. G. Jorge Luís Rodríguez Díaz, «El éxito de las Prácticas pre-profesionales: ¿De qué depende?,» marzo 2022. [En línea]. Available: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180473697015. [Último acceso: 10 julio 2023].

[5] U. A. d. Coahuila, «Reglamento de prácticas profesionales,» 05 diciembre 2008. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.transparencia.uadec.mx/sassit/docs/Reglamento%20Practicas%20Profesionales.pdf. [Último acceso: 02 julio 2023].

[6] E. d. Sistemas, «Escuela de Sistemas,» 2019. [En línea]. Available: http://www.sistemastorreon.uadec.mx/. [Último acceso: 12 julio 2023].

[7] V. H. S. Hernández, «Capítulo 9: Diseño de estudios transversales,» sf. [En línea]. Available: https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1721&sectionid=115929954. [Último acceso: 22 julio 2023].

[8] M. DeCarlo, «7.1: Tipos de investigación,» sf. [En línea]. Available: https://espanol.libretexts.org/Ciencias_Sociales/Trabajo_Social_y_Servicios_Humanos/Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_en_Trabajo_Social_(DeCarlo)/07%3A_Dise%C3%B1o_y_causalidad/7.01%3A_Tipos_de_investigaci%C3%B3n#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20explora. [Último acceso: 22 julio 2023].

[9] S. Académico, Interviewee, Indice aproximado de acreditación de prácticas profesionales. [Entrevista]. 23 agosto 2018.

 ISSN: 2007 8102

El Trabajo en Equipo como proceso Enseñanza-Aprendizaje en la materia de Planeación y Diseño de Instalaciones

Naty Rodríguez Ventura[1], Raúl Mora Reyes[2].*
*[1] División de Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. Fracción I y II s/n, Aire Libre, Teziutlán. C.P. 73960, Puebla. *naty.rv@teziutlan.tecnm.mx*

[2] División de Sistemas Computacionales. Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. Fracción I y II s/n, Aire Libre, Teziutlán. C.P. 73960, Puebla. raul.mr@teziutlan.tecnm.mx

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo establecer una metodología para desarrollar las habilidades del trabajo colaborativo en estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán (ITST), se desarrolló un plan estratégico para aplicar el método de trabajo en equipo mediante el cual se logró potencializar sus beneficios en la materia de Planeación y Diseño de Instalaciones y con ello alcanzar un aprendizaje significativo.

Los resultados obtenidos fueron el fortalecer el proceso enseñanza aprendizaje y el incremento en las habilidades de trabajo en grupo de los 112 estudiantes participantes de la carrera de Ingeniería Industrial, de igual forma la hipótesis planteada sobre implementar una metodología adecuada que propicie la cooperación, comunicación, el desarrollo de competencias sociales y de trabajo en equipo, favorecerá a los estudiantes ya que podrán adquirir las competencias específicas que requiere la materia de una manera integral y no fraccionada fue aceptada.

***Palabras clave**: Metodología, Trabajo en equipo, Aprendizaje, Diseño de Instalaciones.*

Abstract

The objective of this study was to establish a methodology to develop collaborative work skills in students of the Industrial Engineering career of the Teziutlán Higher Technological Institute (ITST), a strategic plan was developed to apply the teamwork method through which managed to potentiate its benefits in the area of Planning and Design of Facilities and thereby achieve significant learning.

The results obtained were to strengthen the teaching-learning process and the increase in group work skills of the 112 students participating in the Industrial Engineering career, in the same way the hypothesis raised about implementing an adequate methodology that promotes cooperation, communication, the development of social skills and teamwork will favor students since they will be able to acquire the specific skills required by the subject in a comprehensive and non-fractionated way; was accepted.

***Key words**: Methodology, Teamwork, Learning, Facilities Design.*

Introducción

En la actualidad, para las organizaciones públicas y privadas es de suma importancia contar con profesionistas que demuestren habilidades sociales y de trabajo en equipo para que tengan un mejor desempeño laboral. El trabajo en equipo permite que los miembros de la organización desarrollen habilidades y estilos de liderazgo que intensifican el pensamiento, la planificación, la toma de decisiones y las acciones que se ven a lo largo del avance de cualquier proyecto. Trabajar en equipo implica trabajar colaborando con otras personas qe forman parte de ese equipo, además implica realizar el trabajo comprometiéndose con los miembros del equipo. [1]

 ISSN: 2007 8102

El proceso de aprendizaje y, junto a él, el rendimiento académico del estudiante están directamente relacionados con la motivación, en tanto en cuanto se ven influenciados por factores afectivos. De hecho, la motivación del estudiante se considera un elemento esencial de la actividad formativa. El problema radica en la dificultad de medir la motivación en el ámbito académico puesto que existen distintos factores, pautas y modelos que abordan el tema desde perspectivas muy diferentes. [2]

La iniciativa, versatilidad y confianza de los miembros de la organización, permiten que exista mayor compromiso y propiedad tanto de la empresa como de los proyectos que se deben realizar, pues al tener un equipo donde se respetan las decisiones, críticas y aportes de cada uno de los miembros, la fluidez del equipo y de las actividades a realizar se pueden cumplir tal y como es esperado por el cliente y lo que éste espera del equipo. Para el desarrollo de este proyecto se consideró la importancia de la Iniciativa como una característica base en el trabajo en equipo, ya que de acuerdo a Puig Rovira & Martín García, es la acción de adelantarse a los demás en hablar u obrar [3]. Así mismo se muestra la importancia que tiene el aplicar una estructura detallada, con secuencia lógica y con los medios necesarios para su cumplimiento en las fechas y formas establecidas previamente.

Metodología

Tomando como base que los fenómenos se deben observar y estudiar, se formulan hipótesis y experimentaciones para entenderlos a fondo, razonando sobre ellos, para hacer que las observaciones relativas a los hechos se conviertan en conceptos [4], para llevar a buen término este proyecto y alcanzar los objetivos planteados, se implementaron las etapas del método científico que se muestran en la Figura 1:

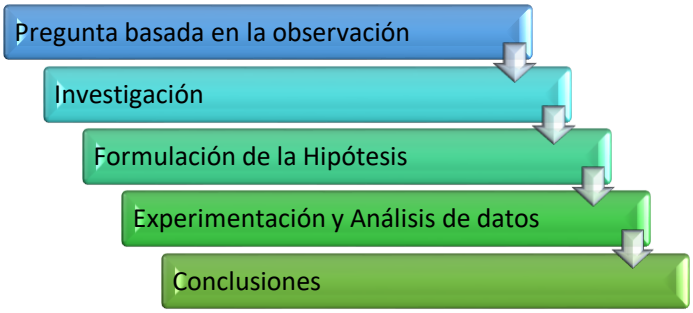


Figura 1. Etapas del método científico

Instrumentos utilizados para el primer momento de exploración de la situación actual

La mediación informática tiene una gran influencia sobre varios aspectos de la práctica y la teoría comunicativa. Internet presenta similitudes con muchos medios de comunicación anteriores, como las cartas escritas, el teléfono, el telegrafo, las notas posit y demas. Al mismo tiempo, las capacidades y usos de la comunicación vía Internet tienen una configuración única que modela las percepciones y las interacciones de los usuarios (y, por ende, de los investigadores). [5]

Debido a lo anterior y aprovechando la accesibilidad y eficiencia de formularios en internet, una de las técnicas utilizadas para la exploración y recolección de datos sobre los estudiantes fue un cuestionario en Office Forms. Se utilizaron 10 preguntas y fueron respondidas por 112 estudiantes inscritos en el séptimo semestre de la carrera de Ingeniería Industrial en la materia de Planeación y Diseño de instalaciones. Dichos alumnos pertenecían a tres grupos distintos, dos del sistema escolarizado y el tercero del sistema mixto, las características de los grupos de sistema escolarizado, es que asisten a clases de lunes a viernes, tomando la materia durante cuatro horas por semana, en este caso de manera presencial. Los estudiantes del sistema mixto es que toman clases presenciales cada sábado durante dos horas y las otras dos horas de su materia la toman como asesoría entre semana, que dicho sea de paso rara vez la aprovechan por temas de horarios laborales.

El estudio se llevó a cabo en dos momentos: El primero al inicio del semestre bajo una metodología de trabajo en equipo tradicional, es decir; sin ninguna indicación adicional sobre el trabajo en grupo. El segundo momento se

 ISSN: 2007 8102

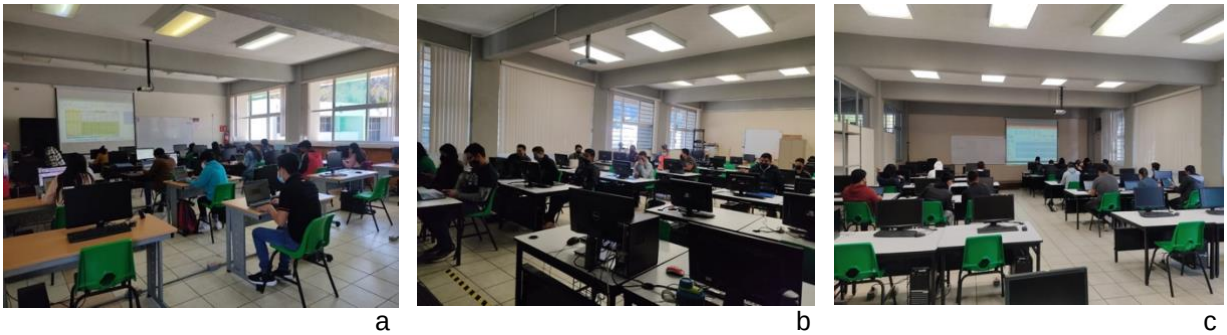
llevó a cabo tomando como producto final el entregable solicitado por la materia después de haber aplicado la metodología propuesta.

De igual forma se les pidió que realizaran una coevaluación del último trabajo en equipo realizado dentro de la materia eje de Planeación y Diseño de Instalaciones. Con ello se identificó el desempeño y comportamiento de los estudiantes bajo la forma de trabajo en equipo que ellos ocupaban tradicionalmente, con base en las características actitudinales y de desempeño que se pretende que tengan los estudiantes al realizar trabajo colaborativo, se diseñó la propuesta de coevaluación, la cual se considera un instrumento fiable y efectivo para evaluar la calidad del aprendizaje y participación en este caso y que contribuye a su mejora en la medida que estimula la autorregulación y el desarrollo de competencias profesionales durante la propia situación de evaluación. Los rasgos considerados se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 1. Formato propuesto para coevaluación del trabajo en grupo

COEVALUACIÓN				
Nombre del alumno: _____				
Rasgo	Niveles			
	Siempre	A veces	Se le dificulta hacerlo	
	3	2	1	
Participa en la toma de acuerdos del equipo.				
Realiza tareas de calidad adecuada y cumple con las comisiones asignadas.				
Participa en todas las actividades realizadas por el equipo.				
Colabora en la presentación del producto final.				
Respeta a todos sus compañeros.				
Muestra una actitud positiva al trabajo.				
Total				

Para que los estudiantes respondieran el formulario, se programó un horario durante el tiempo de la clase para con la intención de que los estudiantes se concentraran en dicha actividad y sólo se enfocaran en ella evitando así distracciones, interrupciones u olvidos. En la Figura 2 se observa a los diferentes grupos que participaron respondiendo el cuestionario de exploración para el estudio: a) Grupo 7A (Figura 2.a); b) Grupo 7B (Figura 2.b) y c) Grupo 7F (Figura 2.c).



a b c

Figura 2. Grupos de Ingeniería Industrial respondiendo la encuesta en laboratorios del Instituto: a) Grupo 7A. b) Grupo 7B. c) Grupo 7F.

Procesamiento de datos y Análisis

Se analizaron las gráficas de las respuestas obtenidas en las encuestas realizadas a los estudiantes por medio de la plataforma de Microsoft Forms, en la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos de cada una de las 10

 ISSN: 2007 8102

pregunta realizadas a los 112 estudiantes de la materia de Planeación y Diseño de Instalaciones quedando de la siguiente manera:



Figura 3. Resultados del cuestionario aplicado a los 112 estudiantes participantes en el estudio de la materia de Planeación y Diseño de Instalaciones : a) Indica tu sexo. b) ¿Te gusta realizar trabajos en equipo?. c) ¿Aprendes mejor cuando desarrollas trabajos individuales o en equipo?. d) ¿Consideras que el resultado obtenido en una actividad es mejor cuando se realiza de forma individual o en equipo?. e) ¿En alguna ocasión has tenido el deseo de cambiarte de equipo?. f) ¿En alguna ocasión te has cambiado de equipo?. g) ¿Consideras que por sus características en algunas materias si se puede trabajar en equipo y en otras no?. h) Cuando se forman los equipos, ¿cómo prefieres que se agrupen?. i) ¿Cuál de los siguientes factores consideras que afecta más al trabajar en equipo?. j) Califica tu nivel de compromiso al trabajar en equipo.

4.1 Metodología propuesta

Con base en los resultados del cuestionario exploratorio se pudo observar que los estudiantes reconocen la importancia de trabajar en equipo, pero no se sienten motivados para cumplir completamente con las actividaes

 ISSN: 2007 8102

ni observan compromiso de sus compañeros de equipo. Para tener una implementación exitosa de la técnica de trabajo en equipo, se propuso que el docente debe planear previamente cada una de las actividades que solicitará para trabajar en grupo. Para ello, debe tener bien establecidas las rúbricas, formatos y entregables que va a solicitar y para ello se propusieron las actividades de la Figura 4.

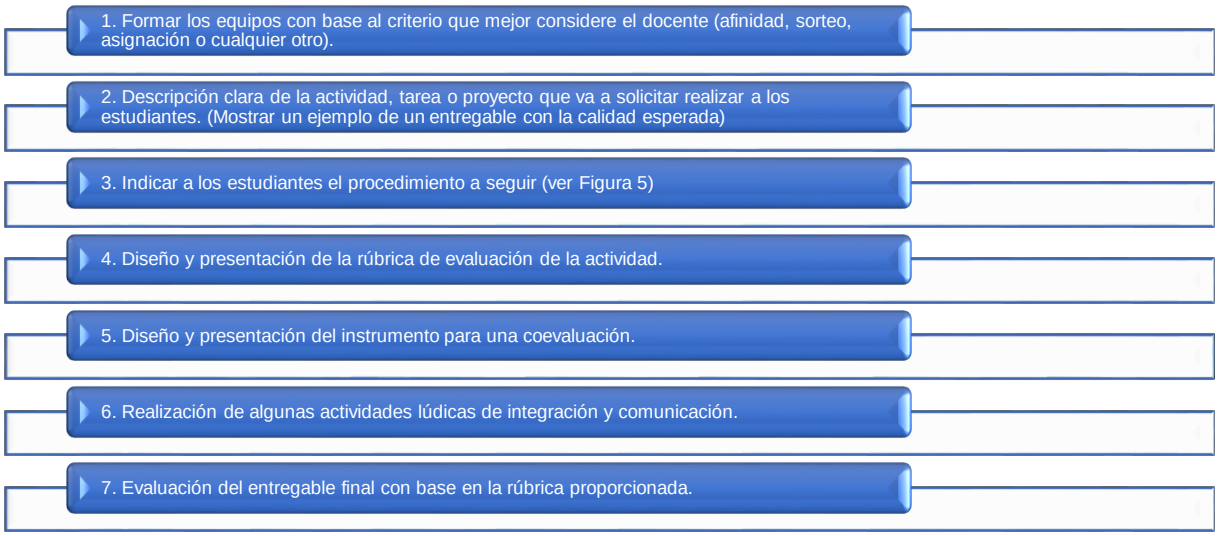


Figura 4. Metodología propuesta para que el docente la aplique al solicitar trabajos en equipo

Las indicaciones deben ser muy claras no sólo al solicitar el trabajo a realizar, sino también deben ser explicitas al indicarles a los estudiante cómo deben trabajar en equipo, en la Figura 5 se muestran las actividades que cada grupo de estudiantes deberán seguir paso a paso:

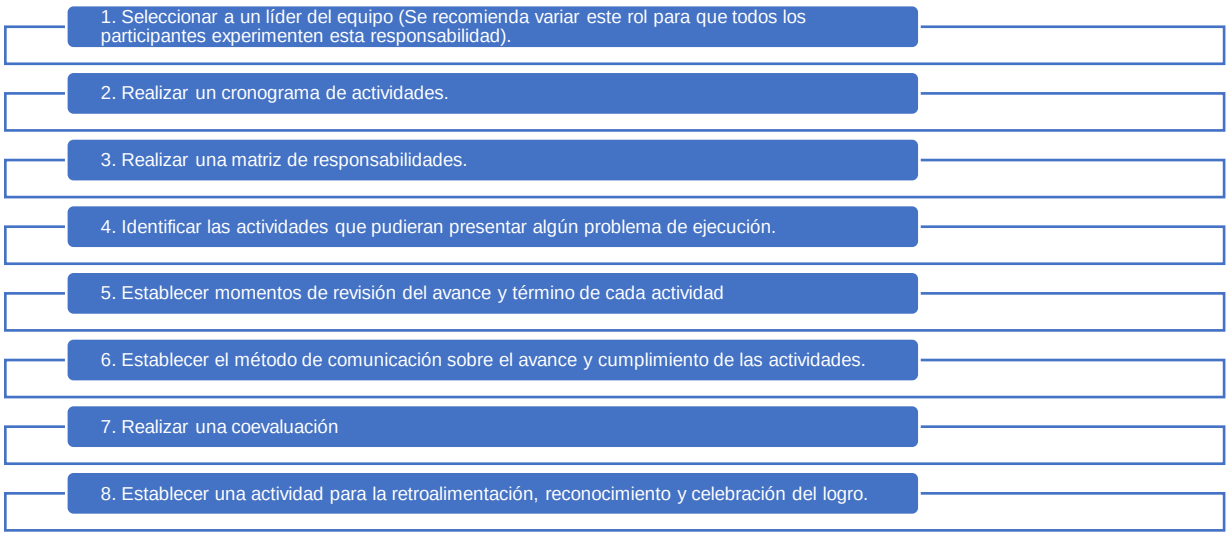


Figura 5. Actividades a desarrollar por los estudiantes de cada equipo

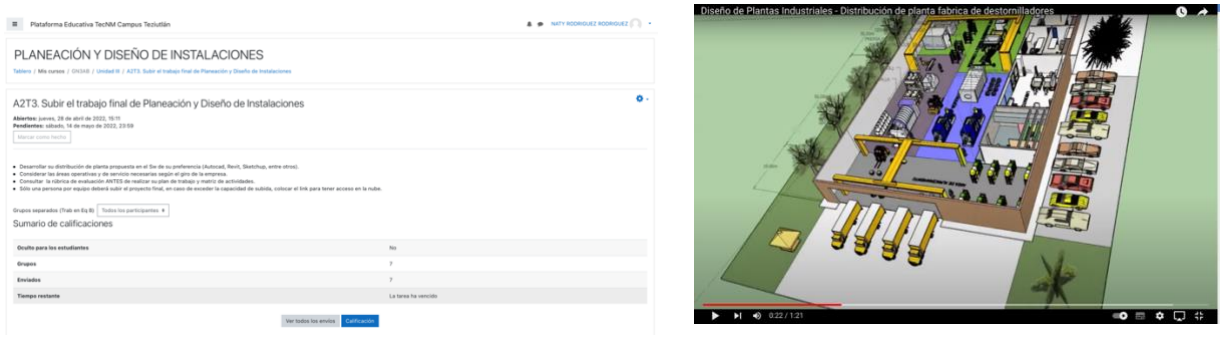
Desarrollo

Para llevar a cabo la metodología propuesta se llevaron a cabo las siguientes actividades;

1. Se solicitó a los estudiantes que formaran equipos de trabajo por afinidad,
2. Se les solicitó que desarrollaran una distribución y el diseño de instalaciones de una planta industrial y a todos se les dieron a conocer las características del entregable final esperado el cual fue un video de su distribución realizada en 3D, para ello; se les colocó en plataforma Moodle las características del trabajo

 ISSN: 2007 8102

solicitado y se les mostró un video como ejemplo del entregable con la calidad mínima esperada como se observa en la Figura 6:



a b

Figura 6. Asignación de la actividad en plataforma. a) Indicaciones. b) Ejemplo del entregable final en video solicitado para realizarlo en equipo.

3. De la misma manera como se puede ver en la Figura 7, se les compartieron varios links para que revisaran diferentes videos que cumplen con los requerimientos mínimos esperados de la materia de Planeción y Diseño de Instalaciones.



Figura 7. Links de ejemplos del entregable final en plataforma Moodle

Para el tercer paso de la metodología propuesta, se les explicó a los estudiantes la forma en que debían trabajar en equipo, las indicaciones se detallan en la Figura 5. Cada actividad sugerida consiste en lo siguiente:

a. Seleccionar a un líder del equipo (Se recomienda variar este rol para que todos los participantes experimenten esta responsabilidad). Para esta actividad se les dio tiempo en clase a los equipos para elegir a su líder de proyecto, se les sugirió considerar que ese rol lo podrían ejercer todos en proyectos diferentes, se les explicó la importancia de que en este rol, la persona responsable debería utilizar varias estrategias para motivar al equipo de trabajo, algunas de las más recomendadas en el manual de trabajo en equipo son: organizar la agenda, organizar reuniones para informar de los logros y progresos, realizar entrevistas de evaluación y seguimiento, delegar tareas y responsabilidades. [1]

b. Realizar un cronograma de actividades. Para que realizaran su cronograma de actividades se les proporcionó un formato sugerido el cual se muestra en la Figura 8, ya que con base en su creatividad y aplicación del proceso de mejora contínua, se les permitió modificar el formato siempre y cuando tuviera al menos las características básicas solicitadas en la rúbrica.

Planeación y Diseño de instalaciones
Cronograma

Líder del equipo de trabajo:

Marque con X Act. Críticas o de riesgo	Actividades	Semana										Responsable	Revisiones de avance			Fecha Prog. de Terminación	Fecha real de Terminación
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3		
	1.																
	2.																
	3.																
	4.																
	5.																
	6.																
	7.																
	8.																
	9.																
	10.																
	Observaciones:																

Figura 8. Formato sugerido para cronograma de actividades y matriz de responsabilidades

c. Realizar una matriz de responsabilidades. En la Figura 8 se muestra que el formato incluye la sección de matriz de responsabilidades.

d. Identificar las actividades que pudieran presentar algún problema de ejecución. En la Figura 8 se muestra que el formato incluye la sección de identificación de actividades críticas o de riesgo.

e. Establecer momentos de revisión del avance y término de cada actividad. En la Figura 8 se muestra que el formato incluye la sección para establecer hasta tres momentos de revisión de avances, así como la fecha programada de terminación de la actividad y la fecha real.

f. Establecer el método de comunicación sobre el avance y cumplimiento de las actividades. Para el método de comunicación se les sugirió a los estudiantes elegir uno que les permitiera tener seguimiento constante y oportuno, dentro de ellos se consideraron el uso de Google Drive, WhatsApp u alguna otra red social.

g. Realizar una coevaluación. Se les indicó a los estudiantes la importancia de realizar al final la coevaluación correspondiente y los rasgos a evaluar que se mostraron previamente en la Tabla 1.

h. Establecer una actividad para la retroalimentación, reconocimiento y celebración del logro. Para esta actividad se les indicó a los estudiantes que al terminar su proyecto y presentarlo, se les daría tiempo en la clase para que realizaran la retroalimentación correspondiente a la actividad realizada, durante esa sesión deberían comentar de manera breve y puntual sobre lo que se hizo bien, lo que se hizo mal y sobre cómo se podría mejorar. Adicional a ello tendrían que elegir una actividad de celebración.

Después de explicarles la dinámica de equipos, se continuó con el paso 4 de la metodología propuesta:

4. Diseño y presentación de la rúbrica de evaluación de la actividad. Con cuatro semanas de anticipación, se les mostró la rúbrica con la cual se realizaría la heteroevaluación correspondiente a la actividad, esta se colocó en la Plataforma Moodle con los rasgos a considerar.

5. Diseño y presentación del instrumento para la coevaluación.

Se diseñó y presentó a los estudiantes el formato de coevaluación que se observa en la Tabla 1.

6. En el paso seis se sugiere la realización de algunas actividades lúdicas de integración y comunicación. Para este paso de acuerdo con Ruiz Speare, fue de suma importancia hacerle saber a los miembros de los equipos, que la comunicación es un requisito indispensable para lleva a cabo los objetivos planteados, para ello el emisor deberá cuidar la forma y la vía de lo que expresa, la congruencia entre su lenguaje verbal y el no verbal, y finalmente no perder de vista la necesidad de que el receptor se convierte en emisor para expresar la interpretación del mensaje, incluyendo la posibilidad de modificarlo [6]. Para esta

 ISSN: 2007 8102

prueba piloto se utilizaron dos actividades lúdicas previas a la aplicación de la metodología propuesta, la primera consistió en realizar una dinámica de EscapeRoom solucionando 3 retos los cuales se pueden ver en la Figura 9.

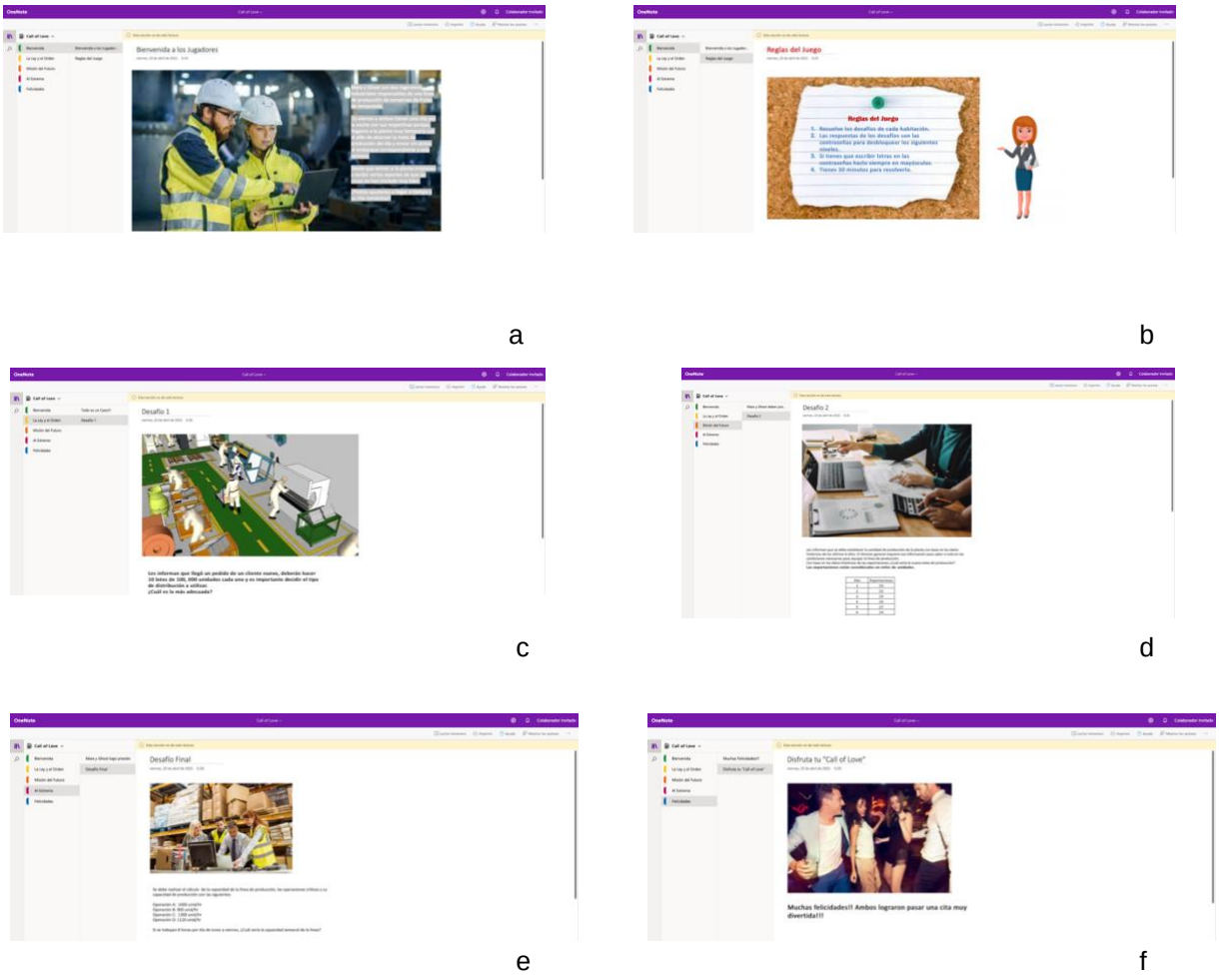


Figura 9. Interfaz del juego EscapeRoom. a) Bienvenida. b) Indicaciones. c) Primer desafío. d) Segundo desafío. e) Tercer desafío. f) Felicitación por el logro

La segunda actividad lúdica de integración y comunicación, fue colocar en un Padlet interactivo los principales factores influyentes para el diseño y distribución de instalaciones, algunas de las aportaciones dentro del padlet se pueden observar en la Figura 10:

 ISSN: 2007 8102



Figura 10. Padlet interactivo para integración de equipo

7. Evaluación del entregable final con base en la rúbrica proporcionada. Finalmente, se les dio a conocer sus calificaciones a través de la rúbrica de evaluación de la plataforma Moodle.

Resultados y discusión

Algunos de los proyectos que se desarrollaron como proyecto final ya trabajando con la metodología se muestran en la figura 11, en dónde claramente se observa que la calidad de los proyectos cumple con lo solicitado :

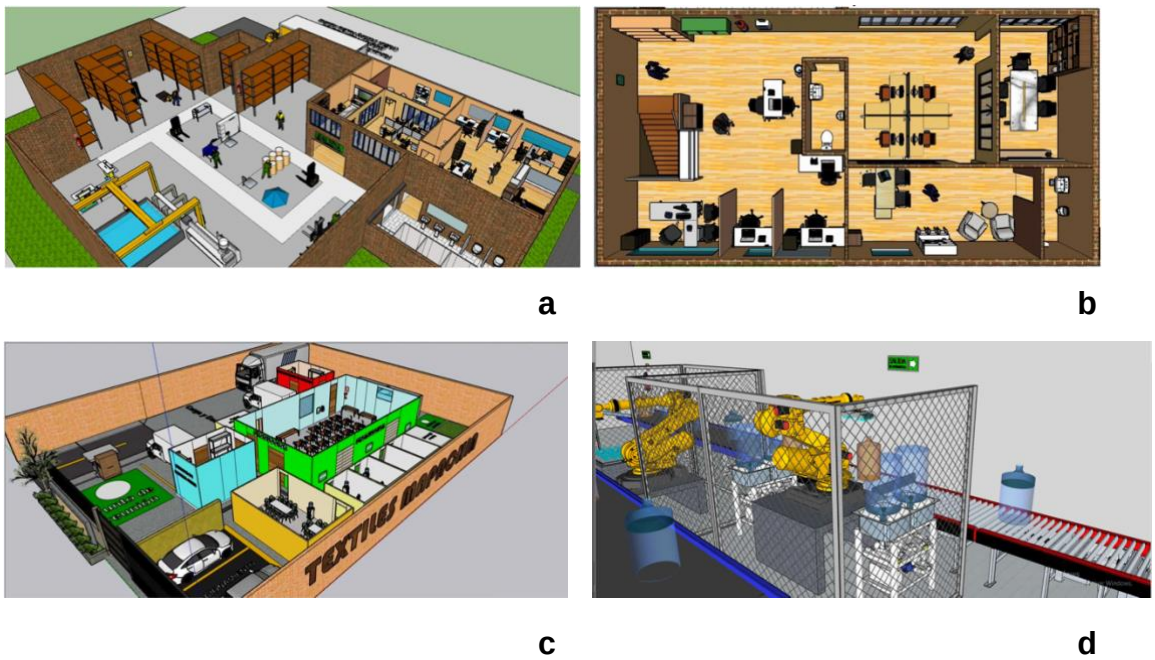


Figura 11. Ejemplos de proyectos realizados en equipo utilizando la metodologia propuesta. a) Empresa productora de articulos a base de inyección de plastico. b) Oficinas de una industria maquiladora de ropa. c) Empresa maquiladora de ropa. d) Empresa purificacora de agua.

De igual forma se identificaron las calificaciones obtenidas por los estudiantes al trabajar en equipo antes y después de la metodología propuesta, en la Figura 12, se observa que incrementaron las calificaciones altas y disminuyeron las regularles y las reprobatorias.

 ISSN: 2007 8102

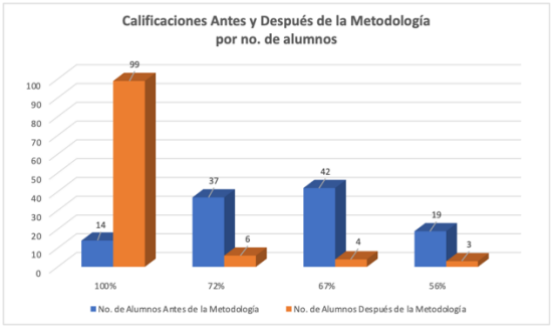


Figura 12. Comparativo de las calificaciones obtenidas por los estudiantes antes y después de la metodología propuesta.

Trabajo a futuro

Es de suma importancia identificar algunos otros factores que pueden influir en este estudio, por ejemplo analizar si la forma en que se constituyó el equipo, el sexo de los participantes, la personalidad del líder designado, el seguimiento del docente, entre otros factores; son influyentes de alguna manera en los resultados obtenidos al final del trabajo.

Conclusiones

Sin duda alguna el trabajo en equipo es una importante base para el logro de las metas de una empresa a corto plazo, por lo que se debe trabajar en motivación y estrategias que permitan que la integración de los equipos se realice de manera natural desde la formación profesional, aún cuando los estuidantes están concientes de que trabajar enequipo les permite aprender y agilizar las actividades, muchas veces no tienen la disponibilidad de conciliar diferentes puntos de vista ni de integrarse con diferentes personas que los saquen de su zona de confort. Este estudio ha demostrado que bajo una constante supervisión tanto de docentes como de alumnos, los resultados son más efectivos y son realizados verdaderamente en equipo ya que se estimula la participación y compromiso de todos.

Referencias

[1] A. Varios, Manual trabajo en equipo, Madrid: Editorial CEP, S.L., 2013.

[2] J. R. J. M. D. d. l. C. S. R. Ayose Lomba Pérez, Gamificación en el Aula, España: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria., 2021.

[3] J. Puig Rovira y X. Martín García, Competencia en autonomía e iniciativa personal, Madrid: Difusora Larousse - Alianza Editorial,, 2014.

[4] M. Galetto, Experimentar: aplicación del método científico a la construcción del conocimiento, España: Ministerio de Educación y Formación Profesional de España, 2013.

[5] Y. S. L. Norman K. Denzin, Métodos de recolección y análisis de datos: Manual de investigación cualitativa Vol. IV, Barcelona: Editorial Gedisa, 2015.

[6] j. O. R. Speare, Liderazgo, México: Editorial Alfil, S.A. de C.V., 2017.

ISSN: 2007 8102

Implementación del proyecto integrador desde la práctica docente

B. Ávila Martínez[1], G. Antonio Benito[1], J. F. Chávez Vargas[2]*
[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale, División de Ingeniería Industrial, Km. 6.5. Carretera Tamazunchale – San Martín, C.P. 79960, San Luis Potosí, México
[2]Centro de Bachillerato Tecnológico industrial y de servicios No. 187, Km 3 Carretera a San Martín Chalchicuautla, Colonia Buenos Aires, C.P. 79960, Tamazunchale, S.L.P.
**bernardino.am@tamazunchale.tecnm.mx*
***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen
La ejecución de un proyecto integrador permite la formación integral del estudiante en su perfil de egreso, creando ambientes reales de enseñanza y aprendizaje en el contexto industrial, en el cual pueda aplicar los conocimientos teóricos, que mediante el análisis, la observación y puesta en práctica, le permita identificar las áreas de oportunidad de mejora en un proceso de ensamble bajo el criterio de la toma de decisiones, y a su vez generar el intercambio de ideas, la comunicación efectiva y la socialización en el trabajo en equipo y el liderazgo. Este trabajo de investigación consiste principalmente en la aplicación de las herramientas y técnicas básicas de Ingeniería Industrial para el desarrollo de las competencias de las asignaturas de Diseño de Ingeniería e Ingeniería Aplicada del Programa de Estudios de la carrera de Ingeniería Industrial mediante el diseño e implementación de un sistema de manufactura de empaque y desempaque de dulces.

***Palabras clave**: Integrador, enseñanza, proceso, manufactura*

Abstract
Development of an integrating project allows the integral formation of the student in his graduation profile, trough creating real teaching and learning environments in the industrial context, they can apply the theoretical knowledge, which through analysis, observation and implementation , it can identify areas of opportunity for improvement in an assembly process under the criteria of decision making, and it generate the exchange of ideas, effective communication and socialization in teamwork and leadership. This research work consists mainly in the application of the basic tools and techniques of Industrial Engineering for the development of the competences of the subjects of Engineering Design and Applied Engineering of the Study Program of the Industrial Engineering career through the design and implementation of a candy packing and unpacking manufacturing system.

***Key words**: Integrator, teaching, process, manufacturing*

Introducción
El aprendizaje del estudiante es uno de los aspectos esenciales en el ámbito educativo, que depende en gran medida de las estrategias y herramientas de enseñanza utilizadas por parte del docente en el cual el proceso de enseñanza se centra principalmente en transmitir el conocimiento [1]. La educación debe responder a las exigencias que demanda la sociedad, al acelerado desarrollo de las revoluciones tecnológicas y a la sostenibilidad, es decir, ser partícipe en las soluciones para resolver problemas económicos, sociales y culturales transformando las prácticas académicas y sus procesos de formación profesional; el cambio permanente y acelerado de la innovación científica, le exige al docente incorporar en sus prácticas de enseñanza-aprendizaje tecnologías duras y blandas [2].
Estas necesidades de mejora en la práctica docente conducen al desarrollo de un proyecto direccionado al diseño e implementación de un proceso de manufactura enfocada principalmente a fortalecer los conocimientos básicos teóricos adquiridos en las asignaturas del área de Diseño de Ingeniería e Ingeniería Aplicada de la carrera de Licenciatura del Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale S.L.P., donde la mayor parte de los temas se imparte tratando de transmitir el conocimiento a los estudiantes por medio de la resolución de problemas planteados de manera escrita o casos de estudio, así como la aplicación de exámenes y desarrollo de algunas prácticas básicas de las asignaturas de manera aislada con otras disciplinas [3].
La estrategia de mejora mencionada en el párrafo anterior consiste en un proyecto integrador de tipo resolutivo, pretendiendo mejorar el aprendizaje en el estudiante aplicando los conocimientos adquiridos [4] con el desarrollo

de distintos tipos de actividades tales como; el diseño de un sistema de manufactura de empaque, el diseño de Layout, la aplicación de principios kaizen, el desarrollo de un sistema de MRP, y la medición del trabajo. De esta manera se logra la interacción de varias asignaturas para abordar un problema, ello permite que el estudiante tenga una formación y un conocimiento integral mediante el desarrollo de capacidades de un aprendizaje colaborativo [5], siendo esto una característica relevante de los proyectos integradores; el proyecto se desarrolla en equipos de trabajo de los estudiantes guiados por la asesoría del docente [6]
Una de las razones principales para el desarrollo de un proyecto integrador se debe a la esencia en su definición como una estrategia metodológica y evaluativa de investigación, direccionada al planteamiento y solución de problemas relacionados con la práctica profesional y calidad de vida que requiere de la articulación de asignaturas del nivel y disciplina o carrera. Hecha esta salvedad, el proyecto integrador puede verse con dos vertientes disciplinares: formativa y resolutiva, por el impacto que generan en los distintos actores involucrados, toda vez que son pilar fundamental en la formación de los estudiantes con características de competencias para la correcta resolución de problemáticas en el ámbito profesional [7]
En este trabajo se presenta una modalidad que incluye a los proyectos integradores que promueven el desarrollo de las competencias adquiridas y enriquecidas de manera inter y multidisciplinar. El Proyecto Integrador está concebido como una importante estrategia formativa, pero a la vez una herramienta metodológica. Está encaminado a dirigir el trabajo a una mejor integración en cuanto a lo que verdaderamente se necesita, en primer lugar, el conocimiento de la teoría y práctica, personas, áreas, metodologías activas de aprendizaje e investigación interdisciplinaria [8].

Metodología

Materiales

Para el desarrollo de las actividades fue necesario contar con los requerimientos siguientes:

- Laboratorio de Métodos del Instituto. Un espacio de 6.5 metros por 4.3 metros, en la cual se estableció el Lay Out del proceso de manufactura.
- Mesas de trabajo de la estación 4 Formulación y Evaluación de proyectos que forman parte del laboratorio de Métodos. Se emplearon seis mesas de trabajo con dimensiones de 0.65 metros por 1.1 metros.
- Estantes. Se hizo la adecuación de tres estantes del laboratorio.
- Mesa para traslado de material. Se emplearon dos mesas o carritos para el traslado de la materia prima hacia el proceso y al almacén.

Preparación

El proyecto se inicia con la identificación del problema a resolver, el análisis de relación de competencias, el registro del proyecto integrador validado por el cuerpo colegiado de la Academia de la carrera de Licenciatura de Ingeniería Industrial, y culmina con la descripción de los productos resultantes del proyecto integrador para dar solución al problema identificado; las asignaturas involucradas en el proyecto integrador se visualizan la Tabla 1, así como las actividades antes descritas.

Una de las etapas más importantes del proyecto es el análisis de relación de competencias de las asignaturas a considerar para el proyecto, para ello, en este caso en particular, se establece como asignatura eje del proyecto la materia de Sistemas de Manufactura, integrada por estudiantes de 7º semestre; y se identifican las materias de “Probabilidad y Estadística”, “Estudio del Trabajo II”, y “Administración de Operaciones I”, como los nodos base; la asignatura intermedia “Administración de Operaciones II”; y la asignatura integrador en la Plan Curricular de la carrera corresponde a “Sistemas de Manufactura”. Esta relación de competencias entre las asignaturas se observa de manera esquemática en la Figura 1, en ella se observa la asignatura eje o integrador para dirigir el proyecto integrador para el logro de los objetivos establecidos coordinando las actividades de las asignaturas que le anteceden según la retícula de la carrera.

El objetivo del involucramiento de materias de las áreas de Diseño de Ingeniería e Ingeniería Aplicada permite diseñar e implementar la construcción de un sistema de manufactura física instalada en el laboratorio de Métodos en las instalaciones del Instituto, el cual se utiliza para la descripción, aplicación y compresión de temas fundamentales de la Ingeniería para el fortalecimiento de las competencias de los estudiantes. Los temas más relevantes que se aplican en la línea de manufactura para su compresión básica, se enlistan como sigue: Planeación de los Requerimientos de los Materiales (MRP), Sistema Justo a Tiempo (JIT), Sistema Kanban, Equipos orientados a la solución de problemas (TOPS), Principios de Seis Sigma, VSM. (Value Stream Mapping,

 ISSN: 2007 8102

y el Muestreo de Trabajo. Los temas descritos fortalecen la parte teórica vista en las aulas y mejoran su compresión con la aplicación práctica, a su vez, se reducen los índices de reprobación de las asignaturas y los índices de deserción.

Tabla 1. Relación de las Competencias, asignaturas y entregables para el proyecto integrador

COMPETENCIAS A DESARROLLAR	ASIGNATURA	PRODUCTO(S) A ENTREGAR		
		ETAPA UNO	ETAPA DOS	ETAPA FINAL
Aplica herramientas metodológicas para desarrollar el diseño, elaboración, secuencia y programación del plan de producción, en la administración y mejora de sistemas productivos. Diseña, administra y mejora sistemas en base a los requerimientos de materiales.	Administración de las Operaciones II	Identificación de las necesidades y requerimientos de los materiales y datos de producción	Diseño del sistema MRP	Implementación del MRP y kanban
			Diseño del sistema Kanban por medio de tarjetas	
Diseña, mejora e integra sistemas productivos de bienes y servicios aplicando tecnologías para su optimización. Diseña, implementa y mejora sistemas de trabajo para elevar la productividad.	Estudio del Trabajo	Determinación de actividades y secuencia lógica de las estaciones de trabajo	Cálculo de tiempo de valor agregado	Determinación de los tiempos
			Balanceo de las estaciones de trabajo	Estandarización de tiempos
Aplica los conceptos de la teoría de la probabilidad y estadística para organizar, clasificar, analizar e interpretar datos para la toma decisiones en aplicaciones de la industria y logística.	Probabilidad y Estadística	Cálculo de estadística descriptiva del proceso	Distribución de probabilidad de variables continuas	Presentación de estadísticos del proceso
			Distribución de probabilidad de variables discretas	
Evalúa y optimiza los sistemas de manufactura empleados en la generación de bienes y servicios, mediante el uso de técnicas y herramientas de vanguardia.	Sistemas de Manufactura	Selección y diseño del proceso producción	Instalación y montaje de estaciones de trabajo	Implementación de 5´s, kaizen, jidoka, heijunka
			Diseño de secuencia de trabajo	Diseño del Value Stream Mapping
			Mejoras con herramientas Lean	
Utiliza técnicas de pronósticos y de planeación de la capacidad para tomar decisiones en la administración de sistemas de producción de bienes y servicios. Aplica técnicas de inventarios y de administración de almacenes para optimizar los sistemas de almacenamiento.	Administración de las Operaciones I	Determinación de la capacidad de producción del proceso	Diseño de un sistema de control de inventarios	Implementación del sistema de control de inventarios y almacén
			Diseño de un sistema de control de almacén	

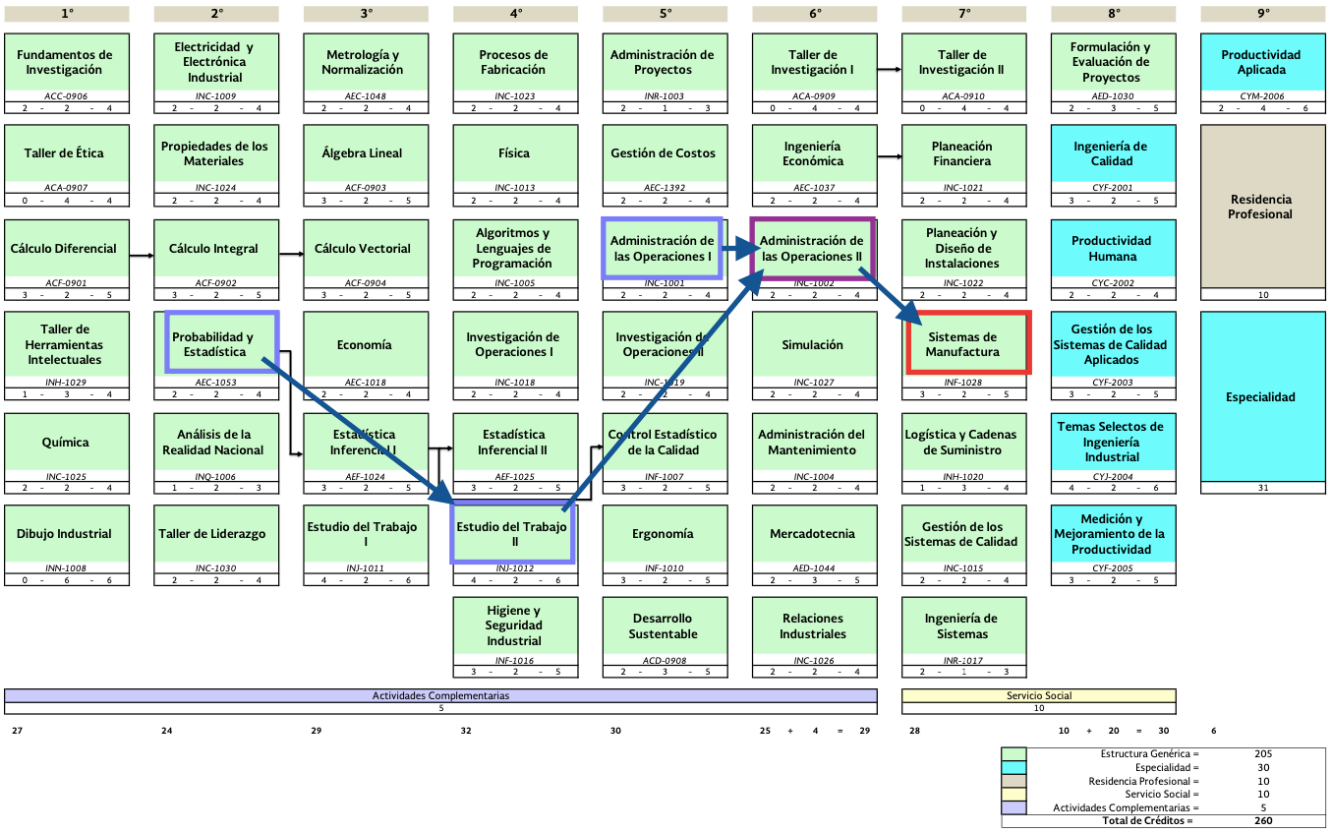


Figura. 1 Asignaturas nodo, intermedio e integrador en el mapa curricular de la carrera de Ingeniería Industrial

 ISSN: 2007 8102

Desarrollo

La problemática identificada para el desarrollo del proyecto consiste en diseñar y desarrollar un proceso de manufactura como práctica didáctica para mejorar la comprensión de los temas de las asignaturas. Para el diseño del proceso se inició con la asignatura de Sistemas de Manufactura para el análisis del proceso, la cual se considera como primera actividad para iniciar con el proceso la compra de la materia prima que consiste en la compra de 12 tipos de dulces, complementando con bolsas de plástico con medidas de 20 x 30 cm; y listones de 5 colores diferentes, un color por cada tipo de producto empaquetado.

Se seleccionan 5 tipos de bolsas o variedad de paquetes que se pueden empaquetar para ejecutar el proceso, cada tipo de bolsa contiene diversos tipos de dulces, de manera que se puedan hacer distintos pedidos de producción en una corrida del proceso; para tener un flujo continuo del actividades y tener en disponibilidad la materia prima en el almacén se consideran actividades de empaque y desempaque, que para fines académicos es de gran aporte para el análisis completo del proceso, además de disminuir los costos de materia prima evitando la compra de dulces en cada corrida de empaque.

El proceso inicia con la recepción de la materia en el almacén, mediante carritos transportadoras se aprovisionan los dulces y complementos en el área de empaque según los órdenes de pedido, una vez realizado el embolsado o empaquetado se procede a revisar las especificaciones y requerimientos de contenido de cada bolsa en el área de calidad en donde se registran los productos con algún faltante en cantidad o tipo de dulce como producto defectuoso, todos los paquetes de dulces se pasan al área de desempaque para nuevamente clasificar los dulces por tipo y cantidad para finalmente ser enviados al almacén e iniciar nuevamente el proceso.

Estas estaciones de trabajo se describen en la Tabla 2 que están diseñadas para que la materia prima se vuelva a utilizar regresándolo al almacén.

Tabla 2. Descripción de las estaciones de trabajo

Estación de Trabajo	Descripción
Almacén	Se inicia el proceso desde la adquisición de los dulces como materia prima y se colocan en el almacén de acuerdo al tipo de dulce, considerando las cantidades y embalaje según corresponde para su adecuado almacenaje y posterior aprovisionamiento al área de empaque.
Empaque	El proceso de empaque de la confitería inicia desde el llenado de bolsas de dulces al momento en que se movilizan las materias primas de bolsas, dulces y listones de amarre, y culmina con el traspaso del producto terminado al área de calidad. Está integrado por cuatro operadores con actividades específicas.
Calidad	Esta parte del proceso consiste principalmente en revisar el cumplimiento de los criterios de calidad del ensamble o proceso de embolsado de los dulces de acuerdo a los requerimientos y especificaciones de diseño.
Desempaque	Una vez revisado las especificaciones del producto terminado, se procede a desembolsar cada tipo de dulce colocándolos en sus respectivas ubicaciones en el área de desempaque para ser recogidas y llevadas al almacén nuevamente.



Figura. 2 Diseño de las estaciones de trabajo

En la Figura 2 se muestra el diseño de las estaciones de trabajo con apoyo con el software SketchUp y la distribución física. Cada estación de trabajo fue asignado a un equipo de trabajo en cada materia involucrada, por tanto, los estudiantes se comunicaban entre ellos para la coordinación y apoyo en la ejecución de las tareas. Una

vez planeada las actividades para el armado de las estaciones de trabajo se procedió a ejecutarlas en el espacio asignado en el laboratorio de métodos del Instituto para poder iniciar la corrida del proceso de empaque y desempaque.

Resultados y discusión

Resultados previos

El proceso de ensamble se conformó por tres estaciones de trabajo y un almacén para la materia prima, así como el área de aprovisionamiento de material sin tener un espacio físico asignado. Entre las actividades realizadas para instalar el proceso de producción se consideraron los siguientes puntos:

- Lay Out del proceso de producción, iniciando desde el almacén, empaque, calidad y desempaque.
- Análisis de los actividades o tareas del proceso para definir el número de operarios necesarios, realizando de esta manera un balanceo de línea inicial.
- Determinación de la cantidad y tipo de dulces adquiridas mediante la verificación de espacios para su almacenamiento y manipulación.
- Diseño de estantes y contenedores necesarios para los productos.
- Definición de tareas y actividades por estación y operador.

Las actividades anteriores se desarrollan por fases durante todo el semestre del periodo escolar.

Primera fase. Todas las actividades anteriores fueron desarrolladas por los estudiantes en varias sesiones de clase según los temas contemplas en las asignaturas. En la Figura 3 se muestra como los estudiantes inician la construcción o instalación de los equipos y materiales necesarios para el proceso de empaque y desempaque, en la cual implementan los conocimientos teóricos adquiridos en el aula.



Figura. 3 Etapa inicial de diseño

Segunda fase. En una primera distribución preliminar del proceso de ensamble se emplearon materiales de reciclaje y se colocaron los contenedores en lugares estratégicos para el flujo de la materia prima, tal como se muestra en la Figura 4, se tomaron como referencia para este Lay Out los conocimientos básicos de las asignaturas de Sistema de Manufactura, Administración de las Operaciones I y II, también se empleó el uso del software Autocad y SketchUp para los diseños preliminares y las mejoras del proceso.

 ISSN: 2007 8102



Figura. 4 Diseño preliminar del proceso

Tercera fase. Los estudiantes realizaron varias corridas del proceso para identificar las distintas áreas de oportunidad en las estaciones de trabajo. La Figura 5 muestra las actividades de mejora realizadas en las distintas fases del proceso, en la cual se tuvo la necesidad de rediseñar los contenedores, la reubicación de las mismas, así como modificaciones de las instrucciones de trabajo y reasignaciones de tareas a los operarios.



Figura. 5 Integración colectiva para el armado de las estaciones de trabajo

Después de llevar a cabo las mejoras identificadas, se procedió a rediseñar las estaciones en la cual incluyen el forro de contenedores, reorganización del almacén, implementación de tableros de producción, armado de estantes entre otras mejoras visuales; son notables las adecuaciones del proceso, la Figura 6 detalla visualmente las mejoras realizadas del cual se obtiene la distribución final del proceso de empaque y desempaque de confitería.

 ISSN: 2007 8102



Figura. 6 Distribución final del proceso de empaque y desempaque de confitería

Resultados obtenidos

Las asignaturas que intervinieron en la implementacion del proyecto académico en mayor medida fueron la Administración de Operaciones II, Estudio del Trabajo II, y Sistemas de Manufactura, debido al tiempo dedicado en el semestre y por los incovenientes suscitados no se logró cumplir los objetivos planteados en un inicio para el involucramiento de todos los grupos de estudiantes de la totalidad de las materias, sin embargo, se realizaron muchas actividades en el desarrollo del proyecto. Los resultados obtenidos en cada una de las materias involucradas se describen a continuación:

Sistemas de Manufactura. En esta asignatura se logró diseñar el sistema de manufactura de empaque y desemapque, el cual se optó que el proceso fuera de manera cíclica para minimizar los costos de la materia para poder así reutilizar los dulces una vez empaquetados y que el proceso de producción tuviera un flujo continuo, en ella se hace uso de software de diseño, criterios de distribución de espacios; la aplicación de principios káizen y Lean Manufaturing se realizaron en varias etapas del proceso, principalmente donde se detectaron cuellos de botella por la manipulación de los materiales o por su desabastecimiento, como se aprecia en la Figura 7 se implementaron dispositivos o diseños para mejorar el manejo de los dulces y para verificar el contenido de los contenedores en una cantidad definida, mismo que permitió el conteo para los inventarios y el abastecimiento oportuno a la línea de producción.



Figura. 7 Aplicación de principios Lean a los contenedores

Estudio del trabajo II. La medición del trabajo fue fundamental para poder estimar la capacidad de producción, en este caso, la cantidad de bolsas a empacar y el tipo de bolsa a procesar, por tanto, la medición de los tiempos de ejecución de las tareas se realizó de manera prioritaria; una vez obtenida los tiempos preliminares se dio la pauta de realizar un balanceo de la línea de la producción enfocándose en los principios de eliminación de los tiempos inactivos o minimización de cuellos de botellas, para esta actividad los estudiantes de la asignatura de sistemas de manufactura realizaron la implementación de las 5´s de manera previa. Como actividad final se realizaron la toma de tiempos para determinar tiempos estándar de las tareas de manera preliminar, así como la determinación de procedimientos o instrucciones de trabajo por operario y por estación de trabajo.

Administración de las Operaciones II. Para la aplicación de un sistema de MRP se empleó la hoja de cálculo excel que contempla de los tipos de productos o paquetes de dulces a empacar, para ello se definieron cinco variedades de paquetes asegurándose las existencias de cada pieza para su empaque; una vez definido las cantidades de

 ISSN: 2007 8102

requerimientos de los recursos se diseñó e implementó el sistema JIT para la pruebas preliminares mediante la implementación de algunos principios de herramientas Lean, una de ellas es el uso de la tarjeta Kamban y el tablero kanban mostradas en la Figura 8, que permitió una producción más organizada y mayor certidumbre en las tareas y operaciones de cada operario y del proceso completo, además permitió un seguimiento más cercano al nivel de existencias de toda la materia prima requerida para los pedidos, cabe señalar que los pedidos son del enfoque didáctica, es decir, se diseñaron tarjetas de pedidos y se llenaban para simular pedidos de clientes acorde a los tiempos y los días disponibles para las prácticas de los grupos de estudiantes.

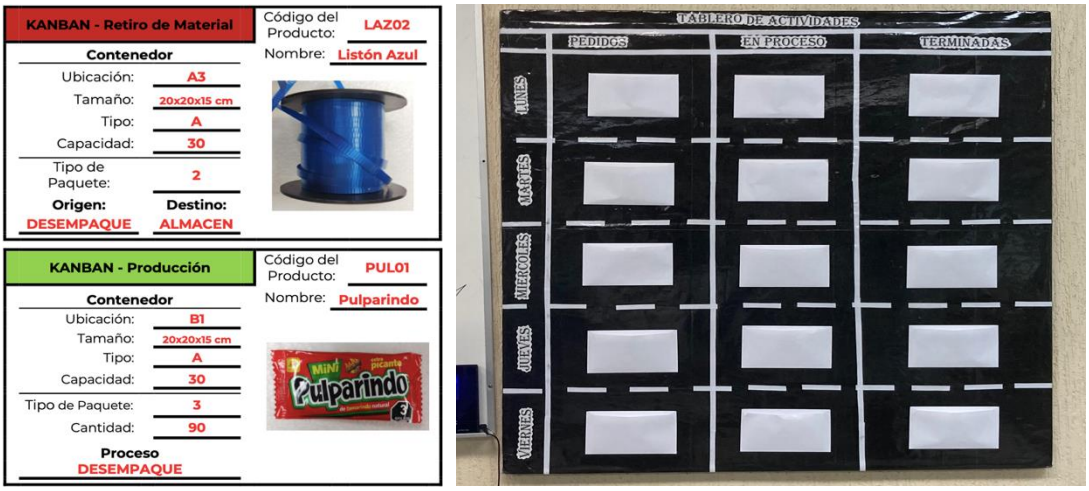


Figura. 8 Tarjeta y tablero Kanban para el sistema JIT en el proceso

Con lo anterior, se efectuaron diversas actividades previas no contempladas desde el inicio del semestre por necesidades mismas del proyecto, y que por iniciativa de los estudiantes se realizaron para cumplir con los objetivos del proyecto integrador.

Respecto a los índices de reprobación de los estudiantes en las asignaturas disminuyeron notablemente, como se muestra en la Figura 9, en dos materias se tuvo la acreditación del 100% de los estudiantes, y se muestra un total de 4 estudiantes que no acreditan las asignaturas donde las causas de la reprobación son por demasiado ausentismo en clase en las unidades de la asignatura de las cuales no presentaron evaluación; de los 4 estudiantes desertores jamás se presentaron en la materia o en su caso no realizaron la formalidad de baja de la materia en servicios escolares.

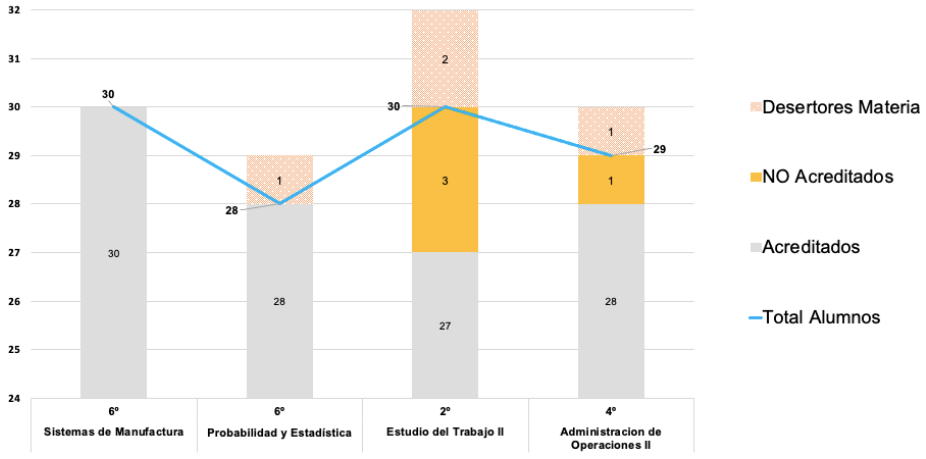


Figura 9. Reprobación y deserción en las asignaturas

Puede notarse que el proyecto integrador mejora los índices de aprobación y también el aprendizaje en los estudiantes, esto se puede verificar por medio del docente cuando los estudiantes exponen o resuelven los problemas que se presentan en el desarrollo del proyecto y desarrollan diferentes

 ISSN: 2007 8102

habilidades y destrezas a enfrentarse con situaciones reales. La Tabla 3 muestra los porcentajes de deserción respecto al total del grupo.

Tabla. 3 Porcentajes de mejora en las asignaturas.

Asignatura	Semestre	Total Alumnos	% Acreditados	NO Acreditados	% NO Acreditados	Desertores Materia	% Desertores Materia
Sistemas de Manufactura	6º	30	100%	0	0%	0	0%
Probabilidad y Estadística	6º	28	100%	0	0%	1	4%
Estudio del Trabajo II	2º	30	90%	3	10%	2	7%
Administración de Operaciones II	4º	29	97%	1	3%	1	3%

Competencias desarrolladas

La combinación de la teoría con la práctica conllevó el desarrollar múltiples competencias en el estudiante a lo largo del desarrollo del proyecto integrador. Entre las competencias genéricas más notorias son las descritas en los párrafos sucesivos.

- Competencias instrumentales. Relacionadas directamente con la comprensión y manipulación de ideas, metodologías, equipo y destrezas como la investigación y el análisis de información. Entre ellas se incluyen las capacidades cognitivas: la capacidad de comprender y manipular ideas y pensamientos; las capacidades metodológicas para manipular el ambiente: ser capaz de organizar el tiempo y las estrategias para el aprendizaje, tomar decisiones o resolver problemas; las destrezas tecnológicas relacionadas con destrezas de computación; así como, de búsqueda y manejo de información; y las destrezas lingüísticas tales como la comunicación oral y escrita.
- Competencias interpersonales. Estas competencias facilitaron los procesos de interacción social y cooperación entre los estudiantes. Las competencias más destacadas son la capacidad crítica y autocrítica, el trabajo en equipo, y la apacidad de trabajar en equipo interdisciplinario, este caso, con estudiantes de semestres y grupos diversos.
- Competencias sistémicas. Estas capacidades contribuyeron a la habilidad de planificar como un todo de manera sistémico, y diseñar nuevos sistemas. Los estudiantes desarrollaron la capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica, implementaron las habilidades de investigación, la capacidad de adaptarse a nuevas situaciones en ambientes reales de trabajo, la capacidad de generar nuevas ideas (creatividad) para poder implantar un proceso de producción desde cero, practicar el liderazgo entre los equipos de trabajo, la habilidad de trabajar en forma autónoma, la preocupación por la calidad en cada una de las tareas asignadas, y la búsqueda del logro.

Es de gran relevancia hacer notar que, en este tipo de actividades o proyectos académicos, al estudiante le permite desarrollar otras habilidades, destrezas o mostrar capacidades muy diferentes a las que pudiera desarrollar con una actividad teórica en su totalidad o trabajarlo de manera subjetiva. La oportunidad de interactuar con los compañeros de trabajo, ejecutar una actividad físicamente y poder medir o evaluar su ritmo de trabajo bajo su propia administración del tiempo, le permite sin duda alguna tomar mayor responsabilidad en su aprendizaje [9].

Trabajo a futuro

La ejecución del proyecto integrador tiene un alcance hasta la optimización de los tiempos de actividad en las tareas u operaciones que ejecuta cada operario, por consecuencia, se requiere un mayor tiempo de análisis e implementación de mejoras. Entre las actividades que se requieren mejorar para trabajos posteriores se encuentran: la distribución del LayOut, el sistema de MRP en Excel, rediseñar las tarjetas Kanban, aplicar las mejoras en los contenedores y manejo de materiales y redefinir las tareas de los operarios. El proyecto integrador se dará continuidad con los grupos en semestres posteriores para la implementación de los temas prácticos de la carrera enfocados principalmente al desarrollo de las competencias profesionales a los próximos egresados, con las mejoras futuras se pretende lograr su optimización, y adaptar el sistema de una manera tal que su diseño sea desmontable y permitir el ahorro de espacio del laboratorio de Métodos.

Se requiere también realizar una investigación muy puntual con los estudiantes desertores, y con el tema del ausentismo, debido a que este factor afecta el desempeño grupal desde la perspectiva del docente.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en la implementación de los proyectos integradores en los estudiantes ayuda a mejorar la compresión de los conocimientos teóricos en el aula en las diversas asignaturas, tanto para las materias genéricas de la retícula como de la especialidad. Desde el enfoque de la aplicación del proyecto como estrategia de enseñanza, se genera mayor motivación para los estudiantes en realizar las actividades en la práctica de manera activa, existe un mayor involucramiento de todo el grupo; todo lo anterior permite desarrollar las competencias necesarias para incorporarse en el sector laboral, mayor comunicación y aprendizaje para su formación laboral y profesional. El proyecto integrador es una estrategia muy efectiva en el aprendizaje y cambia la forma positiva y de manera significativa la percepción de los estudiantes sobre los contenidos de las asignaturas [10], y genera a su vez una motivación de un mayor involucramiento en temáticas de interés de la carrera.

Referencias

[1] V. H. Moscoso Zamora y E. S. Quiñonez Alvarado, «Proyecto integrador de saberes, evidencia del resultado de aprendizaje,» *INNOVA Research Journal,* vol. 3, nº 3, pp. 84-94, 2018.

[2] A. M. R. F. René Pedroza Flores, «Perspectiva de la educación superior en México 2030,» México, 2022.

[3] E. Fraga Guerra y M. L. Brito Vallina, «Las Matemáticas en el Proyecto Integrador de Ingeniería Mecánica,» *Ingeniería Mecánica,* vol. 7, nº 3, pp. 49-52, 2004.

[4] Tecnológico Nacional de México, «Proyectos integradores para la formación y desarrollo de competencias profesionales,» Tecnm, México, 2014.

[5] C. G. Rodríguez Borges, C. A. Bowen Quiroz, J. A. Pérez Rodríguez y M. Rodríguez Gámez, «Evaluación de las capacidades de aprendizaje colaborativo adquiridas mediante el proyecto integrador de saberes,» *Formación Universitaria,* vol. 13, nº 6, pp. 239-246, 2020.

[6] N. Hewitt Ramirez, «El Proyecto Integrador: una estrategia pedagógica para lograr la interación y la socialización del conocimiento,» *Psychologia: Avances en la disciplina,* vol. 1, nº 1, pp. 235-240, 2007.

[7] T. N. d. México, «Proyectos integradores para la formación y desarrollo de competencias profesionales del Tecnológico Superior de México,» México, 2014.

[8] G. d. P. M. C. Marisol Rivero Herrada y Y. Ferrer-Sánchez, «Proyecto Integrador: una herramienta metodológica en la educación superior,» México, 2016.

[9] P. M. S.Silva, C. S. Pires y M. A. A. Pimenta, «Proyecto integrador y actitudes: una perspectiva hermenéutica del desarrollo de la competencia en la docencia,» *Estudios Pedagógicos XLVI,* nº 3, pp. 181-193, 2020.

[10] P. Toapanta Pinta, M. Rosero Quintana, M. Salinas Salinas, M. Cruz Cevallos y S. Vasco Morales, «Percepción de los estudiantes sobre el proyecto integrador de saberes: análisis métricos versus ordinales,» *Educación Médica,* vol. 22, nº 5, pp. 358-363, 2021.

Método de Monte Carlo como estrategia didáctica para la solución de la integral definida

Jaime Alberto Zaragoza Hernández[1], Claudia Sánchez García[2], Rita Rangel Flores[3],*
[1]Tecnológico Nacional de México /ITS del Oriente del Estado de Hidalgo jzaragoza@itesa.edu.mx,
[2]Tecnológico Nacional de México /ITS del Oriente del Estado de Hidalgo csanchez@itesa.edu.mx,
[3] Tecnológico Nacional de México /ITS del Oriente del Estado de Hidalgo rrangel@itesa.edu.mx.

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

Se presenta una propuesta para la aplicación por parte del estudiantado de la simulación mediante el método de Monte Carlo y la hoja de cálculo de Excel para hallar la solución de ecuación integral definida. Se aplica la simulación a la determinación del área bajo la curva de la ecuación de densidad de probabilidad Normal, por ser esta una ecuación que no se puede resolver de forma cerrada y su solución se realiza por métodos alternativos como el cálculo numérico, las series infinitas y la simulación. Se llega a la solución de manera gradual, comenzando por la evaluación y graficación de la función conocida como “campana de Gauss”, se procede a simular la función para luego escalar el espacio de graficación para finalmente simular la gráfica de área bajo la curva. Esta es una guía para que el estudiante de cálculo tenga una alternativa para la aplicación del cálculo integral.

***Palabras clave**: Cálculo, Simulación, Monte Carlo, Normal.*

Abstract

A proposal is presented for the application by the student of simulation using the Monte Carlo method and the Excel spreadsheet to find the solution to a definite integral equation. The simulation is applied to the determination of the area under the curve of the Normal probability density equation, since this is an equation that cannot be solved in a closed way and its solution is achieved by alternative methods such as numerical calculation, infinite series and simulation. The solution is reached gradually, beginning with the evaluation and graphing of the function known as "Gaussian bell", next step is to simulate the function and then scaling the graphing space to finally simulate the graph of the area under the curve. This is a guide for the calculus student to have an alternative for the application of integral calculus.

***Key words**: Calculus, Simulation, Monte Carlo, Normal.*

Introducción

Un gran desafío con el que se encuentran el estudiantado y el personal docente de cálculo es la dificultad que representa su conceptualización, si ya de por sí el aspecto algorítmico tiene su problemática al tratar con procedimientos algebraicos y hasta aritméticos que no todos dominan en el aula. Esta perspectiva algorítmica no siempre deja ver lo que el cálculo representa para la formación de profesionales de la ingeniería o la ciencia. Los cursos de cálculo, principalmente de ingeniería, buscan remediar la falta de conceptualización o visualización, de la manera en que se hace en la literatura relacionada con el tema, es decir, la solución de ejercicios de aplicación y el uso de herramientas tecnológicas.

La propuesta de los cuatros pasos de G. Pólya para resolver problemas matemáticos es tan válida ahora como lo fue en 1944. Pólya propone el siguiente orden: entender el problema, elaborar un plan, ejecutar el plan y mirar hacia atrás [8], [9]. En el contexto actual, para visualizar al cálculo y sus posibilidades de aplicación en los diversos campos del conocimiento, la tecnología se adapta adecuadamente a la propuesta de Pólya, principalmente en el primer paso, el entendimiento del problema; sigue entonces su adaptación al plan y su

 ISSN: 2007 8102

ejecución que llevan a la graficación con software y con la tecnología, mirar hacia atrás involucra la experimentación y validación de la solución.

En cuanto a la simulación, esta es una técnica poderosa para resolver problemas que requieren de modelado previo. Su aplicación junto con otras herramientas tecnológicas ayuda al estudiantado a comprender, planear y ejecutar una solución.

Planteamiento del problema.

Para los estudiantes de ingeniería, las matemáticas como se presentan por el docente en el aula son una abstracción que difícilmente se comprende de primera intención, incluso en asignaturas de aplicación práctica como la mecánica de fluidos y la termodinámica. En el caso del cálculo, este se presenta de manera procedimental y algorítmica, el mensaje que se le transmite al estudiante es que será de apoyo para el resto de la carrera como una base para su desarrollo profesional y hasta laboral [1].

El cálculo diferencial e integral en la ingeniería es inicialmente para el estudiante un conjunto de procedimientos algebraicos y aritméticos, que le llevan a encontrar una solución única que puede mostrarse en formas diferentes. Posteriormente el estudiante se enfrenta a la posibilidad de resolver problemas de aplicación que se encuentran en cualquier libro de texto de cálculo diferencial e integral, en algunos casos el docente de cálculo integral le solicita hallar el área bajo la curva de una figura que se encuentra en el entorno o la solución de un problema de su profesión, lo que representa para el estudiante una actividad desconcertante y a la que está irremediablemente comprometido a solucionar por cuenta propia. Sin importar el caso, se le pide al estudiante resolver procedimentalmente el problema de aplicación y que se compruebe la solución con software dinámico, usualmente Geogebra y en ocasiones otros similares.

Si bien el uso de software puede emplearse para comprender lo que se está resolviendo, este proceso de solución plantea: la creación del modelo, desarrollar la solución procedimentalmente (“arrastrando el lápiz”) siguiendo los pasos aprendidos en clase, para luego, comprobar mediante software el resultado numérico. El problema radica en que el estudiante se plantea la posibilidad de emplear solo el software, sin tener la necesidad de resolver modelos matemáticos complejos siguiendo la algorítmica de la solución analítica de derivadas e integrales definidas, por ejemplo. Al fin y al cabo, en el torno laboral la solución práctica es “la mejor solución por el momento”. Se relega así a la matemática a los matemáticos de profesión y científicos que la emplean. Otra problemática es que existe poca relación entre la ciencia básica y el resto de las asignaturas de los programas educativos de ingeniería.

Un concepto de tecnología que recientemente se ha incorporado de manera formal o informal en la retícula de muchos programas educativos de diversas áreas del conocimiento, es el de Industria 4.0. El Concepto fue introducido por el gobierno alemán en 2011 para impulsar el desarrollo tecnológico y convertir en líderes mundiales a las empresas manufactureras alemanas [2]. En esencia, la industria 4.0 consiste de nueve elementos centrales o nucleares, a saber, Big Data, Internet de las Cosas, Sistemas de Integración vertical y horizontal, Manufactura Aditiva, Computación en la Nube, Ciberseguridad, Robótica, Realidad Aumentada y Simulación [3].

En algunos programas de ingeniería se introduce la asignatura de simulación, como sistemas computacionales, ingeniería industrial y de cadena de suministro, entre otros. La asignatura de simulación es una que puede relacionarse directamente con la asignatura de cálculo integral. La simulación es una herramienta poderosa como lo es el cálculo para la solución de problemas productivos y de negocio en la industria y la academia.

Marco teórico

Un modelo de enorme aplicación en los negocios, la ciencia y la academia, es la distribución de probabilidad Normal, cuya solución de la función de densidad de probabilidad no se puede hallar de forma cerrada empleando los métodos básicos del cálculo integral que se aprenden durante los primeros semestres de ingeniería.

La función de densidad de probabilidad Normal, es representada por

$$P(x,\mu,\sigma)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2},-\infty<x<\infty$$

Si $z=\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$ la función de distribución estándar se presenta como

$$P(z)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}z^2},a<z<b$$

$$p(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^b \quad e^{-\frac{1}{2}z^2}, a \leq z \leq b$$

Una manera de determinar los valores de probabilidad de $p(z)$ entre los límites a y b, es mediante el uso de una tabla de distribución Normal estándar. Otra manera es mediante el uso de Microsoft Excel, lo mismo se puede hacer con Google Hoja de Cálculo y LibreOffice Calc; en cuanto al software estadístico, destaca MINITAB, SPSS y R. Sobre los procedimientos analíticos de aproximación estos se hallan las series infinitas. A continuación, se muestran las series de Taylor y Simpson que se utilizan.

Serie de Taylor

$$\int_0^z \quad P(z)dz = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\left(z - \frac{z^3}{3 \cdot 2 \cdot 1!} + \frac{z^5}{5 \cdot 4 \cdot 2!} - \frac{z^5}{5 \cdot 4 \cdot 2!} + \ldots\right)$$

Serie de Simpson

$$\int_0^z \quad P(z)dz = \frac{h}{3}[f(x_0) + 4f(x_1) + 2f(x_2) + 4f(x_3) + \ldots + 4f(x_{n-1}) + f(x_n)]$$

En relación con el uso del método de Monte Carlo y Excel para la solución de integrales definidas, es una herramienta comprobada en la práctica y en la academia, esto ha sido expuesto por diversos autores, se recomienda consultar [4]. El término Monte Carlo se refiere a la técnica que emplea procesos aleatorios para aproximar la solución a una integral no estocástica definida por [5].

$$f(x) = \int_R \quad F(x)dx$$

Puede decirse, que el método de Monte Carlo realiza cálculos como experimento y se emplean números aleatorios para realizarlos. El primer ejemplo del que se tiene conocimiento como la aplicación del método de Monte Carlo sin que todavía tuviera ese nombre, se describió hace 246 años. En 1777 George Louis Leclerc, Conde de Buffon realizó un experimento lanzando aleatoriamente agujas a una superficie con líneas paralelas. Buffón observó que la cantidad de agujas que intersecan las líneas tiene una probabilidad π [6].

El origen del método de Monte Carlo ya con este nombre comienza en los años 40's, en él están involucrados tres científicos, John von Neumann, Stanislaw Ulam y Nicholas Metropolis. Trabajaron en el entonces proyecto secreto llamado Proyecto Manhattan en Los álamos National Laboratory, para el desarrollo de la bomba atómica. Stanislaw Ullam acuñó el nombre en relación al Casino Monte Carlo de Mónaco. Formularon modelos y algoritmos muy complicados de resolver analíticamente, el método de Monte Carlo sirvió para resolver estos problemas [7].

Metodología

Se presenta a estudiantes de cálculo y de simulación una aplicación importante de los métodos de Monte Carlo, la solución de ecuaciones integrales, en específico la solución de la integral definida.

1. Selección de la ecuación integral. Existen textos, entre ellos, de simulación, cadenas de Markov, métodos de Monte Carlo e investigación de operaciones, que presentan múltiples ejemplos de cómo el método de Monte Carlo ayuda a determinar el área bajo la curva de una integral definida. De la diversidad de ecuaciones, se identificó y seleccionó la función de densidad de probabilidad Normal. por tratarse de una función de amplio uso y aplicación en diversas áreas del conocimiento y por la imposibilidad de hallar el área bajo su curva por métodos de integración básicos.
2. Selección del software. Se toma en consideración un software que sea de amplio uso y que esté al alcance del estudiantado, se trata de la hoja de cálculo de Microsoft Excel, que se encuentra omnipresente en las computadoras personales actuales. Aunque existen complementos como Risk Solver o @Risk, estos no se utilizan en este proyecto por tener licenciamiento, y a pesar de la posibilidad de justificar su uso, no se toman en cuenta por el momento.
3. Simulación por el método de Monte Carlo. Se instruye al estudiante para realizar las siguientes actividades.

a. Graficación en Excel de la función de densidad de probabilidad Normal estandarizada con las siguientes condiciones: conjunto de valores de la variable z, $-3\sigma \leq z \leq 3\sigma$ con incrementos de 0.2, media $\mu = 0$ y desviación estándar $\sigma = 1$.

b. Simulación y graficación de la función de densidad de probabilidad Normal. Para este caso, se emplea para cada uno de los 31 valores de z a simular, la distribución uniforme, expresada mediante la fórmula de Excel: *aleatorio()*. Esta etapa representa un reto para el estudiante, pues sin mayor instrucción, debería darse cuenta de la necesidad de escalar el valor del número aleatorio que proporciona la fórmula de Excel.

c. Simulación de la función de densidad de probabilidad. A este valor se le denomina $Psim$. El estudiante también deberá tomar en cuenta escalar los valores de $Psim$, de no hacerlo no podrá estimar un área de referencia para el cálculo de probabilidades. El interés está centrado en la determinación del área bajo la curva, que se traduce en hallar la probabilidad $p(a \leq z \leq b)$. Se propone de manera inicial y como comprobación la determinación de la probabilidad entre $a = -3\sigma$ y $b = 3\sigma$, puesto que es fácil verificar que en cada simulación el valor de probabilidad estará cercano a 1. Se espera que el estudiante se encuentre en esta etapa con que los valores de la función de densidad de probabilidad se simulan con independencia de los valores de z simulados $(zsim)$.

d. Determinación del valor de la probabilidad asociada al intervalo $-3\sigma < z < 3\sigma$. El valor de probabilidad depende de que los valores simulados de $zsim$ y $Psim$ estén por debajo de la curva de la función $P(zsim)$, es decir, $(zsim, Psim) \leq (zsim, P(zsim))$ en la gráfica o simplemente, para un mismo valor de $zsim$, $Psim \leq P(zsim)$. Las proporciones de valores que están debajo de los valores que definen la curva de la función $P(zsim)$ en relación con el total de valores simulados, proporcionan el valor de probabilidad para el intervalo $-3\sigma \leq z \leq 3\sigma$ y el área total delimitada por el intervalo definido para z y el máximo para $P(zsim)$.

Resultados y discusiones

Se presenta a estudiantes de cálculo y de simulación una aplicación importante de los métodos de Monte Carlo, la solución de ecuaciones integrales, en específico la solución de la integral definida.

1. Graficación en Excel de la función de densidad de probabilidad Normal estandarizada. El resultado numérico que debe lograr el estudiante se muestra en la tabla 1. La gráfica de dispersión para el conjunto de valores completo se muestra en la figura 1.

Tabla 1. Valores de z para el intervalo $-3\sigma \leq z \leq 3\sigma$ para graficar la función de densidad de probabilidad Normal. La cantidad de valores que se muestra es 11 de 31. Elaboración propia.

z	P(z)
-3.00	0.00
-2.80	0.01
-2.60	0.01
-2.40	0.02
-2.20	0.04
-2.00	0.05
-1.80	0.08
-1.60	0.11
-1.40	0.15
-1.20	0.19
-1.00	0.24

 ISSN: 2007 8102

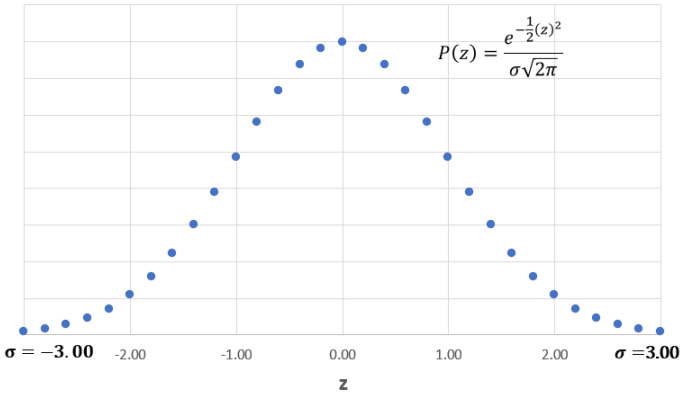


Figura 1. Gráfica de la función de densidad de probabilidad Normal en el intervalo $-3\sigma \leq z \leq 3\sigma$.

2. Simulación y graficación de la función de densidad de probabilidad Normal. El resultado tabulado y la gráfica a la que se debería llegar, se muestran en la tabla 2 y la figura 2, respectivamente. Esta es la primera simulación que el estudiante realiza con el método de Monte Carlo.

Tabla 2. Valores de z simulados, denominados $zsim$, en el intervalo $-3\sigma \leq z \leq 3\sigma$ para graficar la simulación de la función de densidad de probabilidad Normal estandarizada.

zsim	P(zsim)
z_1 (simulado)	$P_1(z_1$ simulado)
z_2 (simulado)	$P_2(z_2$ simulado)
⋮	⋮
z_{31} (simulado)	$P_{31}(z_{31}$ simulado)

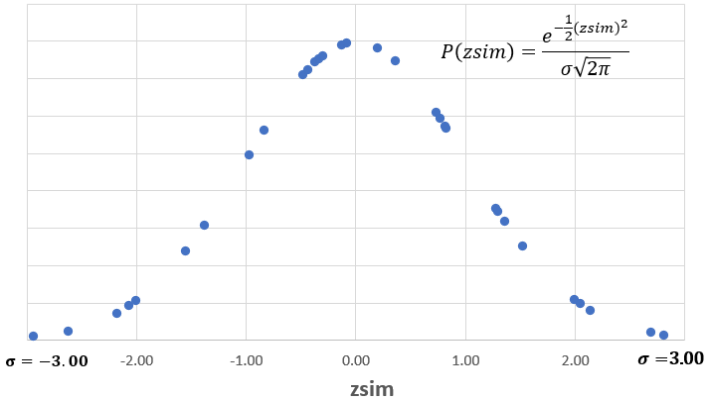


Figura 2. Gráfica de la simulación de la función de densidad de probabilidad Normal en el intervalo $-3\sigma \leq z \leq 3\sigma$.

3. Simulación de la función de densidad de probabilidad. El resultado esperado es como el que se muestra en la tabla 3 y la figura 3.

 ISSN: 2007 8102

Tabla 3. Valores de z simulados, en el intervalo $-3\sigma \leq z \leq 3\sigma$ para graficar la simulación de la función de densidad de probabilidad Normal. Se añade una columna de valores P simulados, representados por $Psim$ que no dependen de zsim. Elaboración propia.

zsim	P(zsim)	Psim
z_1 simulado)	$P_1(z_1$ simulado)	P_1 simulado
z_2 simulado)	$P_2(z_2$ simulado)	P2 simulado
⋮	⋮	⋮
z_{31} simulado)	$P_{31}(z_{31}$ simulado)	P_{31} simulado

En la gráfica de la figura 3, los valores de las coordenadas $(zsim, Psim)$ se muestran ilustrados con rombos de contorno color naranja. Las coordenadas $(zsim, P(zsim))$ se muestran con círculos de relleno color azul. El factor de escalamiento para $Psim$ depende del valor máximo alcanzado por $P(zsim)$.

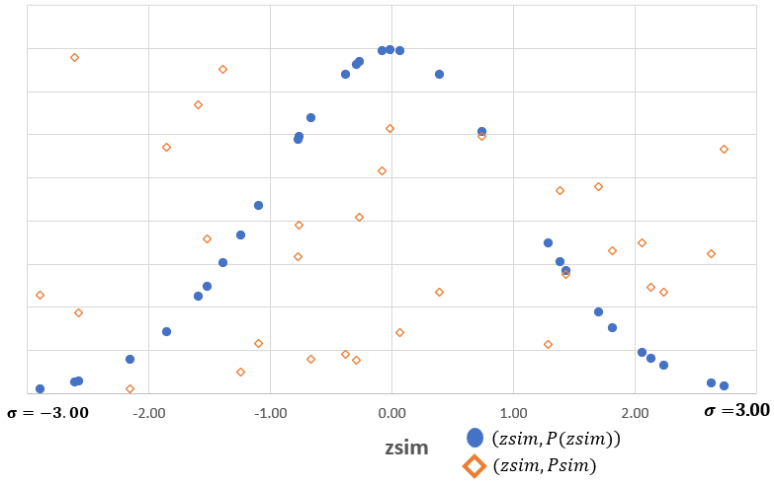


Figura 3. Gráfica de la simulación de la función de densidad de probabilidad Normal con valores simulados $zsim$ y $Psim$, en el intervalo $-3\sigma \leq z \leq 3\sigma$.

4. Determinación del valor de la probabilidad asociada al intervalo $-3\sigma < z < 3\sigma$. Considerando la misma cantidad de valores aleatorios de z del paso anterior, el resultado debería ser un valor en el intervalo $-3\sigma \leq z \leq 3\sigma$ cercano a 1. La tabla 4 y la figura 4 muestran los resultados esperados. Queda aún por hacer una serie de corridas de simulación hasta que el sistema se encuentre estable, entonces se podrá determinar el valor promedio de probabilidad en el intervalo definido. Sigue un análisis de validación que corrobore la validez de la simulación. Pero, como el propósito se limita a mostrar que la simulación de Monte Carlo es una herramienta de análisis para la solución de ecuaciones integrales definidas, es suficiente con lo que se ha logrado. El valor obtenido en la corrida inicial es de 0.7721, otras corridas muestran valores más cercanos a 1.

Tabla 4. Valores de z simulados $zsim$, función $P(zsim)$, $Psim$ y $Psim \leq P(zsm)$, este último término representa los valores que caen por debajo de la curva de la función de densidad de probabilidad en el intervalo. Elaboración propia.

zsim	P(zsim)	Psim	Psim≤P(zsim)
z_1 simulado)	$P_1(z_1$ simulado)	P_1 simulado	P_1 simulado ≤ $P_1(z_1$ simulado)
z_2 simulado)	$P_2(z_2$ simulado)	P2 simulado	P_2 simulado ≤ $P_2(z_2$ simulado)
⋮	⋮	⋮	⋮
z_{31} simulado)	$P_{31}(z_{31}$ simulado)	P_{31} simulado	P_{31} simulado ≤ $P_{31}(z_{31}$ simulado)

 ISSN: 2007 8102

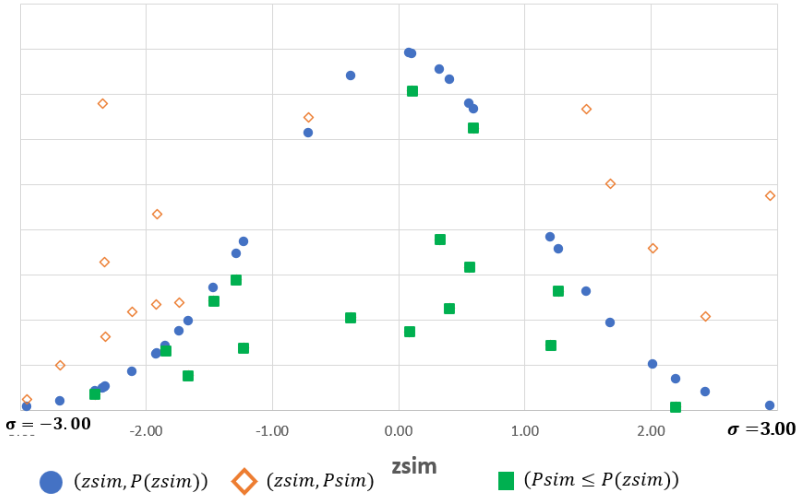


Figura 4. En la gráfica se puede distinguir los cuadros de color verde que están por debajo de la curva y que son una proporción del total de rombos y cuadros. Esta proporción de la cantidad total de puntos es la probabilidad en el intervalo $-3\sigma \leq z \leq 3\sigma$. Para esta gráfica $p(-3\sigma \leq z \leq 3\sigma) = 1.2308$.

5. Para mejorar la precisión, el número de valores de z debería ser mucho más grande de lo que se ha presentado hasta ahora. En la gráfica de la figura 5, se registraron 1001 valores de $zsim$. El resultado al menos visualmente presenta mayor claridad al definir todavía mejor el aspecto del área bajo la curva. Para esta gráfica la $p(-3\sigma \leq z \leq 3\sigma) = 0.9995$.

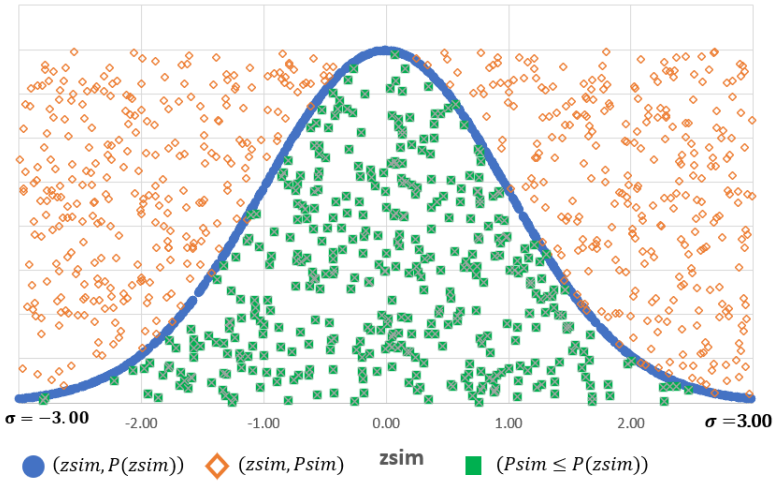


Figura 5. En la gráfica, el área bajo la curva es más clara y evidente que en las gráficas anteriores, debido a la mayor cantidad de valores simulados. Para esta gráfica $p(-3\sigma \leq z \leq 3\sigma) = 0.9661$

6. Se deja como práctica al estudiante que ponga a prueba su modelo de simulación cambiando los valores de a, b, y x y, comprobando el resultado con tablas o software.

Trabajo a futuro

El siguiente paso en el trabajo por venir es, medir el impacto de la propuesta didáctica que se ha definido como estrategia para enlazar dos asignaturas que forman parte de la formación de muchos ingenieros e ingenieras, la simulación y el cálculo integral. En relación con la comprensión del cálculo, dotar de una herramienta metodológica adicional de amplio uso al estudiantado de los primeros semestres de ingeniería.

 ISSN: 2007 8102

Conclusiones

Existen diversas herramientas tecnológicas como el software de computadora que se utilizan en el proceso de enseñanza y aprendizaje del cálculo, en específico, del cálculo integral. Este trabajo intenta presentar a la simulación por medio del método de Monte Carlo como un apoyo para mirar con un enfoque diferente por parte de estudiantes y docentes, la forma que se puede acceder a soluciones viables a problemas complicados y que no tienen una solución cerrada en el cálculo integral. Se identifica una ecuación integral de amplio uso y aplicación en las ciencias sociales, la medicina, la política, la ingeniería, la física, la astronomía, entre muchas otras, la función de densidad de probabilidad Normal, mejor conocida como distribución Normal o campana de Gauss. La simulación, además, es un elemento central en la industria 4.0 que se está introduciendo de forma gradual, pero acelerada, en los programas educativos de todos los niveles, Su importancia radica en que los egresados se incorporan cada día a un mundo laboral ampliamente comunicado y digitalizado.

Referencias

[1] J. A. García Retana, “La problemática de la enseñanza y el aprendizaje del cálculo para ingeniería”, Revista Educación, vol. 37, no. 1, pp. 29-42, 2013.
[2] L. Xu, E. L. Xu, and L. Li, “Industry 4.0: state of the art and future trends”. International Journal of Production Research, vol. 56, no. 8, pp. 2941-2962, 2018.
[3] J. A. Zaragoza-Hernández, C. Sánchez-García, and P. Cano-Olivos, “La fábrica de aprendizaje para el desarrollo de competencias en la logística 4.0”, in Global Conference on Business and Finance Proceedings, The Institute for Business and Finance Research, San José, Costa Rica, pp. 201-212, May, 2020.
[4] S. Chowdhury, *Monte Carlo methods: a hand-on computational introduction utilizing Excel*, USA: Morgan & Claypool Publishers, 2021.
[5] H. M. Samawi, “Improving the Efficiency of Monte Carlo methods using ranked simulation approach” in *Monte Carlo simulation-based statistical modeling*, ICSA Book Series in Statistics, D. G. Chen and J. D. Chen, Eds., Singapore: Springer Nature, 2017, pp. 17-19.
[6] A. Stevens, *Monte Carlo simulation: an introduction for engineers and scientists*, Boca Raton, Fl: CRC Press, 2023.
[7] N. T. Thomopoulos, *Essentials of Monte Carlo simulation*, New York: Springer Science, 2013.
[8] G. Polya, *How to solve it*, New Jersey: Princeton University Press, 1945.
[9] R. A. Tarmizi, “Visualizing Students’ Difficulties in Learning Calculus”, in International Conference on Mathematics Education Research 2010 (ICMER 2010), Procedia Social and Behavioral Sciences, vol. 8, pp. 377–383, 2010.

ISSN: 2007 8102

Habilidades blandas en proyectos integradores, caso: Técnico en Máquinas con Sistemas Automatizados

María Mónica García Arroyo[1], Ana Karen Vera García[2]*
[1]Instituto Politécnico Nacional, mmgarciaa@ipn.mx; [2]Instituto Politécnico Nacional, gvka.070605@gmail.com

***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen

Las habilidades blandas y las competencias son conceptos que se relacionan para describir capacidades o aptitudes del ser humano para desempeñar exitosamente sus actividades; las “soft skills” forman parte de nuestra personalidad y se desarrollan a través de la interacción con la sociedad y enfrentando desafíos. Esta investigación analiza cómo se desarrollan las habilidades blandas en los estudiantes de un grupo focal (6MM4) de la carrera de Técnico en Máquinas con Sistemas Automatizados del CECyT 16 “Hidalgo”, al realizar un proyecto integrador institucional (Proyecto Aula); donde se empleó una metodología cualitativa con estudio de caso y teniendo como resultado que las habilidades blandas como: trabajar en equipo, control de tiempo, creatividad, resolución de conflictos son características personales que influyen para tomar decisiones en el salón de clases al incorporar los conocimientos de las unidades de aprendizaje del ciclo escolar para la solución de un problema del contexto y el desarrollo integral del estudiante.

***Palabras clave**: Habilidades blandas, proyectos integradores, trabajo en equipo, creatividad*

Abstract

Soft skills and competencies are concepts that are related to describe capacities or aptitudes of the human being to successfully perform their activities; The "soft skills" are part of our personality and are developed through interaction with society and facing challenges. This research analyzes how soft skills are developed in the students of a group of the career of Technician in Machines with Automated Systems of the CECyT 16 "Hidalgo" when carrying out institutional integrative projects (Classroom Project); where a qualitative methodology was used with case study and having as a result that soft skills such as: teamwork, time control, creativity, conflict resolution are personal characteristics that influence to make decisions in the classroom by incorporating the knowledge of the learning units of the school year for the solution of a problem of the context and the integral development of the student.

***Key words**: Soft skills, integrative projects, teamwork, creativity*

Introducción

En la globalización actual, se escucha el tema de las competencias blandas, de aquellas habilidades o capacidades personales que no son teóricas o que no se obtienen a través del estudio técnico o la experiencia profesional, sino que forman parte de la propia personalidad y se van desarrollando a través de la interacción con la sociedad, el contexto, las creencias y la cultura. Pues ahora que el mundo está en constante cambio, las habilidades blandas después de mucho tiempo vuelven a ser significativas en ámbitos como la educación (se van formando) y en el ámbito laboral las empresas no solo buscan trabajadores bien preparados, sino que se desarrollen en el terreno profesional y social.

Cabe mencionar que las habilidades blandas han estado presentes más de lo que se piensa, ya que este término fue incluido desde 1960 por el ejército de Estados Unidos cuando los soldados se dieron cuenta que había

 ISSN: 2007 8102

habilidades que no estaban catalogadas, pero se necesitaban para un buen desempeño y ganar las guerras, como el liderazgo y trabajo en equipo [1].

Durante los últimos años la sociedad se ha enfrentado a una pandemia por covid-19 y con los recientes avances tecnológicos, ha cambiado la perspectiva, mostrando la falta en ciertas estas habilidades como: la perseverancia, resiliencia y adaptación para poder sobrellevar la situación del encierro y el cambio de interactuar y aprender en línea.

Por ello, es necesario destacar el valor que tiene en algunos entornos más que en otros como en la educación, pues desde temprana edad es importante que los niños aprendan a desarrollarse en la vida social, ya que también se pueden considerar como atributos personales que nos ayudan para interactuar con el entorno y la sociedad, esto con el objetivo que a lo largo de su proceso formativo a el estudiante se le facilite la optimización de su propio desempeño y para que de igual modo, en la vida profesional se destaque por estas mismas habilidades y logre el éxito.

Las habilidades blandas se describen distintamente por algunos autores, de acuerdo con [2] son aquellas conductas, aptitudes y costumbres que les diferencia a los profesionales y que marca una distención en el instante de emprender un proyecto, relacionarse con los demás o solucionar conflictos. Siendo aquellas características y condiciones que tiene el individuo para interactuar con otros de manera efectiva.

Mientras que para [3] son habilidades no cognitivas fundamentalmente para desempeñar y aprender exitosamente su labor. Estas experiencias también son llamadas el “saber ser”, la cual se entiende como debe ser una persona, y las habilidades que debe tener para un buen desarrollo de sus actividades.

Argumenta [4] que las habilidades blandas están directamente asociadas con uno mismo. La finalidad de manejar este tipo de habilidades es mejorar las relaciones interpersonales que implica la interacción entre el individuo y sus semejantes; por otro lado, estos autores argumentan que las habilidades técnicas y las habilidades blandas son esenciales para el dominio de todas las personas.

Hace años, en las empresas se basaban en aquellos conocimientos técnicos y profesionales para destacar a sus trabajadores, no resaltaba si había buena o mala comunicación entre el jefe y los trabajadores, o si se trabajaba bien en equipo. Sin embargo, esas habilidades siempre habían estado ahí, aunque no se tomaran en cuenta para el curriculum o un mejor puesto. Pero en la actualidad, la demanda de trabajadores es mayor, y es ahora cuando las habilidades blandas son necesarias, además de ser básicas para subsistir, no se puede obtener un trabajo sin comunicación, sin escucha efectiva, sin control del tiempo o adaptación, y con mayor importancia sin responsabilidad. Por ello, actualmente ha sido registrado que las empresas buscan en sus empleados aquellas habilidades blandas en un gran porcentaje, pues que una persona tenga desarrollada esas habilidades significa mayor eficacia y eficiencia en su trabajo.

La importancia de las habilidades blandas se hace cada vez más presente dentro de las ingenierías y para mejorar dentro de ellas [4] ha recomendado el incorporar enfoques de enseñanza-aprendizaje, con estrategias como: la aplicación de proyectos, el aprendizaje basado en resolución de problemas, las prácticas y estudios de caso, entre otros.

Hoy en día, los proyectos integradores son una estrategia de ABP (Aprendizaje Basado en Problemas) que permite demostrar y aplicar las competencias y los resultados de aprendizaje que los estudiantes han alcanzado en el entorno real de la sociedad. Esta forma tiene en cuenta recursos pedagógicos y didácticos, donde los estudiantes adquieren conocimientos, saberes, competencias y habilidades propias de la disciplina, con el objetivo de logar tanto el desarrollo de habilidades duras como de habilidades blandas.

De acuerdo con [5] los objetivos de los proyectos integradores, son en general, relacionar criterios que permitan integrar las asignaturas de ciencias básicas, de humanísticas, de ingenierías, específicas y complementarias por semestre a través de un trabajo en equipo y colaborativo. Así, demostrar los efectos del aprendizaje de las unidades de aprendizaje de la carrera técnica y finalmente incentivar a los estudiantes a plantear soluciones a problemas de la industria y sociales, a través del conocimiento y empleo de las habilidades blandas.

Dentro del IPN: El Proyecto de Aula es una propuesta metodológica en el salón de clases que permite incorporar los conocimientos, habilidades y actitudes de las unidades de aprendizaje del ciclo escolar para la solución de un

 ISSN: 2007 8102

problema cotidiano en los diferentes semestres, que permite a los estudiantes participar en su propio proceso de aprendizaje, en diferentes niveles de complejidad de acuerdo con el semestre a cursar.

El Modelo Educativo por competencias que propone el Instituto Politécnico Nacional a partir de los cambios y necesidades del sector productivo da un paso al enfoque por competencias centrado en el aprendizaje, cimentado en el constructivismo y una de las implementaciones a este cambio es la estrategia metodológica de proyecto aula, cuya función es plantear soluciones a una problemática cotidiana de su contexto, en una colaboración grupal para desarrollar las competencias interdisciplinares y las habilidades blandas de acuerdo al semestre y la carrera. En el nivel medio superior, se aplican estrategias de integración innovadoras que proyectan el trabajo colaborativo y la investigación; cuya finalidad es desarrollar una cultura de trabajo que incorpore procesos centrados en el aprendizaje, la interdisciplina y trabajo colegiado, sustentado en una metodología por proyectos.

La carrera técnica de Máquinas con sistemas Automatizados de nivel medio superior, “elabora e integra partes mecánicas, circuitos eléctricos, electrónicos, neumáticos e hidráulicos, para sistemas automatizados, utilizando la nueva tecnología, encaminada al desarrollo sustentable, con responsabilidad, honestidad y trabajo en equipo, en conformidad con los requerimientos de la empresa y normatividad aplicable”.

Metodología

En el presente estudio, se aplicó en el periodo de febrero a junio 2023 (ciclo escolar 23-B) y es de tipo cualitativa siendo vista como el intento de obtener una comprensión profunda de los significados y definiciones de la situación tal como nos la presentan las personas con un alcance correlacional, donde se busca analizar la relación entre el uso de las habilidades blandas y la realización de los proyectos integradores de los estudiantes de sexto semestre de la carrera de máquinas con sistemas automatizados.

Para la realización de este estudio, se ha optado por la aplicación de un estudio de caso de la estrategia metodológica del “Proyecto Aula”, ya que analiza la aplicación de las competencias blandas en los estudiantes, estudiando la relación entre todos los datos cuantificados, para conseguir una interpretación precisa de los resultados correspondientes.

El enfoque de la investigación es no experimental, explicativo y descriptivo, ya que trata de comprender la realidad identificando la naturaleza profunda de los significados de los actores siendo una investigación de tipo social que se ocupa del contexto, escenario o grupos culturales [32] pero con una organización metodológica.

Se recolectaron datos con un diseño fenomenológico, que se enfocan en las experiencias individuales subjetivas de los participantes respondiendo a la pregunta ¿Cuál es el significado, estructura y esencia de una experiencia vivida por una persona (individual), grupo (grupal) o comunidad (colectiva) respecto de un fenómeno?. A partir de las percepciones de los estudiantes y su correlación con el proyecto integrador denominado proyecto aula.

Muestra

Los sujetos del estudio son los cuarenta estudiantes de sexto semestre del grupo 6MM4 de la carrera técnica de Máquinas con Sistemas Automatizados del programa académico de nivel medio superior del IPN, cuya problemática a resolver fue crear en una máquina de Control Numérico por Computadora utilizando una perforadora de tarjetas de Placa de Circuito Impreso como proyecto integrador transversal con todas las unidades de aprendizaje involucradas, durante el ciclo escolar 2022-2023 B.

El contexto de la muestra es el Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 16, Hidalgo, con diez años siendo foráneo, además de ser multidisciplinario y bivalente, con carreras terminales en las tres áreas de conocimiento (físico-matemáticas, sociales-administrativas y médico-biológicas) y 7 opciones de terminación técnica; colindando con los municipios de San Agustín Tlaxiaca y Santiago Tlapacoya ambos del mismo estado.

Instrumentos

Se recolectaron datos con diseño fenomenológico, fundamentado en el estudio de experiencias de vida, con afinidad de un suceso, desde la perspectiva del sujeto que se enfocan en las experiencias individuales subjetivas

 ISSN: 2007 8102

de los participantes al realizar las actividades de cada unidad de aprendizaje para integrar el proyecto, al mismo tiempo, el reporte de observación de esta población y en conjunto con el análisis de datos de los artículos e informes seleccionados enlistando las habilidades blandas que con base a cada competencia se desarrollan, con la finalidad de llevar a cabo el análisis correlacional para determinar la relación que tienen las habilidades blandas en la población muestra y el Proyecto Aula.

Preparación

Se realizó una extracción de diversos textos para incorporar una definición de las habilidades blandas enlistadas para proyectos integradores (tabla 1).

Tabla 1. Listado de habilidades blandas para proyectos integradores

Habilidades Blandas	Definición 1	Definición 2	Definición 3
Creatividad	La creatividad es una habilidad con la que cuentan los seres humanos para la generación de ideas, soluciones de problemas u ofrecer diferentes interpretaciones o salidas a realidades socioeconómicas, sociales y contextuales diversas. [6]	El término creatividad, proviene del latín creare, con el significado de percibir, idear, expresar y convertir en realidad algo nuevo y valioso. Es decir, el conjunto de potencias mentales que permiten elaborar nuevas posibilidades y materializarlas. [7]	La creatividad es un constructo complejo, en el que influyen numerosas variables de experiencias evolutivas, sociales y educativas, y que se manifiesta de manera diferente en cada contexto de conocimiento. [8]
Innovación	Se refiere a un objeto cuyo valor de novedad está estrechamente relacionado con la mejora de algo previo. [9]	Es un término que provienen del latín innovatio, con el significado de creación o modificación de un producto, y su introducción en un mercado. [7]	La innovación incorpora en sí misma una solución creativa; esto es, una transformación que se lleva a cabo con la finalidad de dar solución a un problema o superar una situación existente. [10]
Pensamiento critico	Es un proceso creativo, hábil y disciplinado de conceptualización, síntesis y/o evaluación de información recogida de, o generada por, la experiencia, la reflexión, el razonamiento o la comunicación como guía para la comprensión y la acción. [11]	Juicio intencional y autorregulador en dónde la interpretación, el análisis, la evaluación, la inferencia, y la explicación se identifican como las habilidades centrales de dicho pensamiento. [12]	El pensamiento crítico es ese modo de pensar —sobre cualquier tema, contenido o problema— en el cual se mejora la calidad del pensamiento inicial. El resultado es un pensador crítico y ejercitado que formula problemas y preguntas vitales con claridad y precisión. [13]
Resolución de conflictos	Es la manera como dos o más individuos, u organizaciones encuentran una solución pacífica a los desacuerdos que enfrentan. Estos desacuerdos pueden ser emocionales, políticos, financieros o todos ellos. [14]	Es un sistema muy innovador de entender las relaciones humanas, que no analiza, ni juzga ni sanciona, pero que resuelve eficazmente y sin coerción a través de la pacificación. [15]	Cualquier proceso utilizado para gestionar, determinar o resolver diferencias que puedan surgir entre individuos, familias, grupos, organizaciones, comunidades, naciones o cualquier otra unidad social. [16]
Orientación al servicio	Este enfoque requiere el estudio responsable y constante de las necesidades, percepciones, preferencias, actitudes y niveles de satisfacción de los clientes. [17]	Es una filosofía de negocio que antepone las necesidades del cliente a las del negocio y una forma de alinear los objetivos empresariales con los objetivos de los consumidores [18]	Se sustenta en las personas y promueve la generación y entrega de una propuesta de valor, es decir, la creación de un conjunto de beneficios para el cliente. [19]
Comunicación efectiva	Transferencia de información y comprensión entre dos o más personas, considerándola como un puente entre los hombres, permitiéndole compartir los sentimientos y conocimientos	Intercambio mediante el habla, escritura u otro tipo de señales de sentimientos, opiniones o cualquier otro tipo de información. [21]	Conjunto de elementos en interacción en donde toda modificación de uno de ellos afecta las relaciones entre los otros elementos. [22]

 ISSN: 2007 8102

	adquiridos, siendo útil a la gerencia. [20]		
Productividad	Es el resultado de la armonía y articulación entre la tecnología, los recursos humanos, la organización y los sistemas, gerenciados o administrados por las personas o eficacia, siempre que se consiga la combinación óptima o equilibrada de los recursos o eficiencia. [23]	Es la forma de utilizar los factores de producción en la creación de bienes y servicios para ofertar en un mercado, tiene el objetivo de optimizar los recursos utilizados, como recursos humanos, materiales, capital y financieros en el proceso de producción. [24]	Es la condición o habilidad de ser productivos, como una herramienta de orientación a la gestión de un sistema productivo, indicando que los recursos que disponga la empresa (mano de obra, el capital, los materiales y la energía) se utilicen de forma objetiva. [25]
Gestión del tiempo	Consiste en determinar lo que uno debe hacer para fijar objetivos, decidir qué actividades son las más importantes y darse cuenta de que otras actividades tendrán que ser programadas en base a la priorización. [26]	Es un proceso en el que se establecen metas u objetivos claros, se determinan las herramientas que favorecen la gestión del tiempo, se tiene en cuenta el tiempo disponible y se verifica el uso que se le da al tiempo. [27]	Se relaciona con la planificación de conductas tales como programar metas y actividades, priorizar haciendo listas de tareas, agrupar las tareas que tienen como objetivo un uso eficaz del tiempo, llevar un seguimiento de las conductas que tiene como objetivo observar el uso del tiempo en la realización de actividades, etc. [28]
Trabajo en equipo	Consiste en colaborar organizadamente para obtener un objetivo común. Ello supone entender las interdependencias que se dan entre los miembros del equipo y sacar el máximo provecho de ellas en aras a la consecución de esa meta (misión) común. [29]	Es una forma organizada de trabajo relacionados a la motivación, la participación, la comunicación y el liderazgo implementados para el logro de los objetivos. [30]	Pueden formarse, a partir de la estructura de la organización, para lograr un objetivo en particular o por deseos personales de satisfacer determinadas necesidades. [31]

Desarrollo

A partir de la observación realizada datos fenomenológicos y de las definiciones de distintos autores, se ha encontrado que las habilidades blandas que se adquieren y aplican los estudiantes de máquinas con sistemas automatizados durante la realización del Proyecto Aula son las que se muestran en la figura 1.



Figura 1. Habilidades blandas en la realización del proyecto integrador de máquinas con sistemas automatizados

Por lo tanto, durante la investigación de campo, los estudiantes de máquinas y por el entorno donde se desarrollan su inclinación es desarrollar habilidades blandas como: la orientación al servicio y la resolución de conflictos, ya que el propósito del proyecto aula es satisfacer la necesidad de una cierta población o resolver una problemática; asimismo se examinó que la creatividad e innovación fueron pilar para comenzar con su proyecto al crear una idea nueva y original.

ISSN: 2007 8102

Por otra parte, son capaces de aplicar el pensamiento crítico y analítico, para comprender la situación, identificar los errores y analizar de manera racional como solucionar la problemática; también tener en cuenta la gestión del tiempo, pues la duración del proyecto solo fue de un semestre y se debía tener la organización adecuada para distribuir las áreas de trabajo y poder completar el proyecto en tiempo y forma.

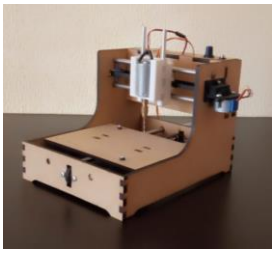
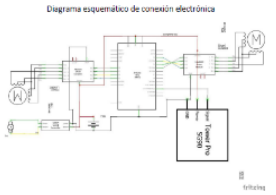
Aunado a esto, el proyecto fue realizado por los 30 alumnos, sin embargo, entre ellos se delimitaron equipos de trabajo para poder abarcar completamente el proceso, desarrollando la habilidad blanda de trabajo en equipo con la adecuada comunicación efectiva tanto oral como escrita. Cabe mencionar, que cada equipo de trabajo se organizó para la realización de las tareas designadas y entre todos permanecieron con la adecuada compostura para no perder el control cuando se hallaban bajo presión.

Posteriormente, el aspecto de la productividad, este engloba a distintas habilidades mencionadas anteriormente, pues ellas en conjunto son aplicadas para que finalmente se pueda obtener un resultado del trabajo realizado, un proyecto útil, realizado de forma eficiente y efectiva solucionando el problema planteado. Del mismo modo, estas fueron las 10 habilidades blandas, sin embargo, también se desarrollaron algunas otras como el liderazgo, la colaboración, la paciencia, la responsabilidad, concentración y atención a los detalles.

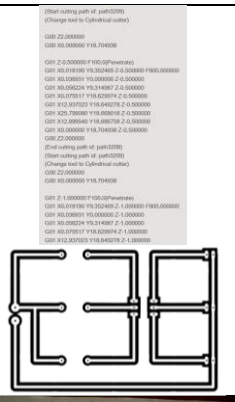
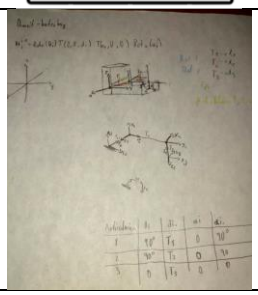
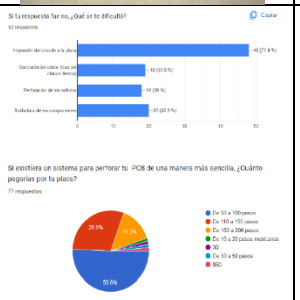
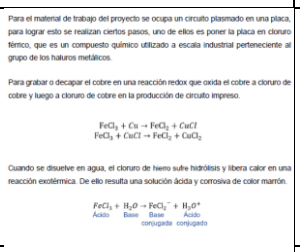
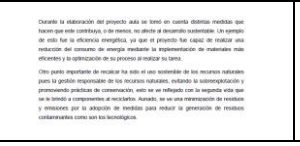
Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados del análisis de las habilidades blandas identificadas al desarrollar el proyecto integrador (tabla 2), es considerado que cada unidad de aprendizaje desde la formación básica hasta la profesionista, tuvieron puntos clave para identificar cual era la que destacaba más, esto por la definición anterior de las mismas.

Tabla 2: Descripción del PA y las habilidades blandas

Proyecto Aula: CNC perforadora de tarjetas PCB				
Unidad de Aprendizaje	Competencia General de la UA	Actividad realizada	Evidencia	Habilidades blandas
Desarrollo de proyecto tecnológico	Diseñar y desarrollar una máquina CNC Perforadora de placas PCB que permita realizar la actividad con mayor precisión y optimizar los tiempos de fabricación de circuitos electrónicos para resolver la necesidad de la comunidad estudiantil.	Máquina CNC Perforadora de placas PCB		• Trabajo en equipo • Creatividad • Resolución de conflictos, • Pensamiento crítico • Orientación al servicio • Gestión del tiempo • Comunicación • Productividad.
Instalación de sistemas automatizados	Elaborar y desarrollar los diagramas de conexión electrónica utilizados en los circuitos de la máquina.	Diagramas de conexión electrónica		• Trabajo en equipo • Resolución de problemas • Pensamiento crítico.

 ISSN: 2007 8102

Manufactura asistida por computadora	Desarrollar la PCB del circuito que corresponde a los elementos electrónicos, así como interpretar el código g y m con el que trabaja la máquina CNC.	Diseñar un circuito de conexión y realizar el código g y m		• Pensamiento crítico • Organización • Resolución de problemas • Gestión del tiempo
Programación de sistemas automatizados	Conocer y determinar aquellas posiciones y orientaciones a las que el extremo final de la máquina puede llegar.	Modelo matemático de la CNC perforadora mediante el método de Denavit-Hartenberg		• Pensamiento crítico • Resolución de problemas • Organización
Probabilidad y estadística	Conocer y medir estadísticamente el número de estudiantes que estarían dispuestos a realizar sus placas mediante la grabadora de circuitos, al igual que la conformidad de los estudiantes con el proyecto.	Una encuesta en Google-forms, dirigida para estudiantes de cuarto y sexto semestre de la carrera de máquinas con sistemas automatizados, quienes son los principales usuarios que realizan proyectos con placas fenólicas		• Orientación al servicio • Creatividad • Trabajo en equipo • Pensamiento analítico y crítico.
Química	Demostrar la interacción de las reacciones químicas con el proyecto aula "Perforadora de PCB"	Una investigación y análisis de datos		• Pensamiento crítico • Organización • Observación.
Física	Realizar el marco teórico del proyecto aula para comprender el uso y funcionamiento de los componentes a utilizar	Marco teórico e investigación.		• Pensamiento crítico y analítico • Organización.
Orientación Juvenil y Profesional	Analizar la relación entre el desarrollo sustentable con la creación de una perforadora PCB	Informe y análisis		• Pensamiento critico

 ISSN: 2007 8102

Por ello, se indica que las habilidades blandas en la carrera de ingeniera (fig. 2) se pueden identificar por medio de un proyecto u observando las actividades diarias, y se encontró que, los estudiantes de esta carrera durante su proceso formativo deben adquirir las competencias blandas mostradas a continuación:



Figura 2. Habilidades blandas que los estudiantes de la muestra deben adquirir en su proceso formativo.

Cabe señalar que [7] sostiene que, en el perfil de un buen ingeniero en esta área, es importante que se tenga la capacidad y voluntad de aprender continuamente, así como habilidades de comunicación y trabajo en equipo; además, mantiene que las habilidades blandas más valoradas en la industria son las observadas en la tabla 2.

Tabla 2. Habilidades blandas mejor valoradas en las empresas. Adaptado [7]

Habilidades	*%*
Solución de problemas	62
Pensamiento critico	60
Adaptabilidad	40
Redacción	44
Comunicación oral	38
Análisis de datos	36
Trabajo en equipo	36

Por otro lado [8] señala que aquellas competencias con alta demanda por los empleadores en el 2025 serán: 1) pensamiento analítico e innovación, 2) aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje, 3) resolución de problemas complejos, 4) pensamiento y análisis crítico, 5) creatividad, originalidad e iniciativa, 6) liderazgo e influencia social, 7) uso, control y monitoreo de tecnología, 8) diseño y programación de tecnología, 9) resiliencia, tolerancia al estrés y flexibilidad y 10) razonamiento, resolución de problemas y generación de ideas.

De igual forma, se ha recabado que de acuerdo con [10] los profesionales en el campo de la ingeniería no solo necesitan conocimientos científicos y tecnológicos, sino también competencias para trabajar en equipos, así como la capacidad de analizar y evaluar el impacto social y ambiental de las soluciones técnicas. También, [11] señala que las habilidades interpersonales más notables para esta nueva revolución industrial son las competencias en organización, procesos e interacción. En otras palabras, los ingenieros necesitan una combinación de habilidades técnicas e interpersonales para tener éxito en su campo.

Los resultados de esta investigación nos permiten tener claridad acerca del comportamiento de las habilidades blandas en estudiantes de máquinas con sistemas automatizados y también favorece que el desarrollo de un proyecto integrador es de las mejores formas para desarrollar estas competencias.

 ISSN: 2007 8102

Trabajo a futuro

En el futuro, se planea continuar la investigación en el campo de las Competencias Blandas en las siete carreras que oferta el plantel del CECyT 16 “Hidalgo”. En particular, sería conveniente conocer las competencias blandas que los propios estudiantes desarrollan con mayor éxito durante la realización del proyecto aula y en las clases diarias, además de saber cuáles les cuesta desarrollar, para implementar alguna estrategia que los ayude y sean de las que buscan las empresas al emplear un profesionista.

Así mismo, se aplicará un cuestionario para los alumnos de nuevo ingreso y saber qué habilidades blandas traen formadas desde la educación básica y al final del semestre se volverá a evaluar para encontrar que en el entorno b-learning fueron potencializadas dichas competencias.

Conclusiones

La presente investigación ha permitido analizar que las habilidades blandas tienen un valor muy significativo en los estudiantes de la carrera de máquinas con sistemas automatizados, debido a que, para un proyecto integrador cumpla su propósito debe ser una combinación de las habilidades duras, como de las habilidades blandas, pues no se puede desarrollar eficientemente una sin la otra. Además de resaltar que la mejor estrategia donde los alumnos las desarrollan son en el Proyecto aula ya que es una estrategia del aprendizaje basado en problemas del contexto y/o cotidianos.

Después de un análisis de los artículos revisados y del estudio de caso realizado, se determina que, las habilidades blandas más usadas por los alumnos son la creatividad e innovación, pensamiento crítico, orientación al servicio, trabajo en equipo y la comunicación efectiva; que de acuerdo con las industrias son demandadas, por lo que en un futuro son abarcadas en su mayoría por la población muestra, aunque hay algunas otras que deben ser desarrolladas durante el proceso de aprendizaje como: el liderazgo, negociación, resiliencia y tolerancia.

Finalmente, en síntesis, en los últimos años las habilidades blandas han tomado un gran valor al momento de buscar empleo, es por ello por lo que deben ser consideradas desde la educación temprana hasta el momento de ingresar al campo laboral.

Referencias

[1] J. De La Ossa V, « Habilidades blandas y ciencia,» Revista colombiana de ciencia animal recia, vol. 14, nº 1, 2022.
[2] H. Norma, «Influencia de las habilidades blandas en el desempeño laboral de los trabajadores del Programa Nacional de Asistencia Solidaria Pensión 65, para la elaboración de la relación bimestral de usuarios – RBU,» 2020.
[3] M. Singer, R. Gúzman y P. Donoso, «Entrenando Competencias Blandas en Jóvenes,» Pontificia Universidad Católica de Chile, 2009.
[4] D. M. Goldberg y M. Rosenfeld, People-Centric Skills: Interpersonal and Communication Skills for Auditors and Business Professionals, Nueva Jersey, 2014.
[5] L. M. Gomez, M. Naranjo y F. Mejia, «PROYECTOS INTEGRADORES, ESTRATEGIA FORMATIVA PARA EL DESARROLLO DE COMPETENCIAS EN LA CARRERA DE INGENIERÍA EN PROCESOS INDUSTRIALES POR CICLOS PROPEDÉUTICOS, DE LA ESCUELA TECNOLÓGICA INSTITUTO TÉCNICO CENTRAL,» Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, p. 9, 2021.
[6] E. Cordoba, J. Castillo y N. Castillo, «Creatividad e innovación: Motores de desarrollo empresarial,» Lámpsakos, nº 19, pp. 55-65, 2018.
[7] Real Academia Española, «Diccionario de la Lengua Española,» 23 ed., 2010.
[8] M. Runco y S. Sakamoto, «Experimental studies of creativity,» R.J. Sternberg (Ed.) Handbook of Creativity, pp. 62-92, 1999.
[9] M. Iglesias y M. Rodicio, «El desarrollo de la creatividad e innovación. Un reto ante la crisis actual,» Revista de Investigación en Educación, vol. 1, nº 11, pp. 134-148, 2013.
[10] L. Jimenez, «Capital de riesgo e innovación en América Latina,» Revista de la Cepal, nº 96, pp. 173-187, 2008.

[11] R. H. Ennis, «A taxonomy of critical thinking dispositions and abilities,» Series of books in psychology.Teaching thinking skills: Theory and practice, pp. 9-26, 1987.
[12] R. Paul y L. Elder, «La mini-guía para el pensamiento crítico, conceptos y,» 2003.
[13] M. Vendrell y J. Rodriguez, «Pensamiento critico:Conceptualizacion y relevancia en el seno de la educacion superior,» Revista de la Educacion Superior, vol. 49, pp. 9-25, 2020.
[14] R. Wolff y J. Nagy, «Sección 6. Capacitar para la resolución de conflictos,» [En línea]. Available: https://ctb.ku.edu/es/tabla-de-contenidos/implementar/proveer-informacion-y-destacar-habilidades/resolucion-de-conflicto/principal.
[15] E. Vinyamata, «La resolución de conflictos: un nuevo horizonte,» Educación social: Revista de intervención socioeducativa, nº 8, pp. 8-17, 1998.
[16] A. Barsky, «Conflict Resolution,» Social Work, 2009.
[17] D. Acevedo, I. Hirane y J. Morovic, «El Impacto de la Orientación al Cliente en la Cultura y el Desempeño de las Empresas de Servicio.Un Enfoque Cualitativo,» 2007.
[18] D. da Silva, «Orientación al servicio: enfoque esencial para mejorar la CX,» 2021. [En línea].
[19] L. Lescano, La orientación al servicio, los roles y la formación de los mandos intermedios en las organizaciones de servicio, España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra, S. A., 2011.
[20] K. Davis y J. Newstrom, Comportamiento Humano en el trabajo, Quinta ed., México: Editorial Mc. Graw Hill, 2003.
[21] K. Berrio Otxoa, A. Inza, M. d. M. LLedó y S. Telletxea, «Concepto y principios de la comunicacion efectiva,» Comunicación interpersonal y habilidades sociales en las relaciones de ayuda profesional, 2016.
[22] E. Marc y D. Picard, La interacción social: cultura, instituciones y comunicación, 1992, p. 39.
[23] A. Tolentino, New Concepts of Productivity and its Improvement, Budapest: European Productivity Network Seminar, 2004.
[24] J. E. Medina Fernández de Soto, «Modelo integral de productividad, aspectos importantes para su implementación,» Revista EAN, nº 69, pp. 110-119, 2010.
[25] E. Diz y N. J. Rodriguez, «La mejora de la productividad en las empresas de servicios,» Direccion y Organizacion, vol. 34, pp. 79-90, 2007.
[26] Fuente propia, 2023.
[27] R. Rojas, «Habilidades blandas en estudiantes de ingeniería, un estudio comparativo 2020,» IECOS, vol. 12, nº 1, 2020.
[28] World Economic Forum, «The Future of Job Report 2020» Top 10 skills of 2025, 2020.
[29] K. Dahm, S. Farrell, R. Ramachandran y K. D. Dahm, «Communication in the Engineering Curriculum: Learning to Write and Writing to Learn.,» Journal of Engineering Education Transformations, vol. 29, nº 2, pp. 2-9, 2015.
[30] E. P. Acosta, «Aproximación a las cualificaciones profesionales en la Industria 4.0,» Fundación 1 de Mayo, vol. 22, 2016.
[31] N. Gronau, A. Ullrich y M. Teichmann, «Development of the industrial IoT competences in the areas of organization, process, and interaction based on the learning factory concept,» Procedia Manufacturing, vol. 9, pp. 254-261, 2017.
[32] Avalos, A. (2017). «De la Etnografía o cómo lograr que la escuela te sorprenda hasta quitarte el aliento. Herramientas metodológicas de la investigación construcciones para la práctica de la gestión escolar en la formación inicial de la educación básica». México: en prensa

 ISSN: 2007 8102

Impacto de la Pandemia por Covid-19 en estudiantes universitarios: trabajo precario, vulnerabilidad y rendimiento académico

I. Muñiz Montero[1], C. Muñiz Montero[1], F. Machorro Ramos[1], J.A. Arízaga Silva[1], J. Núñez, Alameda[1]*
[1]Universidad Politécnica de Puebla, Tercer Carril del Ejido, Serrano s/n, Cuanalá, 72640 Puebla, Pue.
isabel.muniz@uppuebla.edu.mx
***Área de participación**: Investigación Educativa*

Resumen
La emergencia sanitaria provocó una grave afectación en el ámbito laboral resultando en la pérdida masiva de empleos. Las dificultades económicas en las familias y la posibilidad de continuar la educación por medios en línea, derivaron en que los estudiantes ingresaran en el mercado laboral. El presente estudio analiza las condiciones de trabajo y estudio de los alumnos universitarios durante los años 2020 y 2021. El objetivo de la investigación fue analizar el impacto de la emergencia sanitaria en el rendimiento académico de los estudiantes. La metodología mixta consistió en una encuesta de 38 variables a 357 alumnos universitarios y 10 entrevistas. Los resultados revelaron la necesidad de que los estudiantes trabajaran, así como las condiciones laborales precarias y el riesgo de contagio al que resistían. Se concluye que la emergencia sanitaria tuvo un impacto grave en el rendimiento académico de los estudiantes.

***Palabras clave**: Rendimiento académico, trabajo precario, vulnerabilidad.*

Abstract
The health emergency occurs a serious affectation in the workplace resulting in the great loss of jobs. The economic difficulties in the families and the possibility of continuing education through online means, favored the students entering the labor market. This study analyzes the working and study conditions of university students during the years 2020 and 2021. The objective of the research was to analyze the impact of the health emergency on the academic performance of students. The mixed methodology consisted of a survey of 38 variables to 357 university students and 10 interviews. The results revealed the need for the students to work, as well as the precarious working conditions and the risk of contagion they would resist. It is concluded that the health emergency had a serious impact on the academic performance of students.

***Key words**: Academic performance, precarious work, vulnerability*

Introducción
La crisis sanitaria producida por el Covid-19 comenzó en la ciudad de Wuhan, China, a fines de 2019 y llegó a México en 2020. La enfermedad tuvo un grave impacto en la sociedad mexicana, produciendo la muerte de unas 334 mil personas [1]. Según cifras de la Organización Mundial del Trabajo, durante la primera mitad de 2020 se perdieron aproximadamente 400 millones de empleos a tiempo completo y se registró una caída del 14% en las horas de trabajo a nivel mundial [2]. De tal forma que debido al Covid-19, millones de trabajadores en el mundo que laboraban en condiciones precarias enfrentaron el riesgo de perder su empleo y en algunos casos, incluso sus vidas. El Gobierno de México [3] denunció que entre marzo y abril de 2020 se perdieron en México 12.5 millones de puestos de trabajo, de ellos 10.4 millones eran trabajadores informales y 2.1 trabajadores formales. INEGI también informó que el sector servicios fue el más afectado con un 63 por ciento de empleos perdidos en la informalidad y unos 300 mil empleos formales perdidos entre el primer trimestre de 2020 y el primer trimestre de 2021. Los jóvenes de entre 15 y 34 años perdieron aproximadamente 242 mil puestos de trabajo entre marzo de 2020 y mayo de 2021 [3]. Respecto a los ingresos, los trabajadores más afectados fueron quienes percibían entre uno y tres salarios mínimos. La emergencia sanitaria afectó especialmente a los sectores más vulnerables de la economía, de hecho, las empresas de seis a 250 empleados concentraron el 82 por ciento de los puestos de trabajo perdidos entre marzo de 2020 y mayo de [3].

Por otro lado, los estudiantes mexicanos, se vieron obligados a tomar clases en línea desde la estrategia de mitigación comunitarias denominada Jornada Nacional de "Sana Distancia". El aislamiento de los estudiantes se

 ISSN: 2007 8102

mantuvo entre marzo de 2020 a febrero de 2022. La pregunta que quedaría en el aire era ¿cuáles serían las consecuencias de la emergencia sanitaria en los estudiantes?
En contextos de alta complejidad, los estudios de caso permiten examinar detalladamente un fenómeno particular, evento o situación dentro de su contexto. En este trabajo se analiza el caso específico de una población de estudiantes de una universidad pública mexicana. Durante la investigación de campo se identificaron tres variables principales que impactó la emergencia mundial: el rendimiento académico, la incorporación al trabajo y la vulnerabilidad frente a la enfermedad.

Cabe señalar que por rendimiento académico nos referimos al nivel de logro que los alumnos alcanzaron en sus estudios. Sin embargo, dado a que el rendimiento académico no se limita a las calificaciones, en este trabajo no se realizará algún análisis comparativo de las mismas. Durante la emergencia sanitaria, las calificaciones y los índices de reprobación estuvieron influenciados por la política nacional de la Secretaría de Educación Pública que instruyó a las instituciones educativas a favorecer a los alumnos sin afectar sus promedios, por lo que un análisis de las calificaciones para medir el rendimiento académico resulta falto de objetividad. Por esta razón los autores decidimos centrarnos en el análisis de las circunstancias que los alumnos enfrentaron mientras estudiaban y en la precepción que ellos tuvieron sobre su nivel de aprendizaje. Los resultados muestran el impacto de la pandemia a la vida cotidiana de los estudiantes, afectando en forma general el rendimiento académico.

Metodología

La investigación se realizó a mediados de 2022 en una universidad pública del estado de Puebla, a través de un estudio de caso en el que se aplicaron 10 entrevistas y una encuesta de 38 ítems a 357 alumnos, por tanto, se trata de una metodología mixta.

La investigación tuvo por objetivo analizar el impacto de la emergencia sanitaria en el rendimiento académico de los estudiantes universitarios. El problema de investigación responde a la siguiente pregunta ¿cuál fue el impacto de la emergencia sanitaria en el rendimiento académico de los estudiantes de la universidad en la que se realizó el estudio?

En cuanto al estudio cuantitativo los estudiantes que participaron en el estudio fueron encuestados por medio de la aplicación de Google Formularios debido a que se encontraban familiarizados con dicha aplicación y en la universidad los profesores utilizan Google Classroom de manera cotidiana. La encuesta recibió un pilotaje de 20 cuestionarios aplicados entre el 5 y el 9 de junio de 2022. Tanto los datos del pilotaje como los de la encuesta en su versión final fueron analizados por medio del programa SPSS 25.0. Los criterios de inclusión en la encuesta fueron: ser alumno de licenciatura activo, de entre 18 y 25 años de edad, sin importar el sexo del alumno, su estado civil y su ciudad de origen. En el presente estudio se utilizó la siguiente formula para determinar el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{N*z^2*p*q}{e^2*(N-1)+z^2*p*q} \quad (1)$$

Donde:
n= tamaño de muestra
N= tamaño de Población
Z= nivel de confianza al 95%
e= error de estimación máximo aceptado
p= probabilidad de que ocurra el evento estudiado.
q= *(1-p)* = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado.

De tal manera que, para lograr un margen de error del 5%, se estimaba que se necesitaría la participación de 286 alumnos en la encuesta. Sin embargo, un total de 357 estudiantes decidieron responder. De este grupo, el 35% eran mujeres, mientras que el 65% eran hombres. Estos alumnos estaban matriculados en 5 programas académicos distintos de la universidad. La mayoría de los encuestados se encontraban en el octavo cuatrimestre de sus estudios (40%), mientras que el 20% estaba en el segundo cuatrimestre y el 17% en el quinto cuatrimestre; el resto se distribuía entre el primero, tercero, sexto y séptimo cuatrimestre. Cabe destacar que todos los alumnos eran de nacionalidad mexicana, y la mayoría provenía del estado de Puebla. Además, 30 estudiantes eran originarios de otros estados de México, pero residían en Puebla. El número de encuestas realizadas equivale aproximadamente al 15% de la población total de estudiantes en la institución.

 ISSN: 2007 8102

Respecto a la parte metodológica cualitativa se aplicaron 10 entrevistas a profundidad registradas por la aplicación MAXApp para Linux y también se utilizaron diarios de campo. Estas entrevistas a profundidad fueron grabadas y transcritas a través del programa de Transcripción Instantánea de Google, y directamente a través de escuchar algunas partes de las entrevistas. Se eligió la metodología del estudio de caso porque permite entender las situaciones complejas y particulares del hecho que se estudia. Para B.C. Fernández, D.F. Cortés, y E. V. Palacio, E. V. G. [4], la investigación cualitativa rescata la voz de los participantes y sus vivencias para construir una descripción e interpretación de lo que los participantes en el estudio afirman o niegan, de lo que hacen o creen hacer, de lo que perciben en su realidad y del papel que asumen en un contexto determinado. De ahí que se consideró importante complementar y contrastar la información obtenida en la encuesta con las aportaciones de las entrevistas a profundidad.

Resultados y discusión

Luego de la pandemia mundial por SARS-CoV-2, los investigadores de todo el mundo se dieron a la tarea de entender los efectos de la emergencia sanitaria en la educación [5], [6] y [7]. Algunos investigadores se centraron en el análisis de la brecha digital [8], para otros era indispensable comprender los efectos del confinamiento en los estudiantes [9] y [10]. El análisis de los ambientes de aprendizaje virtual ha sido otro tema relevante [11]. Otros analizaron la pertinencia de la educación virtual [12]. Por otro lado, es importante destacar la significativa contribución de los investigadores que abordaron el análisis del impacto de la pandemia en el ámbito laboral [13] y las consecuencias que experimentó el mercado laboral [14]. Asimismo, algunos investigadores se enfocaron en comprender las repercusiones en los ingresos familiares [15], [16], y [17].

Las investigaciones demostraron que aquellos sujetos en condiciones sociales menos favorecedoras padecían mayor vulnerabilidad ante todos los aspectos de la emergencia sanitaria. El presente trabajo pretende abordar una categoría de análisis diferente considerando a aquellos estudiantes que enfrentaron la emergencia sanitaria mientras además de estudiar, trabajaron. La motivación que llevó a realizar la investigación surgió debido a que los autores observaron que, mientras dictaban las clases en línea, algunos alumnos se encontraban laborando. La necesidad de explorar esta situación nos llevó a obtener los resultados que a continuación se exponen.

Trabajo Precario

En la actualidad el sistema económico capitalista domina la geografía mundial. El sistema económico capitalista requiere para su supervivencia, reproducción y expansión, disponer de una mano de obra que pueda ser –en términos marxistas- explotada. El concepto de *explotación laboral* que puede parecer anticuado se mantiene vigente. Sin embargo, el concepto de explotación ha sido enriquecido debido a los cambios históricos en los procesos laborales de los asalariados. Otros conceptos intentan explicar la realidad de los miles de trabajadores en el mundo, quienes tienen en común la posición de desventaja en que se encuentran debido a que para subsistir deben vender su fuerza de trabajo.

La explotación, desde la perspectiva clásica marxista, se refiere a la relación desigual y opresiva entre la clase trabajadora (proletariado) y la clase capitalista (burguesía), en la cual los trabajadores no tienen otra opción para subsistir que vender su fuerza de trabajo. La plusvalía es aquella riqueza que se genera del trabajo asalariado luego de que esta se ha pagado. Para C. Marx en cada momento en que hay una apropiación no remunerada del trabajo ajeno, nos encontramos ante la explotación laboral [18]. De hecho, históricamente el propósito del trabajo asalariado es precisamente arrancar el plusvalor a los trabajadores.

Pero las condiciones de vida han cambiado, por lo que otros conceptos pueden ser más adecuados para explicar la relación entre los trabajadores y sus empleadores, Marini propuso para América Latina el concepto de *superexplotación* [19], el cual desarrolló en la década de 1970, refiriéndose a una forma avanzada de explotación capitalista que ocurre en los países llamados “periféricos o dependientes”. Los países dependientes están vinculados a los países con economías poderosas a través de formas de dominación económica, política y social [20]. Es la *división internacional del trabajo* lo que permite que se establezca la superexplotación. La división internacional del trabajo es el fenómeno por medio del cual las grandes trasnacionales separan sus procesos productivos de tal forma que aquellos que son más intensivos, pero que requieren menor tecnología, se envían a los países periféricos para ser realizados por mano de obra abaratada. La superexplotación implica que los trabajadores sean sometidos a jornadas laborales extendidas, salarios bajos y condiciones laborales precarias, lo que permite a las empresas obtener mayores montos de plusvalía. Estas condiciones de extracción intensiva de la plusvalía no las padecían los trabajadores de las economías centrales en la década de 1970.

 ISSN: 2007 8102

Esencial en los procesos de superexplotación es la llamada *Transferencia de Valor* que consiste en que la tecnología y los conocimientos tecnológicos avanzados se concentran solo en las economías centrales, lo que provoca que la producción se realice en los países periféricos con mano de obra barata, lo que permite obtener mayores ganancias debido a que se abaratan los costos de producción.

Quizás el concepto más importante para definir el tipo de trabajo asalariado que el capitalismo actual genera sea el de "*trabajo precario"*; la propuesta teórica ha sido el resultado de una evolución conceptual en el análisis de las condiciones laborales y la economía y ha sido ampliamente analizado por autores como Judith Butler [21], Standing [22, 23], Richard Sennett [24, 25] y Robert Castel [26]. El trabajo precario o empleo precario al que también se le ha llamado trabajo vulnerable, se refiere a una forma de empleo caracterizada por condiciones laborales inestables, inseguras, mal remuneradas y con escasa o nula protección social para los trabajadores. Este tipo de empleo suele carecer de garantías laborales básicas.

Durante la emergencia sanitaria el tipo de trabajo que los estudiantes universitarios que formaron parte de este estudio tenían era precisamente del tipo del trabajo precario. Los estudiantes, recluidos en sus casas, vieron como sus familias comenzaron a sufrir problemas derivados del grave impacto de la economía mundial sobre los empleos. Los estudiantes comenzaron a buscar empleo. El 78 por ciento de los estudiantes que integraron el estudio se encontraban laborando durante la emergencia sanitaria. De estos estudiantes, el 68 por ciento laboraban el ámbito informal y 32 por ciento en el formal. El 91 por ciento de los encuestados recibían un salario. De ellos 74 por ciento trabajaban para apoyar a sus familias y el 90 por ciento trabajaban para cubrir los gastos de su educación.

Resulta altamente significativo señalar que 61 por ciento de estos estudiantes recibía un salario de entre 500 a 2000 pesos mensuales y que el 80 por ciento de los estudiantes trabajadores no recibía prestaciones de ley. Por tanto, considerando ese panorama general se observa que los estudiantes se encontraban realizando trabajo precario debido al monto de ingresos recibidos, pero además debido a la falta de prestaciones. Para reafirmar lo anterior los alumnos manifestaron que su salario lo recibían al contado (75 por ciento) y que el 90 por ciento no contaba con algún tipo de servicio y seguridad médica. Pero, ¿qué llevó a los estudiantes a salir a buscar trabajo durante la pandemia? Los estudiantes tenían edades que comprendían entre los 18 y 25 años y no padecían comorbilidades, por lo que eran más resistentes a la enfermedad en comparación con sus padres. La entrevista siguiente fue realizada a un joven estudiante de 24 años:

> *"Mis dos papás se pusieron muy graves. Pensé que tendría que llevarlos al hospital. Yo los estuve cuidando. Por suerte la enfermedad solo me afecto a mí por tres días y después me sentí bien. Yo tuve que encargarme del negocio de comida de mis papás. Tenía que cuidar a mis papás que tuvieron secuelas por Covid y además trabajar, estudiar a ratos conectándome con el teléfono mientras hacía todo junto". (Entrevista con José, 25 años de edad. 22/04/2022*

En el caso de José se deben señalar varios aspectos importantes, el primero, que sus padres a diferencia de él padecían diabetes, el segundo aspecto es que los padres de José tenían un negocio de comida; dicho negocio era de tipo irregular, por lo que entraba dentro de la categoría de "economía informal". A continuación se presenta un fragmento de la entrevista con Rosa, de 21 años, estudiante de octavo cuatrimestre quien comentó lo siguiente:

> *Mi mamá tenía Covid, también mi hermana mayor. Ambas trabajaban, pero se pusieron tan enfermas que no pudieron trabajar por lo que yo tenía que atenderlas en casa. Ellas estaban aisladas en una recamara mientras yo cuidaba a mis sobrinos, hijos de mi hermana. Los niños tienen 4 y 6 años por lo que es difícil cuidarlos. Pero además tenía que cocinar, cuidar la casa y estudiar ¡todo! No sé ni como pude porque, además, para sobrevivir y ganar un poco de dinero, los fines de semana me fui a ayudar a una tía en su puesto de comida. Los fines de semana yo dejaba encerrados a mis sobrinos y les pedía llevarles comida y agua a la puerta del cuarto a mi mamá y a mi hermana. Ellas estaban muy mal, pero aguantaron hasta recuperarse, pero mi mamá perdió el trabajo, por lo que yo tuve que seguir trabajando. (Entrevista con Rosa, 28/03/2022).*

¿Puede considerarse el *trabajo informal* como trabajo precario? Para Sassen "el trabajo informal se caracteriza por su precariedad, al estar asociado con bajos salarios, inestabilidad laboral, ausencia de derechos y protección social insuficiente" [27]. Mientras que para Thompson "El trabajo informal representa una forma extrema de precariedad laboral, donde los trabajadores se encuentran excluidos de los beneficios y la seguridad que probablemente proporcionen las instituciones del Estado y los empleadores" [28].

 ISSN: 2007 8102

Figura 1. Ingreso mensual a través del salario de los estudiantes universitarios que formaron parte del estudio.

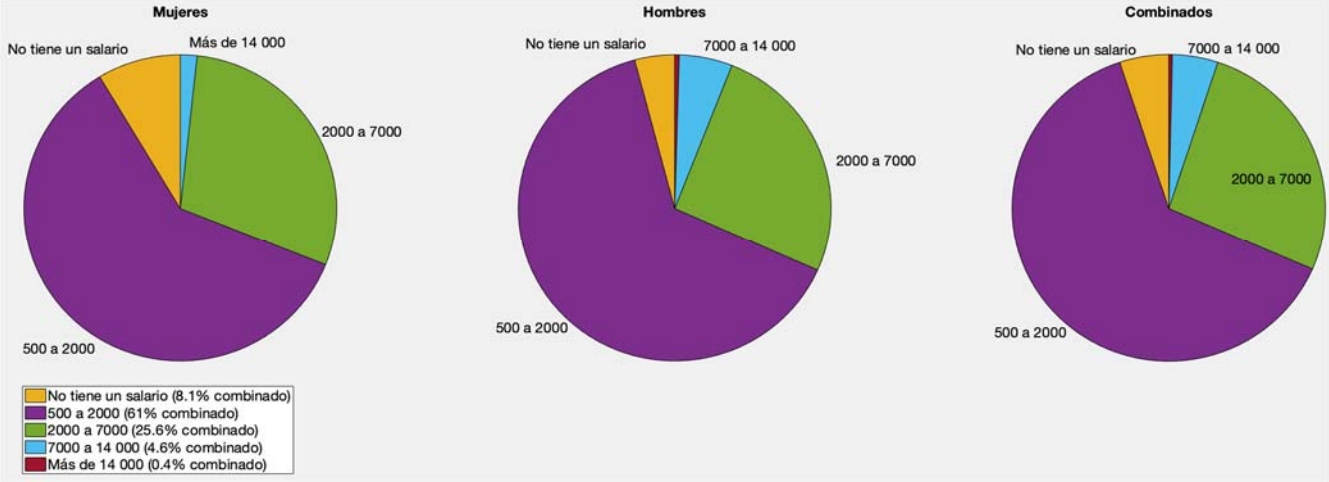
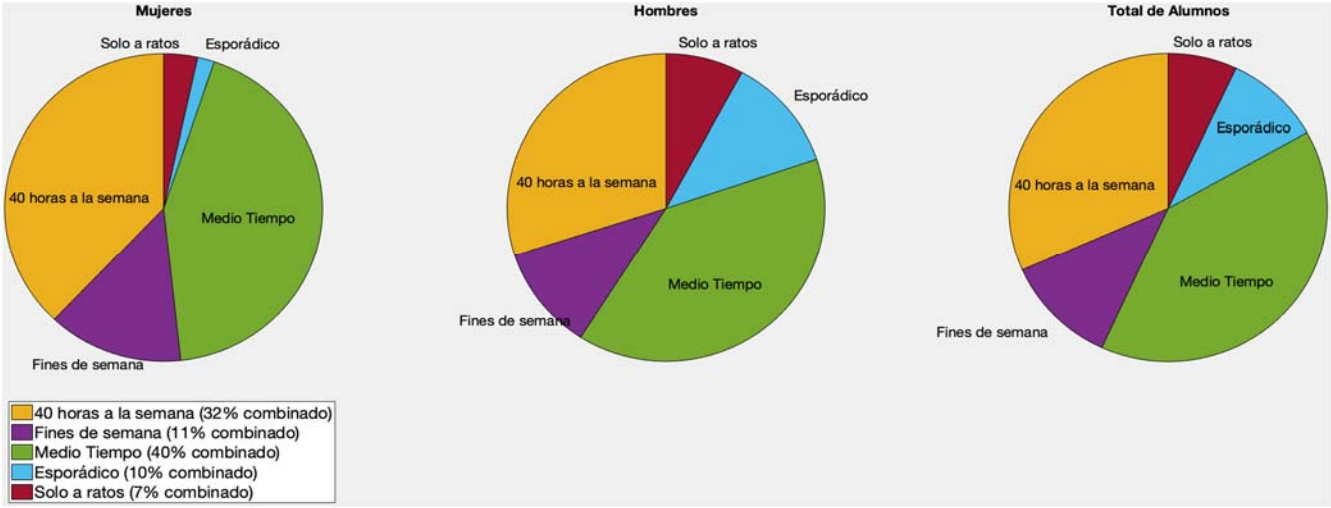


Figura 2. Horas de trabajo y jornada laboral de los estudiantes universitarios que formaron parte del estudio.



En relación a los ingresos percibidos por los estudiantes, la Figura 1 revela que menos del 5% de los estudiantes ganaba más de 7 mil pesos al mes, mientras que el 94.7% ganaba menos, destacándose que el rango salarial más común era de 500 a 2 mil pesos, lo cual denota una situación precaria, ya que la mayoría de los estudiantes en este grupo carecía de prestaciones laborales. En cuanto a la jornada laboral, la Figura 2 presenta un desglose de las horas trabajadas por los estudiantes, indicando que el 40% trabajaba a medio tiempo y el 32% a tiempo completo. Adicionalmente, el 11% trabajaba los fines de semana. Es relevante mencionar que aquellos estudiantes con empleos de medio tiempo, tiempo parcial y fines de semana raramente tenían acceso a prestaciones laborales. Además, solo el 14% de los estudiantes afirmó haber firmado un contrato, y de este grupo, solo el 13% trabajaba a tiempo completo, lo que acentúa la precariedad laboral predominante.

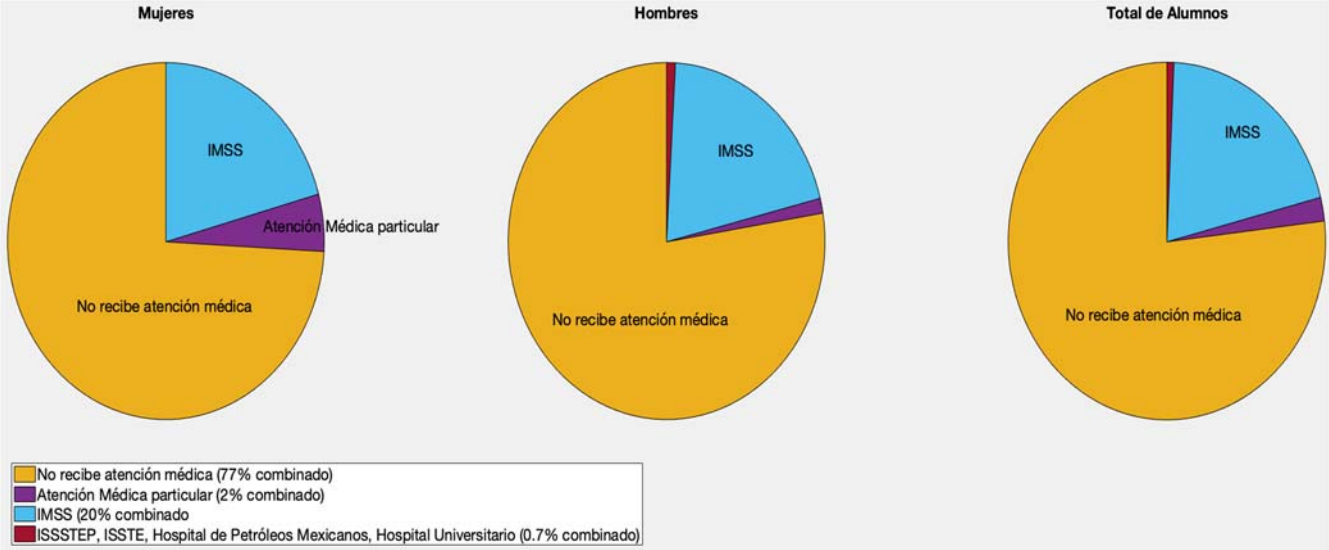
Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se define como la susceptibilidad de una población a experimentar daños físicos o mentales debido a una serie de factores que incrementan los riesgos de enfermedades o problemas de salud. Los factores de vulnerabilidad pueden variar entre individuos y están influenciados por diversos aspectos, como factores biológicos personales, condiciones sociales, circunstancias económicas y el entorno ambiental.

La pandemia de COVID-19, demostró la importancia de abordar las desigualdades en materia de salud y proteger a las personas más vulnerables frente a enfermedades infecciosas. Pero además, demostró que en la población que realiza trabajo precario padece también de precariedad en temas de salud. El 77% de los estudiantes que trabajaban, y que fueron encuestados para esta investigación no recibía prestaciones de salud. Pero debido a que la vulnerabilidad en salud es un tema que involucra aspectos económicos y sociales, el fenómeno ha sido

 ISSN: 2007 8102

Figura 3. Servicios médicos que recibieron como prestación laboral los estudiantes universitarios que formaron parte del estudio.



ampliamente investigado por autores como Jonathan Mann [29] quien logró a través del concepto de "vulnerabilidad" referirse la forma en que las estructuras sociales, políticas y económicas provocan que ciertas personas sean susceptibles a problemas de salud y de acceso a la atención médica. Castel señala la importante relación entre la persona y el lugar que ocupa en la "división del trabajo", así como su consecuente participación en la sociedad, lo que le permite enfrentar los problemas de su existencia [30].

Si vinculamos la falta de prestaciones en salud de los estudiantes que formaron parte de este estudio, con los salarios que recibieron y la falta de un contrato, observamos que se enfrentaban a condiciones de vulnerabilidad, además de ser trabajadores precarios. Al cruzar las variables, el 90% de los estudiantes padecen alguna de estas tres condiciones y 76% las tres.

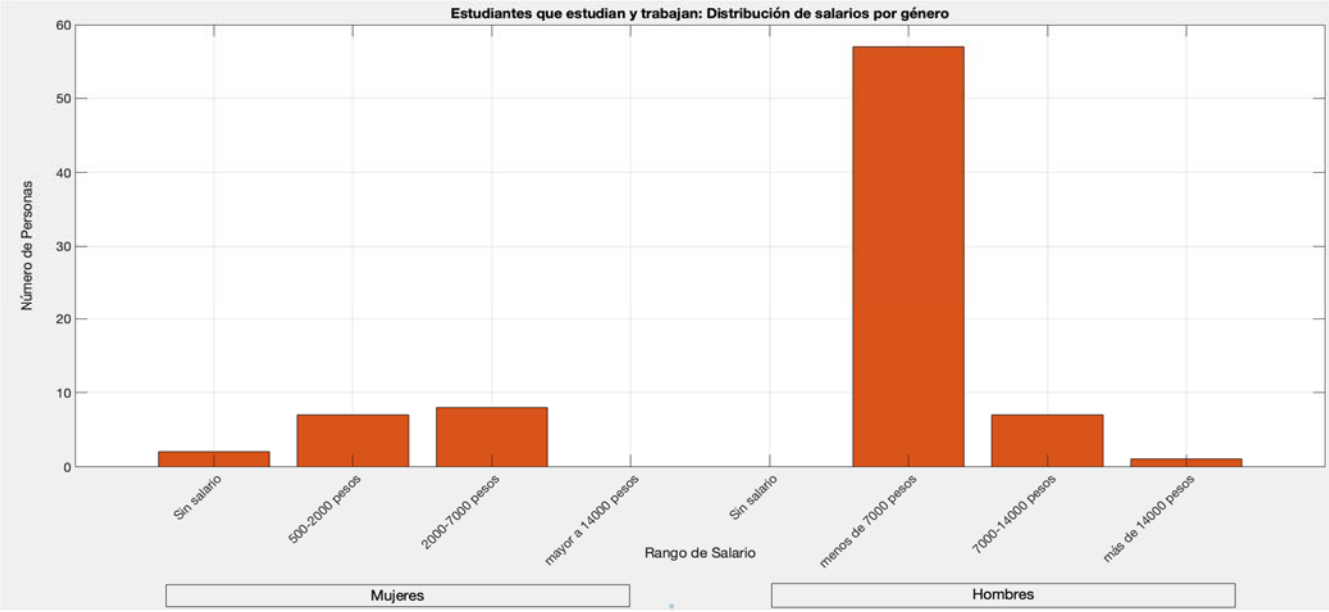
Amartya Sen logro instaurar el concepto de vulnerabilidad en los discursos del desarrollo socioeconómico y bajo el amparo de diversos organismos internacionales [31]. Sen considera a la vulnerabilidad como una incapacidad de las personas para conseguir un nivel mínimo de bienestar y desarrollo humano [32]; esta falta de capacidad tiene su fundamento en factores sociales, políticos y económicos.

Durante la emergencia sanitaria por Covid-19, el concepto de vulnerabilidad fue ampliamente utilizado para señalar todas aquellas variables que generaban en algunas poblaciones un mayor riesgo de contagio, las comorbilidades y los riesgos de padecer una versión grabe o mortal de la enfermedad. Los estudiantes universitarios pertenecían a la población con menor grado de posibilidad de padecer una versión grave del mal, de ahí que reportaran haberse contagiado incluso más de tres veces de Covid-19 sin desarrollar una versión grave de la enfermedad, aun antes de ser vacunados. Debido a que sus padres sí tenían mayores riesgos de enfermar, los jóvenes se convirtieron en los candidatos idóneos para salir a buscar empleo. Por supuesto existía el riesgo de llevar la enfermedad a casa, pero no había opción. De hecho, el 74% de los estudiantes reportaron que trabajaban para apoyar al gasto familiar, el 91% señaló que gracias al trabajo podían cubrir sus gastos de estudio y el 76% de los encuestados mencionaron que en caso de dejar de trabajar no podrían cubrir sus gastos de estudio. Cabe señalar que, entre los encuestados, 15 tenían hijos (5%), de ellos seis fueron mujeres y ocho fueron hombres.

En la Figura 3 se muestra el tipo de atención médica que recibieron los estudiantes trabajadores. La gran mayoría de los estudiantes que trabajaron durante la emergencia sanitaria no contaban con seguridad médica, y aun en los casos en los que recibieron atención médica particular pagada por la empresa, esta solo incluyó el pago de consultas y medicamentos. Los datos demuestran que los estudiantes enfrentaron condiciones de vulnerabilidad durante la crisis sanitaria. Es importante destacar que los estudiantes podían llevar la enfermedad a sus hogares, pero las familias dependían de los ingresos que los estudiantes aportaban.

 ISSN: 2007 8102

Figura 4. Estudiantes que estudian y trabajan.



Rendimiento Académico

El rendimiento académico es entendido como el nivel de desempeño y de logro que los alumnos alcanzan en sus estudios. Su medición no se limita a la calificación obtenida, pues debe referirse también al progreso en el aprendizaje, el nivel de conocimientos que el estudiante ha adquirido y las habilidades que obtuvo durante el proceso educativo. El rendimiento académico es influenciado por el entorno del estudiante, donde aspectos como la familia, la motivación personal, la cultura local y la economía familiar pueden afectarlo. Para los docentes, el objetivo de la medición del rendimiento académico es evaluar el progreso del alumno en su adquisición de conocimientos. Entre los autores que exploran el concepto de rendimiento académico es importante señalar a Benjamin Bloom [33], John Biggs y Catherine Tang [34], Robert J. Sternberg [35], Howard Gardner [36], Carol Dweck [37] y Albert Bandura [38].

Es difícil precisar la forma en que los estudiantes vieron afectado su rendimiento escolar durante la emergencia sanitaria de 2020, por lo que el análisis se centrará en el contexto. Durante el periodo en que los alumnos tomaban clases en línea, un alto porcentaje de los estudiantes universitarios trabajaban al mismo tiempo que tomaban sus clases con sus teléfonos móviles. De tal forma que el trabajo y la escuela estaban empalmados. De acuerdo con la Figura 5, 82 alumnos (28% de la muestra) tomaban clases mientras trabajaban todo el tiempo, de ellos 17 fueron mujeres, y sus salarios oscilaban entre los 2 mil a 7 mil pesos (8 alumnas), entre los 500 a 2000 pesos (7 alumnas) y 2 no recibían salario. Se contabilizaron 65 varones que tomaban clases y al mismo tiempo trabajaban, de ellos 7 alumnos tenían un salario de entre 7 mil a 14 mil pesos mensuales y un alumno obtenía un salario mayor a 14 mil pesos. Es importante señalar que fueron los hombres quienes obtuvieron salarios mayores a los de las mujeres cuando trabajaban y al mismo tiempo tomaban clases. Solo el 15% de los alumnos (43 alumnos) no requerían tomar clases mientras estaban trabajando, siendo 38 hombres y 5 mujeres. Mientras que 162 alumnos (el 56.4%) de manera esporádica trabajaban y al mismo tiempo tomaban clases con sus teléfonos móviles. Entre las consecuencias que los alumnos reportan por trabajar y al mismo tiempo estudiar se encuentran las siguientes:

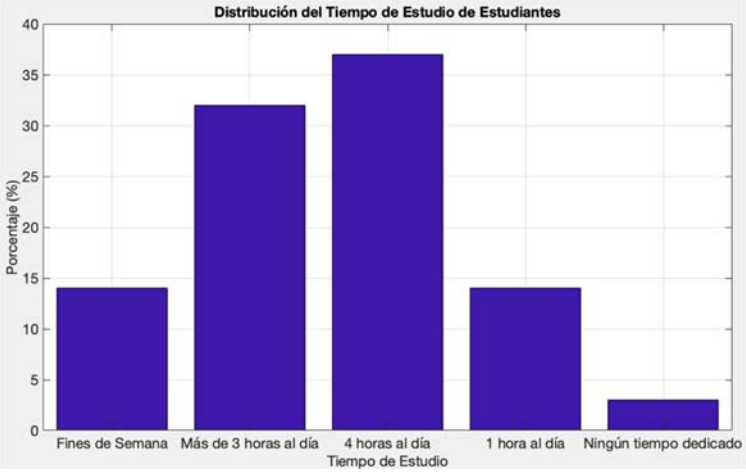
a) La disminución del promedio escolar se presentó en 57% de los alumnos. En el caso de 43% de los alumnos, trabajar no afectó su promedio escolar.
b) 82% de los estudiantes que trabajan tuvieron que dormir menos para cumplir con sus deberes escolares. 70% de los estudiantes durmieron menos de 7 horas y más de 4 horas. Mientras que 20% pudo dormir 8 horas. 9% de los alumnos durmieron menos de 4 horas.
c) Al 65% de los alumnos les gustaba trabajar y estudiar al mismo tiempo, mientras que al 35% no le agradaba.

 ISSN: 2007 8102

d) Los alumnos reportaron cansancio excesivo y tedio mientras pasaban varias horas en clases en línea a través de *Google Meet.*

:

Figura 5. Distribución del tiempo de estudio de los estudiantes.



Respecto al tiempo que los estudiantes dedicaron a realizar tareas y a estudiar, de acuerdo con la Figura 5, el 14% dedicaron los fines de semana a realizar estas actividades, el 32% más de 3 horas al día, el 37% dedicaron 4 horas al día, el 14% una hora diaria, el resto (3%) no dedicaron tiempo a estudiar. Durante una entrevista, Juan comentó

> *Yo trabajo como repartirdor, y repartía comida al mismo tiempo que tomaba clases, por lo que en muchas ocasiones mientras manejaba la moto escuchaba la clase desde mi teléfono. Sé que es peligroso y que no lo debía hacer, pero "no podía dejar de trabajar*" (*Entrevista con Juan, 19 años de edad. 25/03/2022).*

Otro estudiante comentó:

> *"Trabajé de cajero en Banco "A", mientras tomaba las clases desde el teléfono también atendía a los clientes. Me daba pena que los profesores me pidieran prender la cámara y me vieran con el uniforme trabajando en la caja del Banco. Era difícil y siendo honesto no aprendí correctamente." (Entrevista con Pablo, 22 años. 24/03/2022).*

Respecto a las calificaciones y a los índices de reprobación, la política nacional en todos los niveles educativos implicó favorecer a los estudiantes en sus circunstancias, por lo que basar el análisis en los promedios escolares no es la mejor forma de analizar el rendimiento. Es por eso que el análisis de las condiciones que vivían los alumnos que trabajaban y su percepción respecto a su propio rendimiento resulta valiosa, donde prácticamente la totalidad de los entrevistados y encuestados sintieron afectado su rendimiento escolar.

Trabajo a futuro

Entre los temas que es importante investigar, analizar la forma en que la institución educativa sirvió como un nicho de protección y soporte emocional para los estudiantes puede permitir desarrollar programas de apoyo emocional para los alumnos. Otro aspecto que se seguirá investigando es el de la brecha digital, la cual se refiere a las desigualdades y las disparidades que existen entre los estudiantes en el acceso a las tecnologías de la información y comunicación (TIC) en los contextos educativos. Las instituciones educativas deben buscar estrategias para disminuir la brecha digital y sus consecuencias. Estos temas son importantes y de interés actual en la educación debido a que permiten desarrollar estrategias tecnológicas, sociales y económicas para enfrentar problemas tan graves como lo fue la emergencia sanitaria, pero además desarrollar tácticas de afrontamiento que favorezcan a los educandos.

 ISSN: 2007 8102

Conclusiones

La afectación al rendimiento académico de los estudiantes que trabajaron durante la emergencia sanitaria de 2020 se observó principalmente en el aprendizaje de los alumnos. Los estudiantes se quejaron de que la utilización de herramientas como *Google Meet* no favoreció su aprendizaje y que por el contrario sentían que era tedioso pasar varias horas frente a la computadora o al teléfono móvil. Sin embargo, al retornar a clases, el 70% de los alumnos reportó dificultades para incorporarse a la universidad debido a que debían seguir trabajando y debido a que sentían temor de los posibles contagios por Covid-19, que para 2022 se continuaban presentando. Se debe ratificar que a 76% de los encuestados les preocupaba abandonar el trabajo para seguir estudiando, pues si dejaban de trabajar no podrían cubrir sus gastos de estudio.

Lo anterior generó un debate entre quienes dirigían los centros educativos. Por un lado, había quienes manifestaban que “los alumnos debían elegir sus prioridades” y por tanto “elegir entre estudiar y trabajar”, pero ante este discurso cabe preguntar ¿es la educación un privilegio de clase y no un derecho? La diferencia fundamental entre un privilegio de clase y un derecho social radica en su naturaleza y alcance. Por privilegio de clase se entiende a aquellas ventajas que ciertos individuos obtienen en virtud a su pertinencia a cierto grupo o capa social. Estos privilegios se asocian al poder económico, político y/o social pero que no están vinculados en forma definitiva con capacidades, inteligencias, valores éticos, habilidades, esfuerzos y logros. Los derechos sociales se asocian a las garantías y prestaciones que los Estados deben dar a los ciudadanos para asegurarles el bienestar y la igualdad de oportunidades. Es en este sentido que los privilegios de clase son totalmente contrarios a los derechos sociales.

La emergencia sanitaria por Covid-19 demostró la existencia de privilegios de clase enfrentados a los derechos sociales en el ámbito educativo. Los estudiantes que se vieron en la necesidad de trabajar para solventar sus gastos escolares y apoyar a sus familias, enfrentaron dificultades y en consecuencia la disminución de su rendimiento académico al no poseer como privilegio que les permitieran “quedarse en casa”. El trabajo precario y una condición de vulnerabilidad influyeron en los resultados del aprendizaje. La contingencia mostró además que no son los esfuerzos personales los que determinan el rendimiento escolar, sino las condiciones derivadas de la posición económica de los estudiantes. Es indispensable considerar la necesidad que padecen algunos estudiantes en cuanto a trabajar para solventar sus gastos familiares, personales y de estudio, y la forma en que las instituciones educativas deben apoyarles. Es también indispensable eliminar discursos que oculten las diferencias de clase en el resultado de las evaluaciones escolares. En la emergencia sanitaria los menos privilegiados arriesgaban su vida trabajando para producir y otorgar servicios a los privilegiados, exponiendo con ello sus vidas y aceptando condiciones de trabajo más violentas y riesgosas, porque no tenían otra opción.

Referencias

[1] Gobierno de México, “Covid-19 México”, 2023. [Online]. Disponible en: https://datos.covid-19.conacyt.mx/

[2] Naciones Unidas, “La pérdida de empleos por el COVID-19, peor de lo que se esperaba” Noticias ONU ,2020. [Online]. Disponible en: https://news.un.org/es/story/2020/06/1476782#:~:text=En%20la%20primera%20mitad%20de,martes%20la%20Organizaci%C3%B3n%20Internacional%20del

[3] Gobierno de México, “Impacto de la pandemia de covid-19 en el mercado laboral mexicano y en el Sar”, 2021, [Online]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/656430/AP-05-2021_Impacto_de_la_Pandemia_en_el_Mercado_Laboral_VFF.pdf

[4] B.C. Fernández, D.F. Cortés, & E. V. Palacio, E. V. G., *“El estudio de caso como alternativa metodológica en la investigación en educación física, deporte y actividad física.*” Conceptualización y aplicación. Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación, no. 35, pp. 428-433 2019.

[5] J. J. Q. Rivera, *“El Efecto del COVID-19 en la Economía y la Educación: Estrategias para la Educación Virtual de Colombia.”* Revista Scientific, Vol. *5* no. 17, pp. 280-291, 2020.

[6] F. Pedro, *“COVID-19 y educación superior en América Latina y el Caribe: efectos, impactos y recomendaciones políticas.”* Análisis Carolina, Vol. *36* no.1, pp. 1-15, 2020.

[7] S. Giannini, “*COVID-19 y educación superior: de los efectos inmediatos al día después.”* Revista Latinoamericana de Educación Comparada: RELEC, Vol. *11* no. 17, pp. 1-57, 2020

[8] S. Montenegro, E. Raya, & F. Navaridas, “*Percepciones Docentes sobre los Efectos de la Brecha Digital en la Educación Básica durante el Covid-19.”* Revista Internacional de Educación para la Justicia Social, Vol. *9* no. 3, pp. 317-333, 2020.

[9] R. Carvacho, J. Morán-Kneer, C. Miranda-Castillo, V. Fernández-Fernández, B. Mora, Y. Moya, & C. Valdivia, *"Efectos del confinamiento por COVID-19 en la salud mental de estudiantes de educación superior en Chile."* Revista médica de Chile, Vo. *149*, no. 3, pp. 339-347, 2021.

[10] M. T. Mamani, N. O. Z. Payi, & L. V. Machicao, "*Ansiedad y estrés en la educación virtual en el periodo de emergencia sanitaria por el COVID-19."* Revista científica de sistemas e informática, Vo. *1*, no. 2, pp. 27-37, 2021.

[11] L. E. Macías-Rodríguez, & J. G. Loor-Chancay, "*Efectos del COVID-19 en la educación superior y la subsecuente aplicación de ambientes de aprendizaje virtual."* Revista Científica Multidisciplinaria SAPIENTIAE. Vo*. 4*, no. 7, pp. 64-76, 2021.

[12] E. Baleriola, & T. Contreras-Villalobos, *"La educación virtual no es buena ni mala, pero tampoco es neutra. Algunos apuntes sobre los efectos de la COVID-19 en educación."* Sociología y tecnociencia, vo.11*,* pp. 209-225, 2021.

[13] C. Ruiz-Frutos, & J. Gómez-Salgado, "*Efectos de la pandemia por COVID-19 en la salud mental de la población trabajadora."* Archivos de Prevención de Riesgos Laborales, vo. *24* no. 1, pp. 6-11, 2021.

[14] C. R. Mackay-Castro, B. V. León-Palacios, & H. A. Zambrano-Noboa, "*Efectos del Covid-19 en el mercado laboral."* Domino de las Ciencias, vo. *6*, no. 3, pp. 1368-1381, 2020.

Madero Gómez, S., Luengo Martínez, C. E., & Alvarado de Marsano, L. S. (2021). Efectos del estrés y el bienestar laboral con el trabajo a distancia en el entorno del COVID-19: México, Perú y Chile.

[15] J. J. Huallpa, J. P. F. Arocutipa, & L. E. F. Sosa, (2022). "*Efectos del coronavirus Covid-19 en el empleo y los ingresos familiares en sur del Perú*," Revista Venezolana de Gerencia: RVG, vo. *27*, no. 97, pp. 299-318, 2022.

[16] S. L. Chaguay, R. R. Galeas, & L. A. L. Chaguay, "*Desempleo en tiempos de covid-19: efectos socioeconómicos en el entorno familiar*." Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación, vo. *5*, no. 4, pp.187-197, 2020.

[17] D. E. Rojas, P. G. Espinoza, & L. R. Osiac, "*La alimentación en tiempos de pandemia por COVID-19."* Revista Chilena de Salud Pública, pp. 110-122, 2020.

[18] K. Marx, El Capital, vo. 1, 1867.

[19] R. M. Marini, Dialéctica de la dependencia. México: Serie Popular Era Ediciones. 1973.

[20] D. Proenza González, L. de la Paz Castillo, A. González Moya, & E. Bonilla Bueno, "*La categoría Dependencia en Ruy Mauro Marini. Análisis de su obra "Dialéctica de la Dependencia" del año 1973*." Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina, vo. 7, no. 3, 2019.

[21] J. Butler, Precarious Life. The Powers of Mourning and violence. Verso. London New York, 2023.

[22] G. Standing, "*Understanding the precariat through labour and work*." Development and change, vo. *45* no.5, pp. 963-980, 2014.

[23] G. Standing, "*The corruption of capitalism: Why rentiers thrive and work does not pay*." Biteback Publishing. 2021.

[24] R. Sennett, "*The corrosion of character: The personal consequences of work in the new capitalism*." WW Norton & Company. 1998.

[25] R. Sennett, La cultura del nuevo capitalismo. Prensa de la Universidad de Yale. 2007.

[26] R. Castel, Les métamorphoses de la question sociale, Gallimard, París. 1995.

[27] S. Sassen, Expulsiones: Brutalidad y complejidad en la economía global. 2014.

[28] G. F. Thompson, La economía política del sector informal en los países en desarrollo, 2009.

[29] J. Mann, "*Epidemiología mundial del SIDA."* El impacto global del SIDA. Nueva York, Estados Unidos: Alan Riss. 1988.

[30] R. Castel, "*De la exclusión como estado a la vulnerabilidad como proceso. Archipiélago*." Vo. *21* no. 2, 1995.

[31] M. Valdés Gázquez, Vulnerabilidad social, genealogía del concepto. DIgibug. Universidad de Granada. España, 2021.

[32] A. Sen, Poverty and Famines. Oxford, Clarendon Press. 1981.

[33] B. Bloom, D. Max, J. Edward, H. Hill, D. R. Krathwohl, Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals Engelhart, Furst, McKay Co Inc. 1956.

[34] J. Biggs, C. Tang, Teaching for Quality Learning at University. Society for Research into Higher Education & Open University Press, 2011

[35] J. Robert Sternberg, Inteligencia exitosa: cómo la inteligencia práctica y creativa determinan el éxito en la vida Autor: Editorial: Plume, 1996.

[36] H. Gardner, "Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences Estructuras de la Mente: La Teoría de las Años Inteligencias Múltiples, Editorial Basic Books, 1983.

[37] C. S. Dweck, Mindset The New Psychology of Success Mindset. La Nueva Psicología del Éxito. Editorial Ballantine Books, 2006.

[38] A. Bandura, Self-Efficacy: The Exercise of Control. WH Freeman and Company 1997.

ISSN: 2007 8102

Contribución de la residencia profesional en el logro de los atributos de egreso en Ingeniería.

C.A. Ortiz Hermosillo[1], A. Ortiz Mariscal[1], A. Hernandez[3], O.Y. Acosta Rodríguez[4],
[1]Instituto Tecnológico de Matamoros.

***Área de participación**: Investigación educativa aplicada a Ingeniería Mecatrónica*

Resumen

El artículo presenta la evaluación que aporta la Residencia Profesional a los Atributos de Egreso (AE) del plan de estudios de Ingeniería Mecatrónica (IMCT) del Instituto Tecnológico de Matamoros (ITM). Esta escuela perteneciente al sistema de Educación Superior del Tecnológico Nacional de México (TecNM). Para el estudio se consideraron cinco periodos semestrales, del 2019 al 2021, que abarca la etapa de confinamiento derivado de la pandemia Nacional por Covid-19; los valores se obtuvieron mediante los promedios de los criterios de desempeño (CD) e indicadores (I) medidos en todos los proyectos desarrollados por los estudiantes, en su mayoría hechos desde casa, teniendo comunicación virtual con los asesores. Cabe mencionar, los resultados fueron parte de la autoevaluación del programa educativo con un organismo acreditador externo a la institución, el Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, A. C., (CACEI) bajo el Marco de Referencia 2018 (MR).

***Palabras clave**: Atributo, Ingeniería, logro, Residencia*

Abstract

The article presents the evaluation that the Professional Residence contributes to the Graduation Attributes (AE) of the Mechatronics Engineering curriculum (IMCT) of the Technological Institute of Matamoros (ITM). This school belongs to the Higher Education system of the Tecnológico Nacional de México (TecNM). For the study, five semester periods were considered, from 2019 to 2021, which covers the confinement stage derived from the National Covid-19 pandemic; the values were obtained through the averages of the performance criteria (CD) and indicators (I) measured in all the projects developed by the students, mostly done from home, having virtual communication with the advisors. It is worth mentioning that the results were part of the self-evaluation of the educational program with an accrediting body external to the institution, the Engineering Education Accreditation Council, A. C., (CACEI) under the 2018 Reference Framework (MR).

***Key words**: Achievement, Attribute, Engineering, Residency*

Introducción

La educación superior pública en México tiene un enlace con los diferentes sectores industriales y económicos a lo largo y ancho del país a través de la vinculación, esto permite que los estudiantes del Tecnológico Nacional de México (TecNM) tengan acceso a una variedad de actividades como son: el servicio social, la práctica profesional, la residencia profesional, educación dual, proyectos de verano, estancias entre otras. Esta interacción escuela-empresa es de vital importancia, pues les permite a los participantes (alumnos-docentes) la adquisición y desarrollo de competencias de carácter actual y profesional.

La participación constante de los miembros de la academia en un contexto local, regional, nacional e internacional refuerza los saberes para la actualización de los programas ante las exigencias de un mercado laboral. Por lo anterior, deben considerarse a los diferentes grupos de interés (GI) identificados por los programas educativos de la institución en diversas actividades académicas. Definiendo como (GI) a los sectores específicos de la sociedad los cuales tienen opinión sobre formación de los egresados del Programa Educativo PE [1]. Los grupos de interés se organizan de acuerdo con el contexto social donde está inmersa la institución y acorde a las asignaturas de la licenciatura o ingeniería, considerando las diferentes ramas académicas [3].

 ISSN: 2007 8102

La residencia profesional es una estrategia educativa de carácter curricular, que permite al estudiante emprender un proyecto teórico-práctico, analítico, reflexivo, crítico y profesional; con el propósito de resolver un problema específico de la realidad social y productiva, para fortalecer y aplicar sus competencias profesionales [4], se cursa en el último semestre del plan de estudios y aporta el desarrollo de competencias específicas y genéricas descritas en las diferentes asignaturas de la carrera, contribuyendo en un porcentaje del logro del atributo de egreso (AE). Permite poner a prueba los conocimientos adquiridos en el proceso escolar mediante desarrollo de un proyecto del sector social, industrial o mediante un proyecto de investigación interno desarrollado en la institución cursándose en el último semestre.

Pregunta de investigación

¿Cuál es el porcentaje alcanzado en los AE evaluados mediante el proyecto de residencias, de la carrera de Ingeniería Mecatrónica del ITM en comparación con los AE del CACEI bajo el enfoque del Marco de Referencia 2018?

Antecedentes

El Instituto Tecnológico de Matamoros (ITM) es una institución de educación superior pública y se encuentra localizada en la frontera norte del país, en el municipio de H. Matamoros en el estado de Tamaulipas, donde existe una variedad de empresas maquiladoras, principalmente del ramo mecánico-automotriz, además forma parte del Tecnológico Nacional de México. De manera anual el personal del ITM afana arduamente para lograr las metas institucionales correspondientes a 97 indicadores que se plasman en el Plan de Trabajo Anual (PTA), se trabaja y desarrollan durante todo el año y al final de este, se evalúan para obtener métricos de eficiencia. Entre los indicadores destacan:

- Porcentaje de programas de licenciatura acreditados.
- Porcentaje de estudiantes de licenciatura inscritos en un programa acreditado [6]**.**

Para lograr la acreditación de los diferentes programas de licenciatura con un organismo externo que evalúa la calidad educativa que se oferta, es necesario pasar un proceso de autoevaluación, bajo los criterios y lineamientos establecidos en el Manual llamado Marco de Referencia 2018 del CACEI en el Contexto internacional, tal es el caso del programa de Ingeniería Mecatrónica de dicha institución.

Derivado del confinamiento por Covid-19 fue necesario establecer estrategias académico-administrativas que permitirán continuar con el proceso educativo en línea. Todo tuvo que ser adecuado a las circunstancias y el proceso de residencia profesional no fue la excepción. Fue necesario fortalecer herramientas y estrategias académico-administrativas para continuar ofertando a la comunidad el servicio educativo [4]. Por tal motivo se implementó la medición de esta actividad y con ello ver su aporte a los atributos de egreso del plan de estudios y de los referidos por el Organismos acreditador.

Considerando al Atributo de Egreso (AE) como un conjunto de resultados evaluables individualmente, que conforman los componentes indicativos del potencial de un egresado para adquirir las competencias o capacidades para ejercer la práctica de la ingeniería a un nivel apropiado [1]

Los Atributos de Egreso del plan de estudios de Ingeniería Mecatrónica de ITM están definidos como se muestra a continuación:

AE1 Localizar, plantear y resolver problemas industriales y de carácter social de ingeniería mecatrónica aplicando los conocimientos de las ciencias básicas e ingeniería.

AE2 Crear o innovar productos, procesos, equipos y sistemas mecatrónicos, aplicando, analizando y sintetizando procesos de diseño de ingeniería con una actitud emprendedora e investigadora que cumpla con los requisitos solicitados y/o que resulten en proyectos industriales y de carácter social impactando positivamente en el entorno global.

AE3 Integrar y operar adecuados en la experimentación del área de la mecatrónica, examinando datos y comprendiendo variables criticar para generar conclusiones mediante un arbitraje establecido, apoyando de las normas, estándares, tecnologías y herramientas computacionales apropiadas.

AE4 Expresarse en forma oral y escrita objetivamente con capacidad de liderazgo e interrelación para desempañarse ante diferentes escenarios en su idioma nativo y en un segundo idioma.

AE5 Demostrar profesionalismo y responsabilidad ética, con apego a las normas nacionales e internacionales para la solución de problemas específicos que impacten en los contextos global, económico, ambiental y social

AE6 Aceptar la exigencia de mantenerse a la vanguardia en los conocimientos científicos y tecnológicos que se dan en el ejercicio de su profesión al identificar, valorar, incorporar y aplicar este conocimiento adecuadamente.

AE7 Coordinar y dirigir grupos multidisciplinarios fomentando el trabajo en equipo que establecen metas, planea tareas cumplen fechas límite y analizan riesgos e incertidumbre con un sentido de responsabilidad de su entorno social y cultural para un desarrollo sustentable.

Para un mejor manejo estos fueron analizados en academia y abreviados de la siguiente manera, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1, Abreviatura de los atributos de egreso de PE

AE	ABREVIATURA
1	Problemas industriales y sociales de ingeniería Mecatrónica
2	Diseño Mecatrónico
3	Practica experimental
4	Expresión liderazgo
5	Profesionalismo y responsabilidad ética
6	Mantenerse actualizado
7	Fomentar el trabajo en equipo

Por otra parte, el organismo evaluador CACEI tiene ya definidos siete atributos para las ingenierías, los cuales deben cumplir los programas evaluados, estos son [1]:
A1 Identificar, formular y resolver problemas complejos de ingeniería aplicando los principios de las ciencias básicas de ingeniería.
A2 Aplicar, analizar y sintetizar procesos de diseño de ingeniería que resulten en proyectos que cumplen las necesidades especificadas.
A3 Desarrollar y conducir una experimentación adecuada; analizar e interpretar datos y utilizar el juicio ingenieril para establecer conclusiones
A4 Comunicarse efectivamente con diferentes audiencias
A5 Reconocer sus responsabilidades éticas y profesionales en situaciones relevantes para la ingeniería y realizar juicios informados, que considere el impacto de las soluciones de ingeniería en los contextos global económico, ambiental y social
A6 Reconocer la necesidad permanente de conocimiento adicional y tener la habilidad para localizar, evaluar, integrar y aplicar este conocimiento adecuadamente.
A7 Trabajar efectivamente en equipos que establecen metas planean tareas, cumplen fechas límite y analizan riesgos e incertidumbre.

Metodología

La metodología utilizada para esta investigación se llevó a cabo mediante los siguientes pasos:

1. Se realizó un análisis de los AE del programa de IMCT en comparación con los atributos de CACEI de acuerdo con el: Marco de referencia 2018 del CACEI en el contexto internacional.

2. Para cada AE del programa educativo de IMCT se obtuvieron sus criterios de desempeño e indicadores, como se muestra en la Tabla 2.

CRITERIO DE DESEMPEÑO	ATRIBUTOS DE EGRESO																	
	AE1			AE2			AE3		AE4			AE5		AE6		AE7		
CD	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	1	2	1	2	
INDICADOR	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	

3. Se consideraron los resultados de los proyectos de residencias internos y externos de cinco periodos: agosto-diciembre 2019 (2019-3), enero-junio 2020 (2020-1), agosto-diciembre 2020 (2020-3), enero-junio 2021 (2021-1) y agosto-diciembre 2021 (2021-3), ver Tabla 3:

Tabla 3. Proyectos de residencias de Ingeniería Mecatrónica.

periodo	(2019-3)	(2020-1)	(2020-3)	(2021-1)	(2021-3)
Proyectos evaluados	49	23	71	13	37
Proyectos Internos	24	18	64	9	30
Proyectos externos	25	5	7	4	7

a. Con la base de datos de proyectos de cada año, se creó un archivo de Excel que calificaba por Atributos de Egreso cada proyecto y a su vez, se verificaba el cumplimiento de los Criterios de Desempeño y sus Indicadores.
b. La calificación de cada rubro se promedió y en el caso de que un CD tuviera más de un I; se utilizó la Ec. (1)

$$\frac{Promedio}{\#\ indicadores} = Impacto\ del\ indicador \qquad Ec(1)$$

Lo anterior permitió establecer un promedio que represente el impacto real de esos indicadores contra el criterio analizado.
c. Se calculó la oportunidad de mejora (*1-Promedio*).

4. Medición de los resultados obtenidos.

Resultados y discusión

De acuerdo con los análisis de los 7 AE con sus Criterios de desempeño (CD) e indicadores, estos se muestran en las siguientes tablas. (ver Tabla 4,5,6,7,8,9,10)

Tabla 4. Criterios e indicadores aplicados a la evaluación del AE 1

AE 1			
Localizar, plantear y resolver problemas industriales y de carácter social de ingeniería mecatrónica aplicando los conocimientos de las ciencias básicas e ingeniería.			
CRITERIO DE DESEMPEÑO		INDICADORES	
CD1	El estudiante localiza/identifica problemas en procesos industriales y en la sociedad.	I1	% de estudiantes que identifican variables y/o parámetros de interés industrial y/o social basados en conceptos de ciencias básicas e ingeniería.
CD2	El estudiante plantea soluciones para los problemas identificados en materia industrial y social.	I1	% de estudiantes que utilizan una metodología científica para plantear soluciones a problemas.
		I2	% de estudiantes que realizan modelos de simulación para plantear soluciones.
CD3	El estudiante resuelve problemas industriales y sociales con herramientas de carácter ingenieril.	I1	% de estudiantes que integran conocimientos de ingeniería y ciencias básicas en resolución de proyectos.

Tabla 5. Criterios e indicadores aplicados a la evaluación del AE 2

AE 2			
Crear o innovar productos, procesos, equipos y sistemas mecatrónicos, aplicando, analizando y sintetizando procesos de diseño de ingeniería con una actitud emprendedora e investigadora que cumpla con los requisitos solicitados y/o que resulten en proyectos industriales y de carácter social impactando positivamente en el entorno global.			
CRITERIO DE DESEMPEÑO		INDICADORES	
CD1	El estudiante crea o innova procesos, equipos y sistemas mecatrónicos para cumplir con requisitos solicitados en proyectos industriales y/o sociales.	I1	% de estudiantes que en sus proyectos aporta una innovación en un ámbito industrial y/o social.

 ISSN: 2007 8102

CD2	El estudiante aplica procesos de diseño de ingeniería para cumplir requisitos solicitados en proyectos industriales y/o sociales.	I1	% de estudiantes que en sus proyectos aplica métodos de diseño de ingeniería basados en requisitos previos.
CD3	El estudiante analiza y sintetiza procesos de diseño de ingeniería para cumplir con requisitos solicitados en proyectos industriales y/o sociales.	I1	% de estudiantes que son capaces de analizar y sintetizar diseños de ingeniería para optimizar los resultados.

Tabla 6. Criterios e indicadores aplicados a la evaluación del AE 3

AE 3			
Integrar y operar equipos adecuados en la experimentación del área de la mecatrónica, examinando datos y comprendiendo variables críticas para generar conclusiones mediante un arbitraje establecido, apoyado de las normas, estándares, tecnologías y herramientas computacionales apropiadas.			
CRITERIO DE DESEMPEÑO		INDICADORES	
CD1	El estudiante integra equipos en el área de ingeniería mecatrónica que cumplan normas, estándares o tecnologías adecuadas al problema.	I1	% de estudiantes que presentan proyectos integrando equipos mecatrónicos para la solución de un problema.
		I2	% de estudiantes que al integrar equipos mecatrónicos utiliza normas y estándares internacionales.
CD2	El estudiante opera equipos mecatrónicos que cumplan normas, estándares o tecnologías adecuadas al problema a resolver.	I1	% de estudiantes que operan equipos bajo variables críticas de desempeño.
		I2	% de estudiantes que analizar las variables de salida y optimiza el proyecto solución.

Tabla 7. Criterios e indicadores aplicados a la evaluación del AE 4

AE 4			
Expresarse en forma oral y escrita objetivamente con capacidad de liderazgo e interrelación para desempeñarse ante diferentes escenarios en su idioma nativo y en un segundo idioma.			
CRITERIO DE DESEMPEÑO		INDICADORES	
CD1	El alumno se expresa de forma oral y escrita en distintos escenarios bajo su disciplina y en grupos multidisciplinarios.	I1	% de estudiantes que saben preparar la presentación de sus proyectos de ingeniería.
CD2	El alumno sabe trabajar con capacidad de liderazgo interrelacionándose con grupos multidisciplinarios.	I1	% de estudiantes que saben trabajar en equipo, con disciplina y armonía.
CD3	El alumno domina una segunda lengua.	I1	% de estudiantes con nivel TOEFL B1 o su equivalente en lengua inglesa.

Tabla 8. Criterios e indicadores aplicados a la evaluación del AE 5

AE 5			
Demostrar profesionalismo y responsabilidad ética, con apego a las normas nacionales e internacionales para la solución de problemas específicos que impacten en los contextos global, económico, ambiental y social.			
CRITERIO DE DESEMPEÑO		INDICADORES	
CD1	El alumno demuestra profesionalismo y responsabilidad ética en la solución de problemas.	I1	% de estudiantes que presentan proyectos éticos y profesionales.
CD2	El alumno se apega a normas nacionales e internacionales para la solución de problemas.	I1	% de estudiantes que siguen la normativa vigente para sus proyectos de ingeniería.

Tabla 9. Criterios e indicadores aplicados a la evaluación del AE 6

 ISSN: 2007 8102

AE 6			
Aceptar la exigencia de mantenerse a la vanguardia en los conocimientos científicos y tecnológicos que se dan en el ejercicio de su profesión para identificar, valorar, incorporar y aplicar este conocimiento adecuadamente.			
CRITERIO DE DESEMPEÑO		INDICADORES	
CD1	El alumno se actualiza para mantenerse en la vanguardia de conocimientos científicos y tecnológicos en el ejercicio de su profesión.	I1	% de estudiantes que acuden a un curso de actualización.
CD2	El estudiante identifica, valora, incorpora y aplica conocimientos actualizados en el ejercicio de su profesión.	I1	% de estudiantes que en sus proyectos incorporan conocimientos actualizados de su profesión.

Tabla 10. Criterios e indicadores aplicados a la evaluación del AE 7

AE 7			
Coordinar y dirigir grupos multidisciplinarios fomentando el trabajo en equipo que establecen metas, planean tareas, cumplen fechas límite y analizan riesgos e incertidumbre con un sentido de responsabilidad de su entorno social y cultural para un desarrollo sustentable.			
CRITERIO DE DESEMPEÑO		INDICADORES	
CD1	El alumno coordina y dirige grupos multidisciplinarios para plantear metas, tareas y cumplir en fecha límite su proyecto.	I1	% de estudiantes que en sus proyectos realiza una planeación estructurada y escribe un cronograma de actividades.
		I2	% de estudiantes que cumplen con la fecha de entrega de sus proyectos
CD2	El alumno analiza riesgos e incertidumbres con sentido de responsabilidad social y cultural para un desarrollo sustentable.	I1	% de alumnos que incorpora metodologías de sustentabilidad.
		I2	% de estudiantes que analizan variables de entrada y salida para determinar riesgos

Los resultados obtenidos fueron los siguientes, ver tablas 11,12, 13,14 y 15, donde la A corresponde a valores por arriba del 70% y la R son valores por debajo del 70%.

Tabla 11. Resultados de la evaluación de los atributos en el periodo 2019-3

CRITERIO DE DESEMPEÑO	PERIODO 2019-3																									
	AE1				AE2			AE3				AE4			AE5		AE6		AE7							
CD	1	2		3	1	2	3	1	2			1	2	3	1	2	1	2	1	2						
INDICADOR	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2				
% alcanzado	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A				

Tabla 12. Resultados de la evaluación de los atributos en el periodo 2020-1

CRITERIO DE DESEMPEÑO	PERIODO 2020-1																									
	AE1				AE2			AE3				AE4			AE5		AE6		AE7							
CD	1	2		3	1	2	3	1	2			1	2	3	1	2	1	2	1	2						
INDICADOR	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2				
% alcanzado	A	R	R	A	A	A	A	R	R	R	R	A	A	A	A	A	A	A	R	R	R	R				

Tabla 13. Resultados de la evaluación de los atributos en el periodo 2020-3

CRITERIO DE DESEMPEÑO	PERIODO 2020-3																									
	AE1				AE2			AE3				AE4			AE5		AE6		AE7							
CD	1	2		3	1	2	3	1	2			1	2	3	1	2	1	2	1	2						
INDICADOR	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2				
% alcanzado	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A				

Tabla 14. Resultados de la evaluación de los atributos en el periodo 2021-1

 ISSN: 2007 8102

CRITERIO DE DESEMPEÑO	PERIODO 2021-1																									
	AE1				AE2			AE3				AE4			AE5		AE6		AE7							
CD	1	2		3	1	2	3	1	2			1	2	3	1	2	1	2	1	2						
INDICADOR	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2				
% alcanzado	A	R	R	A	A	A	A	R	R	R	R	A	A	A	A	A	A	A	R	R	R	R				

Tabla 15. Resultados de la evaluación de los atributos en el periodo 2021-3

CRITERIO DE DESEMPEÑO	PERIODO 2021-3																									
	AE1				AE2			AE3				AE4			AE5		AE6		AE7							
CD	1	2		3	1	2	3	1	2			1	2	3	1	2	1	2	1	2						
INDICADOR	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2				
% alcanzado	A	R	R	A	A	A	A	R	R	R	R	A	A	A	A	A	A	A	R	R	R	R				

Trabajo a futuro

Se recomienda evaluar el aporte de la residencia profesional a los Atributos de Egreso (AE) del programa educativo en un tiempo diferente al confinamiento por Covid-19, de manera que pueda hacerse un comparativo, ya que esto permitirá a los estudiantes desarrollar esta actividad del plan curricular con proyectos derivados de las necesidades del sector industrial, desarrollados fuera de la institución.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, los valores más bajos corresponden a la evaluación del AE6 y el AE7, como se muestra en la Figura 1. Se requiere impulsar a los residentes para que fundamenten sus proyectos en acciones que impacten de manera positivamente a la sociedad y a su medio ambiente (AE7).
Se debe apoyar a los alumnos a tomar más cursos de actualización que se han propuesto en la academia de Metal-Mecánica; por ejemplo: el de acreditación de SolidWorks. (AE6)

A pesar de las dificultades presentadas por desarrollar el proyecto de residencia por los estudiantes en casa y siendo asesorados de manera virtual, puede observarse que se logro el objetivo y aportó a todos los Atributos de Egreso (AE) del plan de estudios de Ingeniería Mecatrónica. Durante el periodo del 2019 al 2021.

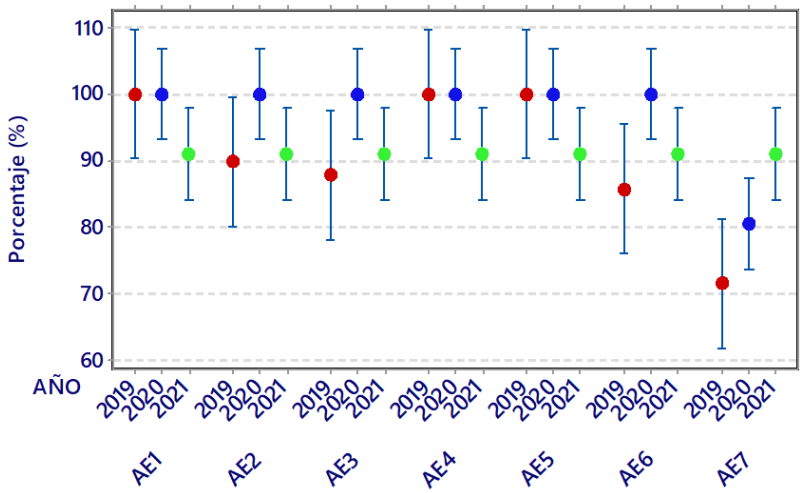


Figura 1. Resultado final de la evaluación de los AE

Agradecimientos

Agradecimientos a los miembros de la alta dirección del TecNM campus Matamoros por el apoyo para el desarrollo de este trabajo de investigación.
A los docentes que forman parte de la Academia de Metal-Mecánica del ITM por su esfuerzo y continuar con el servicio educativo desde su casa durante el confinamiento por Covid-19.
A todos los asesores de los diferentes proyectos de residencias que llevaron por buen camino el desarrollo y conclusión de estos durante este difícil periodo de tiempo.

Referencias

[1] Barrera, A. (2018). Marco de Referencia 2018 del CACEI en el contexto internacional (Ingenierías). *Recuperado de: http://www. cacei. org. mx/nvfs/nvfs02/nvfs0210. php*.

[2] Dirección General de Educación Superior Tecnológica (DGEST). (2010b). *Lineamientos académicoadministrativos, versión 1.0*. México: Autor Recuperado de http://tecnm.mx/academica/normateca-de-la-direccion-de-docencia

[3] Dirección General de Educación Superior Tecnológica (DGEST). (2012). *Modelo educativo para el siglo XXI: Formación y desarrollo de competencias profesionales*. México: Autor Recuperado de http://www.itmexicali.edu.mx/informacion/modelo_educativo.pdf

[4] González, M. G. A., Hermosillo, C. A. O., & Figueroa, G. R. Capítulo 17. Recursos didácticos generados para cubrir necesidades educativas virtuales en Educación Superior. *RELEP. Educación y pedagogía en Latinoamérica. 2022.*, 230.

[5] Hermosillo, C. A. O., González, M. G. A., & Martínez, M. D. C. V. (2021). ESTRATEGIAS ACADÉMICO-ADMINISTRATIVAS EN EL SERVICIO EDUCATIVO VIRTUAL PARA NIVEL SUPERIOR EN TIEMPOS DE PANDEMIA. *ANFEI Digital*, (13).

[6] Hermosillo, C. A. O., Martínez, M. D. C. V., Castillo, Z. T., & Ramos, D. G. R. Capítulo 7. Los grupos de interés y su participación en el proceso de acreditación en programas educativos de Ingeniería. *Educación y Pedagogía en Latinoamérica 2021*, 95.

[7] Tecnológico Nacional de México (2010b). Planes y programas 2009-2010. Recuperado de: https://www.tecnm.mx/docencia/planes-de-estudio-2009-2010

[8] Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica AÑO 6. No. 6. ISSN-2448-7236. SEPTIEMBRE 2021 – AGOSTO 2022. O-01, pág.: 1 a la 10

[9] R. Carvacho, J. Morán-Kneer, C. Miranda-Castillo, V. Fernández-Fernández, B. Mora, Y. Moya, & C. Valdivia, *"Efectos del confinamiento por COVID-19 en la salud mental de estudiantes de educación superior en Chile."* Revista médica de Chile, Vo. *149*, no. 3, pp. 339-347, 2021.

[10] M. T. Mamani, N. O. Z. Payi, & L. V. Machicao, "*Ansiedad y estrés en la educación virtual en el periodo de emergencia sanitaria por el COVID-19."* Revista científica de sistemas e informática, Vo. *1*, no. 2, pp. 27-37, 2021.

[11] L. E. Macías-Rodríguez, & J. G. Loor-Chancay, "*Efectos del COVID-19 en la educación superior y la subsecuente aplicación de ambientes de aprendizaje virtual."* Revista Científica Multidisciplinaria SAPIENTIAE. Vo*. 4*, no. 7, pp. 64-76, 2021.

[12] E. Baleriola, & T. Contreras-Villalobos, *"La educación virtual no es buena ni mala, pero tampoco es neutra. Algunos apuntes sobre los efectos de la COVID-19 en educación."* Sociología y tecnociencia, vo.11*,* pp. 209-225, 2021.

[13] C. Ruiz-Frutos, & J. Gómez-Salgado, "*Efectos de la pandemia por COVID-19 en la salud mental de la población trabajadora."* Archivos de Prevención de Riesgos Laborales, vo. *24* no. 1, pp. 6-11, 2021.

[14] C. R. Mackay-Castro, B. V. León-Palacios, & H. A. Zambrano-Noboa, "*Efectos del Covid-19 en el mercado laboral."* Domino de las Ciencias, vo. *6*, no. 3, pp. 1368-1381, 2020.

Madero Gómez, S., Luengo Martínez, C. E., & Alvarado de Marsano, L. S. (2021). Efectos del estrés y el bienestar laboral con el trabajo a distancia en el entorno del COVID-19: México, Perú y Chile.

[15] J. J. Huallpa, J. P. F. Arocutipa, & L. E. F. Sosa, (2022). "*Efectos del coronavirus Covid-19 en el empleo y los ingresos familiares en sur del Perú*," Revista Venezolana de Gerencia: RVG, vo. *27*, no. 97, pp. 299-318, 2022.

[16] S. L. Chaguay, R. R. Galeas, & L. A. L. Chaguay, "*Desempleo en tiempos de covid-19: efectos socioeconómicos en el entorno familiar*." Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación, vo. *5*, no. 4, pp.187-197, 2020.

[17] D. E. Rojas, P. G. Espinoza, & L. R. Osiac, "*La alimentación en tiempos de pandemia por COVID-19."* Revista Chilena de Salud Pública, pp. 110-122, 2020.

[18] K. Marx, El Capital, vo. 1, 1867.

[19] R. M. Marini, Dialéctica de la dependencia. México: Serie Popular Era Ediciones. 1973.

[20] D. Proenza González, L. de la Paz Castillo, A. González Moya, & E. Bonilla Bueno, "*La categoría Dependencia en Ruy Mauro Marini. Análisis de su obra "Dialéctica de la Dependencia" del año 1973*." Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina, vo. 7, no. 3, 2019.

[21] J. Butler, Precarious Life. The Powers of Mourning and violence. Verso. London New York, 2023.

[22] G. Standing, "*Understanding the precariat through labour and work*." Development and change, vo. *45* no.5, pp. 963-980, 2014.

[23] G. Standing, "*The corruption of capitalism: Why rentiers thrive and work does not pay*." Biteback Publishing. 2021.

[24] R. Sennett, "*The corrosion of character: The personal consequences of work in the new capitalism*." WW Norton & Company. 1998.

[25] R. Sennett, La cultura del nuevo capitalismo. Prensa de la Universidad de Yale. 2007.

[26] R. Castel, Les métamorphoses de la question sociale, Gallimard, París. 1995.

[27] S. Sassen, Expulsiones: Brutalidad y complejidad en la economía global. 2014.

[28] G. F. Thompson, La economía política del sector informal en los países en desarrollo, 2009.

[29] J. Mann, "*Epidemiología mundial del SIDA."* El impacto global del SIDA. Nueva York, Estados Unidos: Alan Riss. 1988.

[30] R. Castel, "*De la exclusión como estado a la vulnerabilidad como proceso. Archipiélago*." Vo. *21* no. 2, 1995.

[31] M. Valdés Gázquez, Vulnerabilidad social, genealogía del concepto. DIgibug. Universidad de Granada. España, 2021.

[32] A. Sen, Poverty and Famines. Oxford, Clarendon Press. 1981.

[33] B. Bloom, D. Max, J. Edward, H. Hill, D. R. Krathwohl, Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals Engelhart, Furst, McKay Co Inc. 1956.

[34] J. Biggs, C. Tang, Teaching for Quality Learning at University. Society for Research into Higher Education & Open University Press, 2011

[35] J. Robert Sternberg, Inteligencia exitosa: cómo la inteligencia práctica y creativa determinan el éxito en la vida Autor: Editorial: Plume, 1996.

[36] H. Gardner, "Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences Estructuras de la Mente: La Teoría de las Años Inteligencias Múltiples, Editorial Basic Books, 1983.

[37] C. S. Dweck, Mindset The New Psychology of Success Mindset. La Nueva Psicología del Éxito. Editorial Ballantine Books, 2006.

[38] A. Bandura, Self-Efficacy: The Exercise of Control. WH Freeman and Company 1997.