

RIIM Vol. 1, No. 2 Diciembre 2024
<http://orizaba.tecnm.mx/revistaajs>

Revista científica publicada por el
TecNM - Tecnológico Nacional de México
ITO - Instituto Tecnológico de Orizaba
DEPI - División de Estudios de Posgrado

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



RIIM REVISTA INTERNACIONAL DE
INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA

El TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba a través de la División de Estudios de Posgrado e Investigación invita a la comunidad académica, científica, profesional y estudiantil a someter manuscritos de trabajos de investigación originales en la Revista Internacional de Investigación Multidisciplinaria.

OBJETIVO DE LA RIIM

Difundir los avances en la producción científica y tecnológica en el campo de la Ingeniería originales con la finalidad de promover, generar y desarrollar el conocimiento entre las distintas disciplinas que comprenden a este campo de estudio.

DESCRIPCIÓN

La RIIM es un medio para presentar trabajos originales o contribuciones inéditas, en algunas de las áreas de incidencia; resaltando el trabajo multidisciplinario.

REVISTA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA, número 2, noviembre – diciembre 2024, es una publicación semestral editada por el Tecnológico Nacional de México, Avenida Universidad 1200, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03330, teléfono 5536002511 Ext. 65092, correo d_vinculacion05@tecnm.mx, a través del Instituto Tecnológico de Orizaba, Avenida Oriente 9 no. 852 Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320. Orizaba, Veracruz, México. Contacto: 272 110 5360, riim.responsable.general@ito-depi.edu.mx, <http://orizaba.tecnm.mx/revistaojs>. Editor Responsable: Eduardo Mael Sánchez Coronado. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2023-091910590800-102, ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, División de Estudios de Posgrado, Ofelia Landeta Escamilla, Avenida Oriente 9 no. 852 Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320. Orizaba, Veracruz, México. Fecha de la última modificación: 18 de octubre de 2024.

Queda prohibida la reproducción total o parcial en cualquier medio, del contenido de la presente revista electrónica, sin contar con la autorización del Instituto Tecnológico de Orizaba.

COMITÉ EDITORIAL**Dra. Ofelia Landeta Escamilla**
Responsable Generalriim.responsable.general@ito-depi.edu.mx**Dr. Fernando Ortiz Flores**
Responsable Técnicoriim_soporte@orizaba.tecnm.mx**Dr. Eduardo Mael Sánchez Coronado**
Editor en jeferiim.editor@ito-depi.edu.mx**Dra. Araceli Ortiz Celiseo**
Responsable de Ing. Químicariim.quimica@ito-depi.edu.mx**Dr. Víctor Ricardo Castillo Intriago**
Responsable de Ing. Administrativariim.administrativa@ito-depi.edu.mx**Dra. Ma. Eloísa Gurruchaga Rodríguez**
Responsable de Ing. Industrialriim.industrial@ito-depi.edu.mx**Dr. José Luis Sánchez Cervantes**
Responsable de Sistemas Computacionalesriim.sistemas@ito-depi.edu.mx**Dra. María G. Balderrábano Saucedo**
Responsable de Investigación Educativariim.educativa@ito-depi.edu.mx**Dr. Ignacio Herrera Aguilar**
Responsable de Ing. Mecánica y Mecatrónicariim.mecatronica@ito-depi.edu.mx**Dr. Gerardo Águila Rodríguez**
Responsable de Ing. Eléctrica y Electrónicariim.electronica@ito-depi.edu.mx**Dr. Miguel Josué Heredia Roldán**
Responsable de Logísticariim.logistica@ito-depi.edu.mx**Dr. Mauricio Romero Montoya**
Responsable de Logística Técnicariim.logistica.tecnica@ito-depi.edu.mx**MC. Enrique Alejandro Cuellar Cortes**
Webmasterriim.webmaster@ito-depi.edu.mx**Dr. Guillermo Alfredo Arrijoja Carrera**
Diseño de Portada

ÍNDICE

- | | | |
|-----------|---|---------------|
| 1 | Transferencia de calor por el uso de insertos en un Serpentin de intercambiador de calor agua-aire
<i>Flores-Lara, Vicente, Bedolla-Hernández, Jorge, Sánchez-Flores, Efrén, Bedolla-Hernández, Marcos.</i> | 7-16 |
| 2 | Estudio de la atención al cliente en los restaurantes de la zona de Zacapoaxtla, Puebla
<i>Mejía-Méndez Guillermo, Lara- De La Calleja, Marco Antonio, Gutiérrez-Luna Sonia, Marín-López Juan Fernando.</i> | 17-26 |
| 3 | Aplicación de IAG en la docencia e investigación en Ingeniería
<i>Medina Aguirre, Julio César, Rodríguez Loo, Roxana Michelle, Ibañez Acevedo, Yidanes Alejandra, Castillón Barraza, Acela, Quiñonez Moreno, Thalia.</i> | 27-36 |
| 4 | Implementación del ciclo Deming en el área de producción de Antígenos de una empresa productora de vacunas
<i>Valdés-Álvarez Alejandra C., Calderón-Jiménez Antonio, Méndez-Rivera Caín, Hernández- Sánchez Luis A., González-González Eric.</i> | 37-48 |
| 5 | Reducción de tiempos de preparación en maquinaria de Cajaplex S. A. Con la metodología SMED
<i>L. A. Hernández Sánchez; A. Calderón Jiménez, A. C.; Valdés Álvarez C. Méndez; Rivera E. González González.</i> | 49-60 |
| 6 | Optimización de almacenes con media ponderada y técnicas de localización discreta
<i>Calderón Jiménez Antonio; Hernández Sánchez Luis A.; Méndez Rivera Caín; Valdés Álvarez Alejandra C.; González González Eric.</i> | 61-70 |
| 7 | Sistema para la trazabilidad y control de compras en una empresa textil
<i>Lara Martínez José Jair; Báez Senties Oscar; Gurruchaga Rodríguez Ma. Eloísa; Heredia Roldán Miguel Josué.</i> | 71-80 |
| 8 | Proceso tecnológico para elaboración de plantas Ornamentales en Atlixco, Puebla
<i>L. Martínez Zacatenco; F. Olvera Torres.</i> | 81-87 |
| 9 | Análisis de reducción de costos por consumo Energético de un sistema de ventilación de obra Subterránea
<i>Baltazar-Vera, Juan Carlos, Patlán-Valdez, Jesús Enrique, Rodríguez-Rodríguez, Carolina De Jesús, Ontiveros-Ibarra, Roberto, Valtierra-Olivares, Joel Everardo.</i> | 88-95 |
| 10 | Comparativa de tecnologías de captura de huellas de edificios para el análisis de la movilidad humana en contextos urbanos
<i>Erick Cervantes-Mendieta; M. Estévez Dorantes Thelma Leonor; Panzi Utrera Manuel; Vázquez Trujillo Cesar Roberto; Venegas García José Alberto; Colohua Castillo Cutberto.</i> | 96-105 |

- | | | |
|-----------|---|----------------|
| 11 | Análisis de betalainas, polifenoles y actividad Antioxidante en bebidas de jugo de pitaya y quinoa Fermentadas con Lactobacillus Plantarum
<i>Martínez-Morán Miriam De Lourdes; Paz-Gamboa Ernestina; Vivar-Vera María De Los Angeles; Pérez-Silva Araceli.</i> | 106-116 |
| 12 | Implementación de IIOT y telemetría para el seguimiento de variables de suministro de gas Natural en la industria empleando una aplicación Móvil
<i>Jurado Bichir Lorena; Ojeda Nuñez Iveth; Ramírez Sánchez Víctor; Gutierrez Montoya Eduardo; Carreón Guevara Manuel.</i> | 117-126 |
| 13 | Biorremediación de aguas con hidrocarburo y producción de voltaje en dispositivo Bioelectroquímico
<i>Oliva Campos Andy D.; Córdova-Bautista Yolanda; Ojeda Morales Marcia E.; Díaz Flores Laura L.; López Lázaro Jose D. S.</i> | 127-137 |
| 14 | Análisis de datos mediante herramientas tecnológicas para campañas digitales de una compañía inmobiliaria
<i>Mireles Jiménez Gilberto; Escalante Euán Jesús Francisco; Chan Pavón Miriam Victoria; Santos Flores Jorge.</i> | 138-147 |
| 15 | Restauración biológica de un suelo contaminado con petróleo mediante la aplicación de un hongo petrofilico productores de biosurfactante
<i>López-Pérez, Perla, Ojeda-Morales, Marcia E., Hernández-Rivera, Miguel A., Gómez-Jiménez, Sulma G., Córdova-Bautista, Yolanda.</i> | 148-157 |
| 16 | Producción mejorada de Bioetanol a partir de biomasa de Eichhornia Crassipes aplicando campos magnéticos
<i>May-Rodríguez Keyla Madaí, Ojeda-Morales Marcia E., García-Frías Fatima, López-Lázaro José De Los Santos, Cruz-Pérez Alida E.</i> | 158-166 |
| 17 | Espectroscopía atr-ftir y de correlación Bidimensional (2dcos) aplicada a la caracterización de materiales lignocelulósicos
<i>contreras-quiñones héctor jesús, Andrade-Ortega Jesús Ángel, Ramírez-Barragán Carlos Alberto, Díaz-Ramos Sara Gabriela, Rodríguez-Rivas Antonio.</i> | 167-176 |
| 18 | Análisis de la cultura organizacional para la adopción de Estrategias en las PYMES de las altas montañas, Veracruz.
<i>Flores García Estela (M.i.), Caballero Guillaumín María Enriqueta (Dra.), Herrera González Gracia Aida (Dra.), Amador Angón Liliana (Dra.), Ramírez Robles Luis Aarón (Mtro.).</i> | 177-186 |
| 19 | Remoción de Hidrocarburo en un suelo de manglar en el Estado de Tabasco
<i>Fuentes-Domínguez Irene B, Ojeda-Morales Marcia E., Morales-Bautista Carlos M., Córdova-Bautista Yolanda., Morales-López Karla C.</i> | 187-195 |
| 20 | Implementación de lean SIX SIGMA en atención al Cliente en la microempresa "conexión total"
<i>Paxtían-Méndez, Gerardo, Posadas-Trejo, Carlos Romeo.</i> | 196-208 |

- | | | |
|-----------|--|----------------|
| 21 | Hongos Extremófilos aislados de nixtamal con Potencial biotecnológico
<i>Saavedra-Cruz Nubia; Cruz-Leal Miriam S.; Rivas Moreno Frida K.; Vidal-García Gabriela; Aguilar-García Eric.</i> | 209-217 |
| 22 | Aprendizaje basado en problemas mediante el uso de CHATGPT en la asignatura de informática y programación
<i>Saavedra-Cruz Nubia; Cruz-Leal Miriam S.; Rivas Moreno Frida K.; Vidal-García Gabriela; Aguilar-García Eric.</i> | 218-227 |
| 23 | Evaluación de los objetivos educacionales del Programa de estudio de ITICS's
<i>García-Belmont Reyna; Calderón-García Erika Concepción; Puente-Pérez María Del Consuelo; Ríos- Caballero Eliezer; Rodríguez-López Marcela.</i> | 228-238 |
| 24 | Impacto del aprendizaje basado en proyectos en materias de física para estudiantes de Ingeniería
<i>Palomino-Rojas Luis A.; Galindo-López Víctor; García-Cruz José A.; Zenteno-Mateo Benito, Saavedra-Cruz Nubia.</i> | 239-248 |
| 25 | Evaluación de riesgos ergonómicos de una estación de trabajo mediante el método RULA
<i>Rodríguez-Bustos Norma; Ríos-Barreto Adrian.</i> | 249-257 |
| 26 | Marketing digital y posicionamiento de marca en una empresa de servicios en Coatzacoalcos, Veracruz
<i>Antonio-Pacheco Belizario; Ordaz-Hernández Mónica Berenice, Sainz-Barajas Ma. Teresa De La Luz; Chiñas-Valencia Juan José; Bautista-Antonio Yeni Feranda.</i> | 258-266 |
| 27 | Aplicación de hoja de ruta bajo economía circular en la industria metalmeccánica: Caso México
<i>Flores Galindo Diana; Gil Herrera Richard de Jesús.</i> | 267-283 |
| 28 | Chatbots como herramienta didáctica en la enseñanza de la programación para estudiantes de nivel licenciatura
<i>Montes-Almanza Ma. Elena; Montes-Almanza María Luisa; Frias-Maldonado Ma. Del Consuelo; Guzmán-Rivera Miguel Ángel; Ramírez Pedro Celestino.</i> | 284-293 |
| 29 | Implementación de Criptografía asimétrica de firma electrónica mediante sistema web
<i>Viramontes Rodríguez Luis Alfonso; García Castañón Alfredo; Torres Hernández Luis Eduardo; Márquez Martínez Luis Enrique; Reyes Rodríguez José Antonio.</i> | 294-304 |
| 30 | Análisis de la enseñanza en el sistema de referencia Cartesiano
<i>Wilmar Epifanio Gómez Moyano, José Andrés castillo Hernández</i> | 305-317 |

TRANSFERENCIA DE CALOR POR EL USO DE INSERTOS EN UN SERPENTÍN DE INTERCAMBIADOR DE CALOR AGUA-AIRE

Flores-Lara, Vicente*, Bedolla-Hernández, Jorge, Sánchez-Flores, Efrén, Bedolla-Hernández, Marcos
¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Apizaco, Carretera Apizaco-Tzompantepec. Esq. Con Av. Instituto Tecnológico S/N, conurbado Apizaco Tzompantepec, CP 90300, Tlaxcala, México.

*Autor contacto: fl17u2@yahoo.com

Área de participación: **Ingeniería Mecánica y mecatrónica**

Resumen

Se presenta el estudio teórico experimental de el efecto de adherir insertos en la superficie interna de un serpentín de intercambiador de calor, el serpentín es asimétrico colocado en el interior de un depósito de agua caliente, los insertos son placas metálicas rectangulares colocados de forma alternada. A partir de datos experimentales se obtiene el factor de fricción al mismo tiempo que se generan correlaciones empíricas del factor de fricción basado en la relación de rugosidad (e/D) y de paso (h/D) para obtener la longitud de los insertos y la separación entre ellos, que arroje la máxima capacidad de transferencia de calor. Se obtiene Nusselt máximo con las correlaciones empíricas y se compara con valores reales del serpentín, así como, considerando que el serpentín es liso, los valores promedio son, $Nu_i=659$, $Nu_r=149$ y $Nu_t=69.5$, respectivamente. Lo cual verifica que el uso de insertos es significativo en la transferencia de calor.

Palabras clave: insertos, fricción, transferencia, calor

Abstract

The experimental theoretical study of the effect of adhering inserts to the internal surface of a heat exchanger coil have presented. The coil is asymmetrical placed inside a hot water tank, the inserts are rectangular metal plates placed alternately. From experimental data, the friction factor have obtained at the same time that empirical correlations of the friction factor are generated based on the roughness ratio (e/D) and pitch (h/D) to obtain the length of the inserts and the separation between them, which provides the maximum heat transfer capacity. Maximum Nusselt is obtained with the empirical correlations and compared with real values of the coil, as well as, considering that the coil is smooth, the average values are, $Nu_i=659$, $Nu_r=149$ and $Nu_t=69.5$, respectively. Which verifies that the use of inserts is significant in heat transfer.

Key words: inserts, friction, transfer, heat

Introducción

En el área de la transferencia de calor las propiedades físicas del fluido empleado, así como, la geometría del conducto y su configuración con el fluido son aspectos que deben considerarse en el momento de evaluar el desempeño de equipos de transferencia de calor, en esa evaluación la eficiencia energética es un parámetro a determinar. En este sentido se han propuesto técnicas pasivas como lo son, las obstrucciones a través de nervaduras, insertos e incluso la modificación de la rugosidad de forma artificial, que aumentan el factor de fricción mejorando la transferencia de calor en elementos de equipos de transferencia de calor, estas técnicas en el sector industrial han tenido gran aceptación por el ahorro tanto energético, como económico, sin embargo, atención especial debe tenerse al aumentar el factor de fricción, ya que al mismo tiempo se aumenta la caída de presión, lo cual demanda mayor energía en los equipos que accionan el fluido [1] [2] [3].

En este contexto, un caso referente por el amplio rango de valores de los parámetros significativos en el que se realizó el estudio, se presenta en [4], aquí se evaluó el factor de fricción y transferencia de calor en un flujo turbulento en un conducto rectangular con paredes nervadas, dónde experimentaron con 3 geometrías diferentes, semicircular, rectangular y una hibridación entre ambas, durante sus experimentos mantuvieron el número de Reynolds 12500 hasta 86500 y una relación del paso y altura de la nervadura 6.6 hasta 53.3, los autores encontraron que con la hibridación de las nervaduras obtienen valores más altos de eficiencia en comparación con los otros 2 casos, para determinar el factor de fricción, se determina relacionado el número de Reynolds y relación entre el paso y la altura de nervadura (pé).

Un caso de estudio, donde se pone en consideración la mejora en la transferencia de calor sin un aumento significativo en la caída de presión, es el trabajo experimental en donde se colocan longitudinal, insertos en forma de cinta retorcida con orificios en el interior de un serpentín, unos de los parámetros a analizar es la variación del diámetro del orificio en la cinta [5], con lo cual, se tiene control en la caída de presión y es significativo el aumento de la transferencia de calor. Otro caso, es el estudio numérico del comportamiento termohidráulico de tuberías con insertos cónicos, en el que se obtiene un aumento en el factor de fricción cercano a 10 veces mayor y hasta 5 veces mayor en el número de Nusselt, comparado con tuberías lisas [6].

En [7] se estudia la transferencia de calor para nervaduras helicoidales en tubos circulares en función del factor de fricción, para tres valores de altura de nervadura y tres valores de paso de nervadura. Los autores estudian nervaduras rectangulares en tuberías, representando la transferencia de calor mediante el número de Stanton en función del factor de fricción para diferentes relaciones altura diámetro y paso diámetro, también se estudia el efecto que se tiene en la transferencia de calor el ángulo de ataque, del flujo de aire a la nervadura.

El uso de obstrucciones de flujo, como nervaduras o insertos han tenido aplicación en sistemas solares para calentamiento de aire, en donde derivado de la aplicación del equipo, su geometría difiere de ser circular o cuadrada, siendo la relación de aspecto, la geometría, dimensiones y configuración, consideraciones que en conjunto deben considerarse para la evaluación térmica de estos dispositivos. En [8] se estudian nervaduras en arco con diferente configuración, en un rango de número de Reynolds de 2000 a 16000. Con ello se obtuvieron números de Nusselt 3 veces mayor comparado con una superficie sin obstrucción. Otro caso de estudio en el que se consideran nervaduras para evaluar el desempeño de calentadores solares de aire, se presenta en [9]. Aquí se estudia una geometría de nervadura en V, con variación en el ángulo de ataque con el que incide el flujo, y diferentes relaciones en el tamaño y separación de nervadura, con respecto al diámetro hidráulico, así como, para un rango de número de Reynolds entre 4000 y 18000. Se obtiene que el

número de Nusselt y el factor de fricción aumentan 3.6 y 3.67 veces respectivamente comparado a cuando el conducto se opera sin nervaduras.

Con base en lo anterior, es evidente que el uso de insertos como medios pasivos mejoran en gran medida la transferencia de calor, siendo de relevancia su aplicación para el aumento del desempeño en equipos de transferencia de calor, sin embargo, por la complicación técnica de adherir elementos en la superficie interna de conductos, esta técnica en su mayoría se ha hecho en equipos de dimensiones industriales, dejando al lado la aplicación en el manejo de energía de baja escala, principalmente en espacios reducidos o en el diseño de equipos compactos.

Fundamento teórico

En la transferencia de calor que involucra flujo de fluidos es representativa la magnitud del factor de fricción, que involucra desde características geométricas del conducto, hasta condiciones físicas del fluido.

$$f = \frac{\Delta P}{4(L/D_h)(G^2/2\rho g)} \quad (1)$$

$$G = \rho V$$

Para determinar el factor de fricción para tubería lisa existen diferentes propuestas de ecuaciones, sin embargo, la más utilizada es la de Petukhov, expresada en función del número de Reynolds

$$fs = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad 3000 \leq Re \leq 106 \quad (3)$$

En el caso del número de Nusselt se proponen la correlación de Gnieliski y de Dittus-Boelter cuando el fluido es calentado, ambas, ampliamente usadas ecuación 4 y ecuación 5, respectivamente.

$$Nu_s = \frac{(fs/8)(Re-1000) Pr}{1.07+12.7(fs/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \quad (4)$$

$$Nu_s = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} \quad (5)$$

Sistema experimental

Se construyó un serpentín asimétrico de 5 pasos con distribución en cruz, figura 1, con el propósito de tener la mejor distribución geométrica dentro de un recipiente cilíndrico. El serpentín está construido de lámina de acero, calibre 20, con diámetro de 0.0594 m y longitud de 5.3 m, en su interior se soldaron insertos rectangulares para provocar turbulencia en el flujo. Los insertos son de lámina galvanizada calibre 20, de 0.003 m de longitud, 0.0025 m de ancho y 0.0012 m de espesor,

dispuestos transversales al flujo de forma alternada, uno en la superficie inferior, otro en la superficie superior, con distancia de separación entre uno y otro de 0.15 m. El recipiente cilíndrico es de acero galvanizado aislado térmicamente, con una capacidad de 0.188 m³ de almacenamiento de agua caliente. Las pruebas inician con el depósito lleno de agua caliente ~80°C, en la entrada del serpentín se dispone de un ventilador axial que induce al flujo de aire a través del serpentín. El aire se hace fluir a través del serpentín mediante un ventilador de velocidad variable con temperatura de entrada igual a la del ambiente, registrándose presión P1 y temperatura T1, en la salida se registra la presión P2, temperatura T2 y velocidad Ub del fluido. La temperatura del agua caliente se monitorea en T4 y T5, la temperatura de la pared del serpentín en el interior del depósito también se registra T3. El rango de velocidad corresponde a valores de Reynolds $10133 \leq Re \leq 66116$, propios para satisfacer demandas de energía térmica en procesos de deshidratación.

Las pruebas se realizaron durante 10 horas continuas con registros cada 20 minutos, cada prueba corresponde a un flujo másico y corresponde a una diferencia de presión. Los instrumentos se describen en la tabla 1. En la figura 1 se indica la posición de los instrumentos de medición. En la tabla 2, se presentan los datos de las pruebas realizadas.

Tabla 1. Instrumentos de medición

Cantidad física	Instrumento	Punto de medición	Precisión
Velocidad del aire	Anemómetro SLD 300	Entrada y salida del serpentín	$\mp(2\% \text{ rdg} + 0.2 \text{ m/s})$
Temperatura	Termómetro SLD 200 Termopares tipo J	Entrada y salida del serpentín. En el agua caliente del termotanque	$\mp(0.4\% + 1^\circ\text{C})$
Presión del fluido	Manómetro diferencial con tubo de pitot HD 350	Entrada y salida del serpentín	$\pm 0.3\%$ escala total. (escala total) a 25 °C

p1: presión del aire en la entrada
 p2: presión del aire en la salida
 T1: temperatura del aire en la entrada
 T2: temperatura del aire en la salida
 T3: temperatura de la pared del serpentín
 T4,T5: temperaturas del agua en el depósito
 Ub : velocidad de flujo de aire

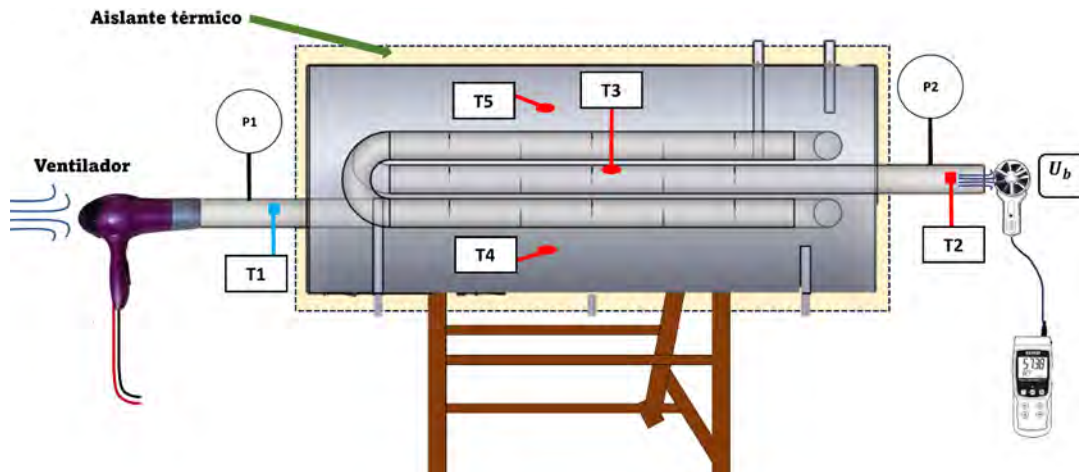


Figura 1. Sistema experimental

Tabla 2. Datos de flujo másico y la diferencia de presión entre entrada y salida del serpentín

No. Prueba	\dot{m} (kg/s)	ΔP (Pa)
1	0.008978	34
2	0.01035	45
3	0.01218	59
4	0.01331	72
5	0.01423	81
6	0.01502	88
7	0.02083	164
8	0.02119	171
9	0.0277	309
10	0.0343711	704
11	0.04961478	1455
12	0.05518147	1782

Resultados y discusión

La caída de presión en función de la velocidad es el resultado de las pruebas experimentales, graficado en la figura 1. Tomando la ecuación de Darcy, ec. (1) y dimensiones de la tubería, se genera el factor de fricción que corresponde al rango de Reynolds $10133 \leq Re \leq 30824$, figura 2. La diferencia de presiones depende del tamaño del inserto, de la configuración entre insertos y de las dimensiones de la tubería, por lo que, tomando como referencia los valores del factor de fricción obtenidos de forma experimental, pueden derivarse correlaciones como las indicadas en ec. 6 y ec. 7 que determinan el factor de fricción de forma empírica, se grafica en la figura 2, comparándose con la gráfica experimental a modo de validación, siendo el máximo error porcentual entre las dos graficas del 7.8%.

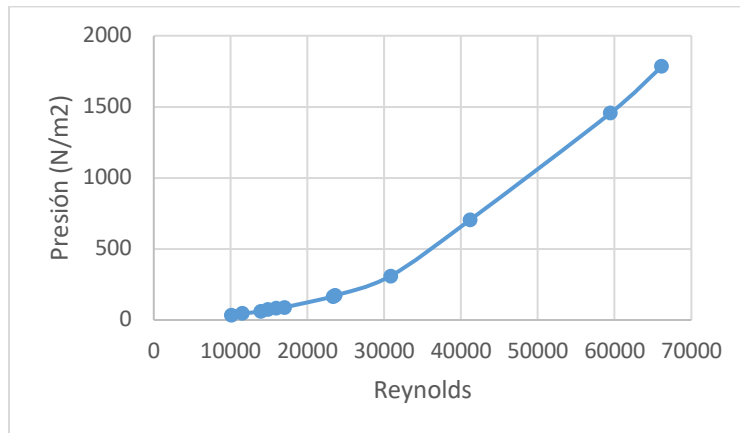


Figura 2. Caída de presión a través del serpentín

$$f_e = \left(\frac{h}{D_i}\right)^{1.57} \cdot \left(\frac{P}{D_i}\right)^{-1.25} \cdot Re^{-0.176} \quad 10133 < Re < 30824 \quad (6)$$

$$f_e = \left(\frac{h}{D_i}\right)^{1.4765} \cdot \left(\frac{P}{D_i}\right)^{-1.1565} \cdot Re^{-0.0825} \quad 41182 < Re < 66116 \quad (7)$$

Donde;

- f_e : Factor de fricción
- h : Altura del inserto (m)
- P : Paso entre insertos (m)
- D_i : Diámetro interno del serpentín (m)
- Re : No. de Reynolds

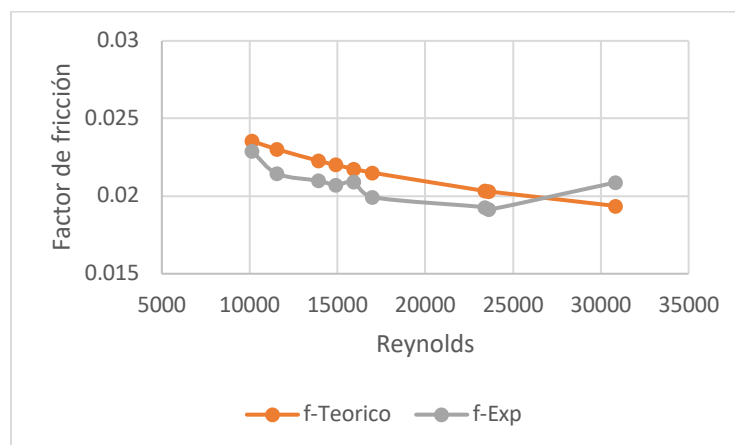


Figura 3. Factor de fricción experimental y empírico

Se validan una vez más los resultados de las correlaciones del factor de fricción a partir de obtener el número de Nusselt de datos experimentales y empíricos como representación de la capacidad de transferencia de calor, ambos se grafican en la figura 3 para analizar la discrepancia entre un caso y el otro, siendo la mayor de 8.4%

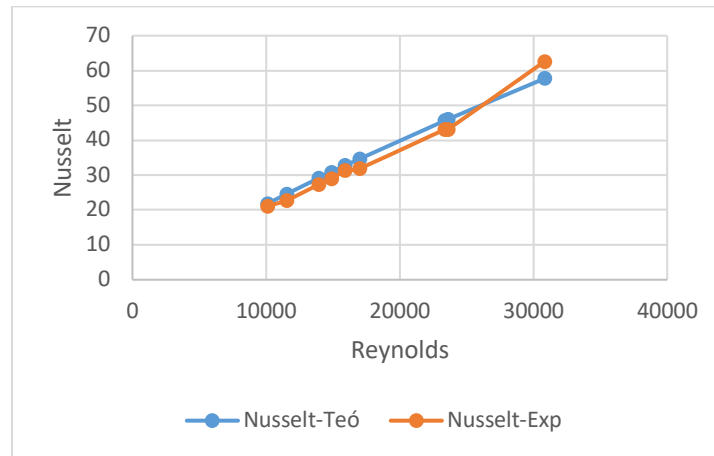


Figura 4. Nusselt empírico vs experimental.

Hecha la validación de la correlación del factor de fricción y número de Nusselt, se busca la mejor relación e/D y p/D con base en el mayor Nusselt resultante, para lo cual se toma un rango del número de Reynolds entre 11712 y 36500. Para asignar los valores a las relaciones e/D y p/D , se tomaron dos valores inferiores y dos superiores a las relaciones originales. La figura 3 y la figura 4 muestran que con las relaciones $e/D = 0.75$ y $p/D = 0.7$ se obtiene el mejor valor de Nusselt que correspondería a las mejores dimensiones y configuración de los insertos.

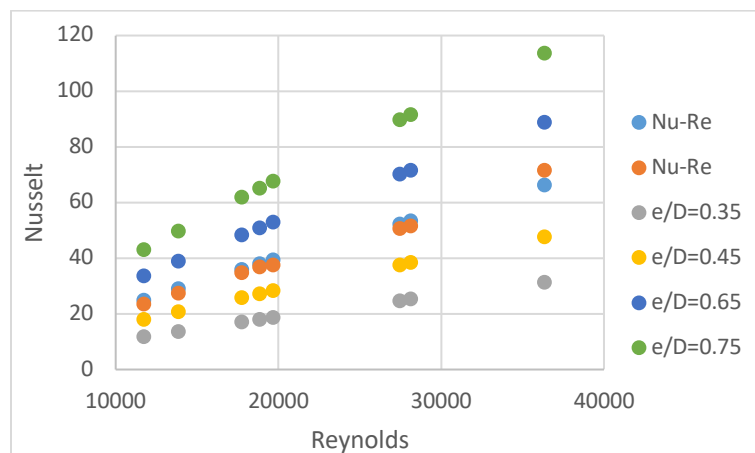


Figura 4. Nusselt vs Reynolds en función de la relación e/D

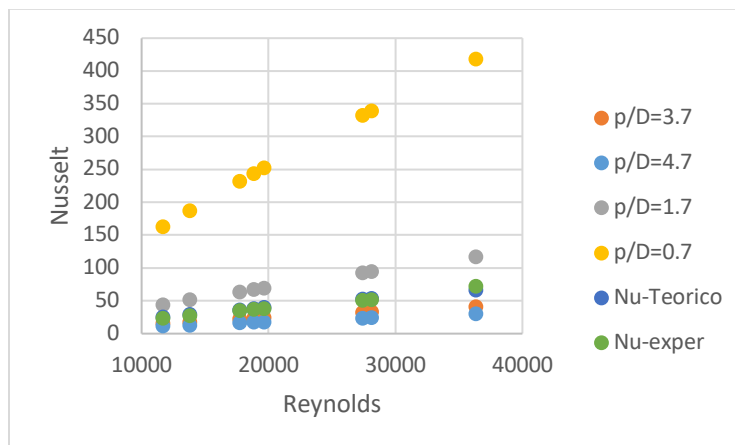


Figura 5. Nusselt vs Reynolds, en función de la relación p/D

Combinando los mejores resultados de la relación e/D y p/D, se obtienen los valores de Nusselt y se compara con los valores de Nusselt obtenidos a partir de información experimental, figura 7, para un rango de Reynolds, $11712 < Re < 36500$

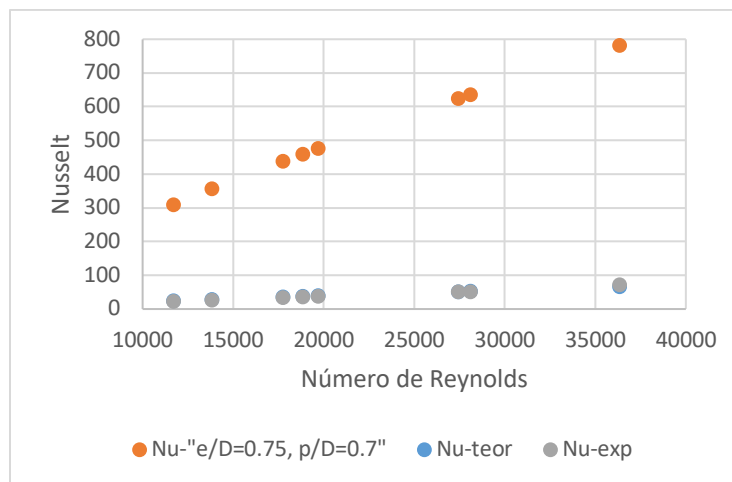


Figura 6. Numero de Nusselt ideal

A continuación, se extiende el rango del flujo másico, quedando en un Reynolds $11712 \leq Re \leq 66116$ que corresponde al rango de Reynolds que se trabajó de forma experimental y con base en la mejor relación altura/diámetro y la mejor relación, paso/diámetro, se determina el factor de fricción, figura 7, el cual, generaría el máximo número de Nusselt. En cuanto a la transferencia de calor en función del factor de fricción, los resultados muestran a través de los valores de Nusselt, figura 8, que podría

aumentarse la capacidad de transferencia de calor hasta en 6.6 veces; sin embargo, se estaría aumentando la fricción del fluido hasta en 7.5 veces promedio y con ello mayor demanda de energía en el elemento mecánico para provocar el flujo forzado.

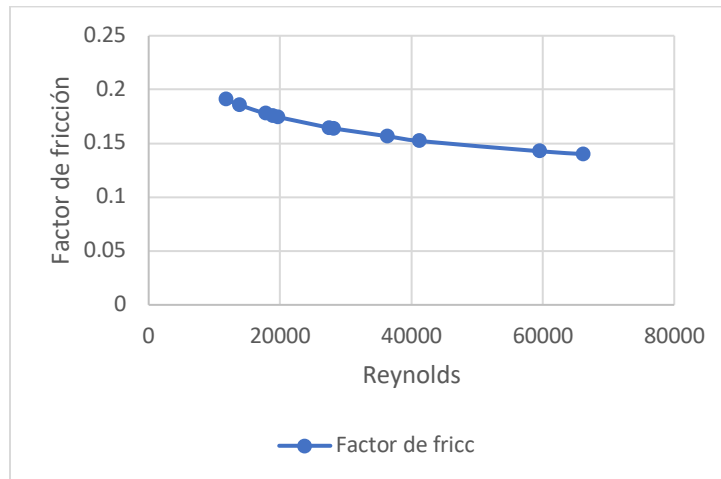


Figura 7. Factor de fricción para la mejor relación $e/D= 0.75$ y $p/D=0.7$

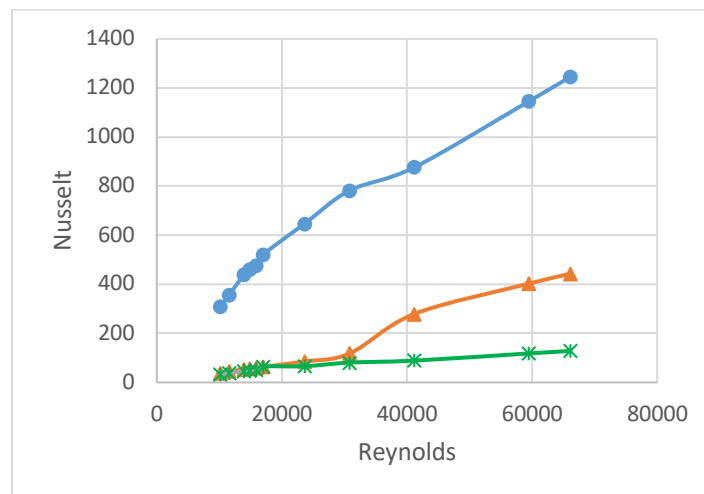


Figura 8. Número de Nusselt

Trabajo a futuro

Construir y experimentar el serpentín con las dimensiones de insertos que resulte en la máxima transferencia de calor, como lo sugieren las correlaciones empíricas. Ajustar las correlaciones del factor de fricción que permitan reducir la diferencia con respecto a los resultados experimentales.

Conclusiones

En este trabajo se condujo que a través del valor del número de Nusselt se analizará el efecto que tiene el factor de fricción en la transferencia de calor, para lo cual, se construyó un serpentín asimétrico con insertos rectangulares en su interior, se evaluó de forma experimental para diferentes valores de Reynolds, obteniéndose las caídas de presión y a partir de ello, el factor de fricción experimental, se generaron correlaciones empíricas del factor de fricción, las cuales se validaron con el factor de fricción y número de Nusselt experimentales. Una vez validadas las correlaciones, se buscó las dimensiones y configuración de los insertos, que permitieran la mayor transferencia de calor en función del factor de fricción haciendo variar las relaciones altura de inserto/diámetro (h/D) y separación entre insertos/diámetro (p/D), lo cual resultó, en $h/D = 0.75$, y $p/D = 0.7$. Las relaciones anteriores condujeron a valores de Nusselt máximos de 1200. Cuatro veces mayor a cuando el serpentín es de superficie lisa. Finalmente, el uso de insertos es una técnica que en este trabajo se demostró de forma experimental y teórica para aumentar la capacidad de transferencia de calor. Así también, se demostró que existen relaciones h/D y p/D con las que mejor desempeño térmico se trabaja el sistema.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento al proyecto 19421.24-P, del cual se deriva el presente trabajo.

Referencias

- [1] M. H. Ahmed, "Investigation of the Heat Transfer and Pressure Drop in Tubes with Transverse Ribs of Zigzag Configurations" vol. 12, pp.5734-5748, 2022.
- [2] M. Gorzin, A. A. Ranjbar, M. J. Hosseini, "Experimental study on serpentine minichannel heat sink: Effect of rib existence and distance" vol. 173, 2022
- [3] S. S. M. Ajarostaghi, M. Zaboli, H. Javadi, B. Badenes and J. F. Urchueguia, "A Review of Recent Passive Heat Transfer Enhancement Methods", vol. 15, pp. 986-1046, 2022.
- [4] S. Alfarawi, S. A. Abdel Moneim and A. Bodalal, "Experimental investigations of heat transfer enhancement from rectangular duct roughened by hybrid ribs" International Journal of Thermal Sciences, vol. 118, pp. 123-138, 2017.
- [5] S. K. Singh and A. Kumar "Experimental study of heat transfer and friction factor in a double pipe heat exchanger using twisted tape with dimple inserts" Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, pp. 1-30, 2021, DOI: 10.1080/15567036.2021.1927248
- [6] M. Arulprakasajothi, U. Chandrasekhar, K. Elangovan, and D. Yuvarajan, "Influence of conical strip inserts in heat transfer enhancement under transition flow" <https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1472651>, International Journal of Ambient Energy, vol 41, No. 5, 2020
- [7] S. Kügele, G. O. Mathlouthi, P. Renze, and T. Grütznert, "Numerical Simulation of Flow and Heat Transfer of a Discontinuous Single Started Helically Ribbed Pipe", vol. 15, pp. 7096-70113, 2022
- [8] V.S. Hans, R.S. Gill, S. Singh, "Heat transfer and friction factor correlations for a solar air heater duct roughened artificially with broken arc ribs", Experimental Thermal and Fluid Science, vol. 80, pp 77-89, 2017.
- [9] R. Maithani, J.S. Saini, "Heat transfer and friction factor correlations for a solar air heater duct roughened artificially with V-ribs with symmetrical gaps". Experimental Thermal and Fluid Science, vol. 70, pp. 220-227, 2016.

ESTUDIO DE LA ATENCIÓN AL CLIENTE EN LOS RESTAURANTES DE LA ZONA DE ZACAPOAXTLA, PUEBLA

Mejía-Méndez Guillermo¹, Lara-De la Calleja, Marco Antonio^{1*}, Gutiérrez-Luna Sonia², Marín-López Juan Fernando³

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Zacapoaxtla, mejiatec2017@gmail.com Área de

participación: *Ingeniería Administrativa*

Resumen

Las empresas restauranteras deben de cuidar la calidad, higiene, salud y sazón de sus alimentos, además de utilizar la creatividad y habilidad para crear momentos agradables en los comensales. A diferencia de los restaurantes en los centros urbanos donde el mercado es amplio y los clientes acuden regularmente, en las zonas rurales

o aquellos ubicados en corredores turísticos dependen en gran medida de la afluencia de los turistas, por lo que la competencia se incrementa para ganarse la confianza y lealtad de los clientes. El propósito de la investigación es analizar la atención al cliente como factor fundamental para ganarse su confianza y preferencia, mediante un estudio a través de guía de observación, y el diamante de Porter, realizado en los restaurantes de mayor tamaño e importancia en la región de Zacapoaxtla Puebla. Obteniéndose que aquellos que mejoran sus criterios de atención son los que gozan de una clientela con mayor lealtad y reconocimiento en la zona.

Palabras clave: *Higiene, Cocina, Calidad, Satisfacción*

A Restaurant companies must take care of the quality, hygiene, health and seasoning of their food, in addition to using creativity and skill to create pleasant moments for diners. Unlike restaurants in urban centers where the market is large and customers come regularly, in rural areas or those located in tourist corridors they depend largely on the influx of tourists, so competition increases to win customer trust and loyalty. The purpose of the research is to analyze customer service as a fundamental factor to gain their trust and preference, through a study through an observation guide, and Porter's diamond, carried out in the largest and most important restaurants in the region of Zacapoaxtla Puebla. Obtaining that those who improve their service criteria are those who enjoy a clientele with greater loyalty and recognition in the area.

Key words: *Hygiene, Kitchen, Quality, Satisfaction*

Introducción

Las Micro, pequeñas empresas presentan diversos problemas para continuar creciendo y mantenerse en el mercado. La competencia obliga a los agentes económicos a mejorar y a eficientizar sus procesos para lograr la competitividad. Aunque el proceso de atención al cliente es un proceso normal en la mediana y grande empresa, en las micros y pequeñas no se le da la importancia por la falta de conocimiento y por no contar con los recursos humanos y financieros para realizarlo. La atención al cliente afecta a la demanda que tienen los consumidores de sus productos, e impacta en la disminución de las ventas.

La calidad de servicio es considerada de carácter subjetiva, por la intangibilidad [1], lo abstracto y lo multidimensional de sus características. Por esta razón la medición de dicha calidad se obtiene como resultado de la satisfacción de necesidades, expectativas y deseos del cliente. Sin embargo, tiene implicaciones en los gustos y preferencias del cliente, las empresas deben asimilar por tanto como una estrategia la atención al cliente para enfrentar a la competencia, porque va más allá de los rivales establecidos en el sector, pues incluye a los clientes, proveedores, posibles competidores, y los nuevos productos sustitutos [2] y de ellos el más importante es el cliente.

Una definición dinámica que nos muestra a un cliente y empresa interactuando [3] señala que la atención al cliente es aquella actividad que relaciona la empresa con el cliente, a fin de que éste quede satisfecho con dicha actividad. Esto nos permite garantizar que el producto o servicio llegue a su público objetivo, que será usado de la forma correcta y que genere la satisfacción del cliente. Es decir, la información del producto o servicio al cliente son premisas para su satisfacción, y en ese sentido está comprobado que más del 20% de las personas que dejan de comprar un producto o servicio, toman esta decisión debido a fallas de información o de atención por parte de las personas encargadas de atender y motivar a los compradores [4]. La mejor promoción de la empresa es un cliente satisfecho, ya que este puede atraer a más clientes o en su defecto ahuyentarlos. Por ello, las empresas deben enfocarse a impulsar sus esfuerzos en la mejora de la calidad de servicio prestado a sus clientes mediante la transferencia de conocimiento, y la experiencia de los procesos de calidad y las prácticas para implantarlos [5].

En el caso de los restaurantes el cliente o comensal, no sólo evalúa los alimentos sino también el servicio y el confort, esto representa una mayor exigencia a una empresa que sólo oferta un producto o servicio. La entrega del bien al cliente está compuesta tanto por elementos tangibles, como es la preparación de los alimentos y bebidas, así como de elementos intangibles, como la atención y el servicio [6]. Los restaurantes como actividad de servicio están continuamente evaluados por el cliente, por lo que estos deben trabajar en función de la calidad en el servicio paralelamente la eficiencia del personal y la eficiencia del servicio para generar satisfacción a los consumidores [7]. En ese sentido las empresas buscan resaltar la importancia del servicio prestado y más concretamente, a considerar la evaluación de la calidad de servicio como fuente de valor, en un cliente cada vez más exigente que busca producto o servicios que pueden satisfacer sus necesidades, ofreciéndoles mejores resultados [8]. En ese sentido los restaurantes de la zona dependen más de los visitantes al ser una región con atracción turística, pero la baja afluencia de visitantes derivado del bajo desarrollo de los servicios relacionados al turismo,

Metodología

Se utilizó el método descriptivo de observación cualitativa y cuantitativa en el estudio de 6 de los principales restaurantes de la región de Zacapoaxtla. Para ello se elaboró una guía de observación para calificar la atención al cliente en dichos centros. Para el estudio de las expectativas y opinión de los clientes, se encuestó a una muestra del segmento de mercado de clase media, en específico a los maestros de la región, que es el que acude de forma regular a estos centros. La muestra se determinó de la siguiente manera:

Sabiendo que se cuenta con una población finita de la cual se desconoce la desviación estándar, se utiliza la fórmula de proporciones para determinar la muestra a evaluar.

$$N = Npq / ((N-1) (D)^2 + pq)$$

Dónde:

N = Población total

p = Proporción estimada de éxitos

q = Proporción estimada de fracasos (1-p)

D = Margen de error (Determinado por el nivel de confianza y el nivel de precisión)

De acuerdo con una síntesis estadística municipal había una total de 2,000 docentes en el año 2023 de los distintos niveles educativos que hay en la región de Zacapoaxtla desde la educación básica hasta la educación superior.

Desarrollo de la fórmula

N: 2,000 docentes hay en el municipio de Zacapoaxtla según la Estadística Educativa de Puebla 2024.

P = Probabilidad a favor del 50%

Q = Probabilidad en contra 50%

D = Margen de error calculado con $z=1.65$ al tener un nivel de confianza de 90% y $B=0.06$ al tener un nivel de precisión del 90% de la desviación típica.

$$N = ((2,000)(0.5)(0.5)) / ((2,000-1) \times (0.06/1.64)^2 + (0.5)(0.5)) = 66 \text{ docentes}$$

Para el caso de determinar la competitividad de dichos centros se utilizó el diamante de Porter.

El diamante de Porter se utiliza para hacer un comparativo de los resultados que se obtienen al aplicar la guía de observación y las encuestas a la población muestra.

Es un modelo universal el cual se utiliza para realizar un análisis de competitividad de manera industrial y no de forma individual la cual se puede dar a nivel geográfico o temporal.

Los atributos que se van utilizar en la investigación van hacer los siguientes, ya que son los puntos que más se adaptan en el presente estudio.

Condiciones de los factores

Es importante mencionar estos para analizar el comportamiento de la atención al cliente con este atributo porque se enfoca en los: Recursos humanos, físicos, conocimiento, capital e infraestructura.

Condiciones de la demanda

Este determinante se enfoca principal en la demanda del servicio interior del producto

o el servicio del sector, porque mediante estas se puede determinar la ventaja competitiva que se tiene del competidor del sector restaurantero. Porque se basa principalmente en la ventaja competitiva que se produce mediante la combinación y necesidades que tiene el consumidor local.

Industrias relacionadas y de apoyo

Este sirve como ventaja nacional porque lo mantiene en contacto con los proveedores de la nación, para conformar un clúster esto se da por la relación que existe en las mismas industrias y que las empresas nacionales se benefician cuando sus proveedores son competidores globales.

Estrategia, estructura y rivalidad de la empresa

Esta es muy usada cuando las circunstancias nacionales afectan mucho a la forma en que las empresas van a gestionarse y a competir, aunque no hay una nación donde haya una uniformidad entre todas las empresas.

Resultados y discusión

El Check List de la guía de observación nos permite visualizar aquellos aspectos que influyen en la satisfacción del cliente que están presentes en cada restaurante. Los restaurantes que cubren la mayor cantidad de variables a evaluar, son que cuentan con mejores aspectos para que el cliente prefiera sus servicios.

Tabla 1. Cuadro comparativo de los principales restaurantes de la región de Zacapoaxtla

Aspectos\restaurante	Apulco	Hotel Plaza	Pozo Viejo	Casa de las Flores	El otro Rollo
Uniforme	Si	Si	No	No	Si
Recepción	Si	Si	Si	Si	Si
Limpieza	Si	Si	Si	Si	Si
Capitán de meseros	Si	No	No	No	Si
Cortesías	No	No	No	Si	No
Menú	Si	Si	Si	Si	Si

Promociones	No	No	No	No	Si
Estacionamiento	Si	No	Si	Si	Si
Mobiliario	Si	Si	Si	Si	Si
Infraestructura	Si	Si	Si	Si	Si
Mantelería	No	Si	No	Si	Si
Ubicación estratégica	Si	Si	Si	No	No
Total "Si"	9	8	7	8	10

Los restaurantes en general no tienen diferencias en aspectos del confort hacia los clientes que sean significativos. Un aspecto relevante en la zona de estudio es la ubicación geográfica de los restaurantes, que, al estar en un relieve serrano accidentado, es difícil que cuenten con estacionamientos. La facilidad de estacionamiento es un criterio de decisión para que los clientes acudan al restaurante, en el caso del Plaza, contrarrestan esta debilidad por la ubicación de su domicilio en la zona centro. Los otros restaurantes cuentan a su favor con amplios estacionamientos, pero la Casa de las Flores está sobre carretera federal a Tlatlauquitepec la cual es poco transitada, y el caso del Otro Rollo está en un municipio con difícil acceso. Los restaurantes establecen estrategias comerciales para contar una base de clientes locales, y complementarias con los turistas nacionales e internacionales visitantes.

Los restaurantes dependen de dos situaciones para su sobrevivencia. La primera está determinada por las temporadas de mayor afluencia de visitantes, y la segunda es aprovechar a la población local de mayores ingresos, como maestros y funcionarios, porque mientras no exista una política pública que mejore los servicios e infraestructura, y no se desarrolle un clúster turístico que potencie el turismo de la región aprovechando la diversidad de recursos naturales, la afluencia de las personas a los restaurantes es baja en comparación a los ubicados en centros urbanos.

Análisis de resultados de la encuesta sobre la atención al cliente

De acuerdo con los datos recabados de las 66 encuestas realizadas a los maestros de la región de Zacapoaxtla que son los que más consumen en estos restaurantes, a continuación, se muestran las gráficas que nos ayudan a medir la atención al cliente que brindan estos restaurantes



Figura 1. Restaurantes visitados con frecuencia

El restaurante Apulco es uno de los restaurantes más visitados ya que cuenta con 49 visitas, mientras que otro de los restaurantes frecuentados con un total de 22

visitas es el restaurante Plaza y por último el otro restaurante es el del pozo viejo con 14 visitas.

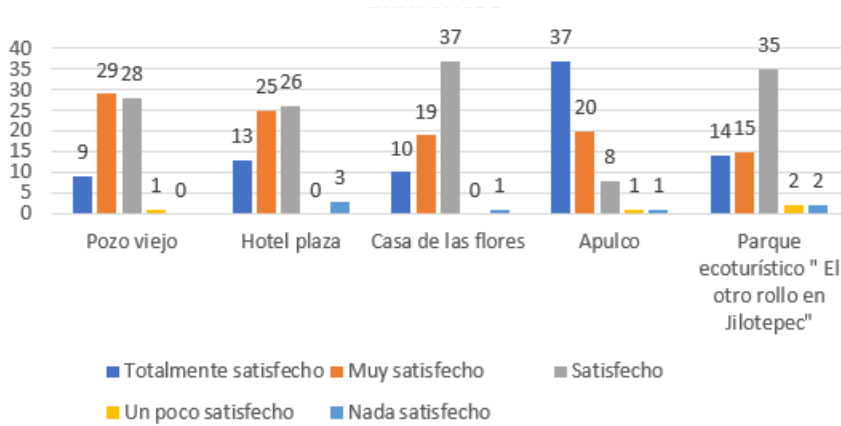


Figura 2. Satisfacción con la sazón y la calidad en los alimentos

En la evaluación de la satisfacción de la sazón y la calidad en los alimentos de los restaurantes, uno de los restaurantes que satisface totalmente a sus comensales es el de Apulco con una frecuencia de 37 comensales, el margen de los que no están satisfechos es sólo un comensal lo cual representa un 0.67%.

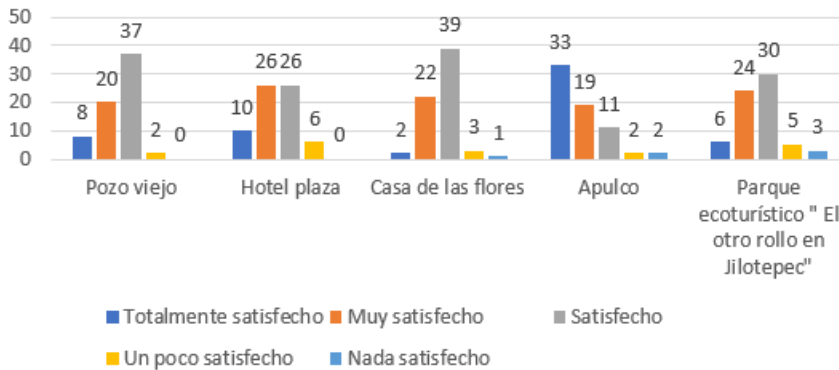


Figura 3. Satisfacción en los precios

El restaurante Apulco satisface totalmente a sus clientes con base a sus precios el cual se representa con una puntuación de 33 comensales, los que están muy satisfechos son 19 comensales, los satisfechos son solo 11 y los que están un poco y nada satisfecho es de un cliente de los 67 encuestados. Otro de los restaurantes que satisface totalmente a sus clientes es el Hotel plaza con un total de 10 comensales, mientras que el Pozo viejo los satisface totalmente con un valor de 8 preferencias.

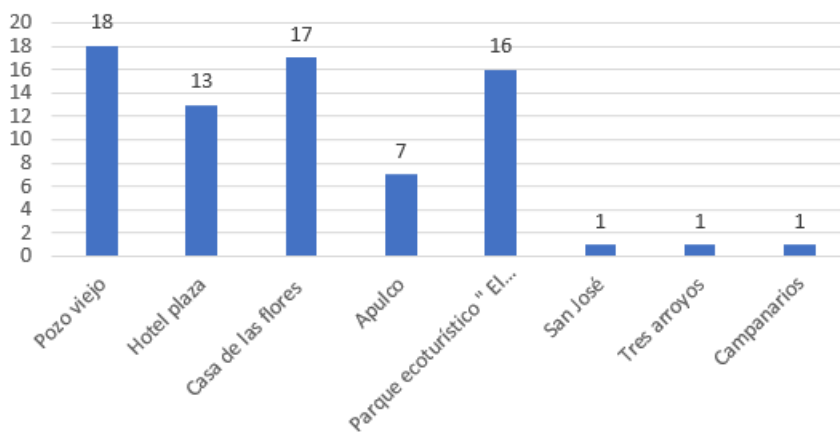


Figura 4. Restaurantes no recomendados

El restaurante que no recomiendan 18 comensales es el Pozo viejo, pero otro de los no recomendados es el restaurante la Casa de las flores de Tatoxcac con un valor de 17, ya que mencionan que por su distancia no pueden visitarlas, por último tampoco recomiendan es el Parque ecoturístico "El otro rollo en Jilotepec" con un valor de 16 de preferencia. Tres de los restaurantes de la muestra resultaron no recomendados, el punto a favor es si son conocidos entre la población por lo que deben establecer estrategias de atención al cliente para lograr su lealtad.

4.3 Diamante de Porter

De acuerdo con las técnicas de recolección de información que se realizaron se presentan los siguientes resultados de acuerdo con el Diamante de Porter para medir la competitividad que hay entre la industria restaurantera y turística de la región de Zacapoaxtla.

Los datos proporcionados son el resultado de la aplicación de una Guía de observación y una encuesta de atención al cliente de los comensales. Para lo cual se hace mención de la información de manera esquematizada.

Tabla 2 Condiciones de los factores de acuerdo a Porter

	El gerente está en la capacidad de llevar a cabo la administración del talento humano dentro de la industria restaurantera de Zacapoaxtla.
Recursos Humanos	Exista comunicación directa entre las distintas jerarquías.
Recursos físicos	Diferentes estilos entre los restaurantes para brindar un buen servicio y ambiente a los comensales. Sus productos son los adecuados para el segmento de mercado al que está dirigida la industria restaurantera.
Recursos del conocimiento	Capacitación de trabajo en equipo de las diferentes áreas que tiene la industria restaurantera. Capacitación de atención al cliente. Habilidades para coordinar un adecuado servicio y acciones administrativas.
Infraestructura	Instalaciones sólidas y seguras para los clientes. Restaurantes con mesas de 4 a 10 sillas para recibira comensales durante el día.

Tabla 3 Condiciones de la demanda

Cobertura de los clientes.	De acuerdo con el posicionamiento de la industria restaurantera tienen la capacidad de atender un rango de 100-10,000 comensales al año, y dentro de la temporada turística tiene la capacidad de atender a un rango más alto de turistas.
Satisfacción clientes	Adquisición de insumos de marcas reconocidas para mejorar la calidad de los productos que se ofrecen dentro de los restaurantes. Mejorar la atención al cliente para fidelizar a los comensales desde su primera visita a los restaurantes de la región.
Anticipación a las necesidades de los clientes	Buscar mejoras adecuadas desde el servicio que se brinda hasta la calidad en los productos que se ofrecen. Implementar nuevos productos de acuerdo con los gustos actuales de nuestros clientes.

Logística y externa.	interna	En la logística interna tener a una persona en la recepción de los clientes, y que les brinde la información necesaria sobre los servicios que se brindan dentro del restaurante. Logística externa se encuentra la adquisición de los insumos con los distintos proveedores de materia prima.
----------------------------	---------	---

Tabla 4 Industrias relacionadas y de apoyo

Proveedores de bebidas	La empresa Pepsi les suministra las	comercializadas, aguas, refrescos, productos lácteos entre otras.
Proveedores de insumos		Los proveedores que suministran las materias primas (Verduras y frutas, pan, café, carnes entre otros) para la elaboración de los platillos pertenecen al mercado local
Suministro de agua		El agua potable como servicio público es suficientes para que puedan brindar un servicio de calidad y con un ambiente agradable para las familias que se detienen a con sumir en los distintos restaurantes de la región.

El diamante de Porter nos demuestra que la industria relacionada al turismo se encuentra en desarrollo, y puede ser competitiva en el mediano plazo si se pone atención a la infraestructura y mejora de los servicios por parte de las empresas privadas y el gobierno estatal y local. El mercado turístico se encuentra en expansión por lo que los servicios relacionados deben de corresponder a este aumento.

Trabajo a futuro

Los visitantes a estos restaurantes son de un segmento del mercado local y otro conformado por los turistas y visitantes de la región, la investigación fue con una población local que son la base del sostenimiento habitual de estos negocios, pero es importante considerar un trabajo futuro con base a estadísticas de la procedencia de los clientes con el fin de impulsar estrategias para atraer más visitantes.

Conclusiones

La atención al cliente que brindan las Micro y pequeñas empresas (Mypes) de la industria restaurantera, sirve para que estas capten el interés de los comensales que visitan el restaurante. Anticipándose a las necesidades de los clientes brindando

productos de calidad, como el mejor servicio al cliente, pero sobre todo que se distingan por un trato digno y respetuoso hacia ellos.

La atención al cliente ha ayudado a posicionar a los restaurantes locales de la región de Zacapoaxtla, entre mejor atención al cliente brinden estos restaurantes más comensales satisfechos tendrán y les beneficiará en el incremento de sus ventas.

Los restaurantes más importantes de Zacapoaxtla brindan servicios poco diferenciados, y la diferenciación se da en aquellos que cuentan con estacionamiento y mejor ubicación geográfica, que es caso del restaurante Apulco.

Es importante que las Mypes del sector restaurantero brinden una atención proactiva, es decir adelantándose siempre a las necesidades de consumidor ya sean positivas o negativas y no esperarse a que los clientes tengan quejas o reclamos. Durante la investigación que se realizó en los restaurantes se demostró que tuvieron una mejor atención y calidad en el servicio prestado en la Fonda Margarita, ya que son los que han conseguido la fidelidad y la confianza de los clientes, logrando así acaparar el mercado, teniendo una ventaja competitiva de los demás.

Referencias

- [1] (O. A. Colmenares Delgado and J. L. Saavedra Torres, "Aproximación teórica de los modelos conceptuales de la calidad del servicio," 15-Sep-2007. [Online]. Available: <http://www.cyta.com.ar/ta0604/v6n4a2.htm>[Accessed: 29-Feb-2016].
- [2] M. Porter, "Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia "Harvard Business Review, reimpresión, pp20. 2008.
- [3] Peel, M. "El servicio al cliente: guía para mejorar la atención y la asistencia". España: Ediciones Deusto.(1991).
- [4] P. Kotler, P. "Mercadotecnia". México: Prentice-Hall p. 1036, 1997.
- [5] Vega, R., Cadena, J., Mejías, A, y Guzmán, R. (2014). "Análisis de la calidad de los servicios académicos: caso de estudio Ingeniería Industrial y de Sistemas Campus Caborca, Universidad de Sonora, México. Memorias del VII Simposio Internacional de Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias 2014". Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima, ISSN 1856-8343, Perú 2014.
- [6] Jain, S. K. & Gupta, G. "Measuring service quality: Servqual vs. Servperf Scales". Vikalpa, No. 29(2), p25-37. 2004.
- [7] V.-M. Cano y E. Corona, "La satisfacción del cliente basado en la calidad del servicio a través de la eficiencia del personal y eficiencia del servicio: Un estudio empírico de la industria restaurantera". Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática, num. 18, pp. 46-65. 2018.
- [8] C. Moliner. "Calidad de servicio y satisfacción del cliente. Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones", 17(2), 233 - 235, 2001.

APLICACIÓN DE IAG EN LA DOCENCIA E INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA

Medina Aguirre, Julio César^{1*}, Rodríguez Loo, Roxana Michelle², Ibañez Acevedo, Yidanes Alejandra³,
Castillón Barraza, Acela⁴, Quiñonez Moreno, Thalia⁵,

¹Instituto Tecnológico de Mexicali jcmaitm@itmexicali.edu.mx, ²Instituto Tecnológico de Mexicali
roxanarodriguez@itmexicali.edu.mx, ³Instituto Tecnológico de Mexicali
yidanesibanez@itmexicali.edu.mx, ⁴Instituto Tecnológico de Mexicali
acelacastillon@itmexicali.edu.mx, ⁵Instituto Tecnológico de Mexicali thalia@itmexicali.edu.mx,

Área de participación: **Investigación Educativa**

Resumen

Este artículo explora la implementación estratégica de la Inteligencia Artificial Generativa (IAG) para mejorar la enseñanza e investigación en la educación de ingeniería. Mediante la evaluación de actividades prácticas, confirma la eficacia de la IAG en aumentar las capacidades de la fuerza laboral, cambiar los conjuntos de habilidades requeridos e introducir tanto desafíos como oportunidades dentro de la pedagogía de la ingeniería. A través de un curso de formación específico, este estudio no solo demuestra la capacidad de la IAG para enriquecer las prácticas educativas y de investigación sino también subraya la urgencia de actualizar los currículos y métodos de enseñanza para preparar a los futuros ingenieros para la era digital.

Palabras clave: Inteligencia Artificial Generativa (IAG), Educación en ingeniería, Herramientas digitales.

Abstract

This article explores the strategic implementation of Generative Artificial Intelligence (GAI) to enhance teaching and research in engineering education. By evaluating practical activities, it confirms GAI's effectiveness in augmenting workforce capabilities, altering required skill sets, and introducing both challenges and opportunities within engineering pedagogy. Through a targeted training course, this study not only demonstrates GAI's capacity to enrich educational and research practices but also emphasizes the urgency of updating curricula and teaching methods to prepare future engineers for the digital era.

Key words: Generative Artificial Intelligence (GAI), Engineering education, Digital tools

Introducción

La irrupción de la Inteligencia Artificial Generativa (IAG) a finales de 2022 está transformando la educación en ingeniería y la dinámica laboral. Una de las consecuencias que el acelerado progreso y avance está provocando es la aparición de conceptos como la fuerza laboral aumentada (augmented workforce), donde las colaboraciones entre humanos y máquinas elevan la productividad y generan un valor social, educativo y empresarial sin precedentes. El Foro Económico Mundial proyecta que esta tecnología impactará en 85 millones de empleos entre 2020 y 2025. El 44% de las habilidades

laborales se modificarán entre 2023 y 2028 observándose que las habilidades STEM, que ocuparon el primer lugar en importancia en 2016, han descendido al lugar doceavo en 2023, por lo que se asume que, en las competencias laborales, las prioridades están cambiando a habilidades más orientadas a las personas, como la gestión del tiempo, la colaboración y la comunicación. En ámbitos de la educación en ingeniería estos cambios indican una adaptación a un entorno donde la tecnología permite realizar tareas complejas con habilidades técnicas menos avanzadas.[1]

Adicionalmente se estima que se estarían automatizando al menos la cuarta parte de las tareas repetitivas de los diversos empleos y esto conlleva al incremento de la productividad que a su vez, también impulsa la demanda de habilidades especializadas y de interacción humana. Se han identificado más de 500 habilidades susceptibles de ser afectadas por la IAG, incluyendo habilidades en negocios e industria como reportes financieros, marketing por correo electrónico y análisis de datos; habilidades en comunicación y medios como escritura, edición y creación de contenido; y habilidades en ingeniería como el desarrollo de software, lenguajes de programación y ciencia de datos entre muchísimas otras. [2]

La adopción acelerada de la IAG requiere habilidades cognitivas y creativas avanzadas, así como una comprensión profunda de la interacción humano-máquina. Esto implica un cambio significativo en los enfoques pedagógicos y curriculares en la formación de los ingenieros del futuro. Por ejemplo, la mayor parte del trabajo de un ingeniero de software implica habilidades técnicas que pueden ser optimizadas por la IAG, mientras que las habilidades humanas, como la gestión de proyectos y la comunicación efectiva no son susceptibles de ser reemplazadas por la inteligencia artificial. [3]

La IAG no solo mejora el desempeño de los estudiantes en exámenes de alta dificultad y tareas formativas, sino que también transforma la naturaleza y el alcance del aprendizaje; está cambiando el enfoque de la evaluación del aprendizaje, pasando de la simple memorización de información a la valoración de habilidades de pensamiento de orden superior. Este cambio presenta desafíos para los docentes en ingeniería en términos de cómo evaluar el conocimiento de los estudiantes y qué aspectos evaluar. Además, la integridad académica surge como un desafío importante que necesita ser reconsiderado en la era de la IA, sugiriendo una reevaluación profunda de los métodos y enfoques tradicionales en la educación en ingeniería y a crear entornos de aprendizaje atractivos que hagan que el aprendizaje sea más significativo y personalizado. [4]

El futuro de la educación en 2050 incluirá tecnologías avanzadas como la realidad virtual altamente realista y la tecnología cerebro-computadora. El camino hacia esos escenarios implica la adopción de la IA, primero básicamente como un asistente en la educación (en la presente década), después como un asistente personal que desarrolla acciones en representación de la persona (en la siguiente década) y para 2040 se prevé con el desarrollo intensivo del metaverso y la reconfiguración de la educación. Por ello los efectos en la educación implican la personalización de la educación de acuerdo con los intereses y habilidades del individuo (para lo cual la IA será de gran utilidad para los docentes), la generación de ambientes virtuales para el aprendizaje y la utilización y monitoreo personalizado con IA generando "carteras digitales" en vez de currículos vitae. Se anticipa que se transformará el aprendizaje en ingeniería, llevando a entornos de enseñanza más inmersivos y adaptativos, donde los estudiantes podrían aprender en escenarios simulados. [5]

Para la utilización efectiva de la IAG, es necesario que los docentes en ingeniería reciban formación específica en estas tecnologías, especialmente en habilidades como la "ingeniería de prompts", que implica la creación de instrucciones interactivas con modelos de lenguaje de gran escala (LLMs) para generar resultados óptimos. Estas nuevas habilidades se deben de adquirir en un nivel más avanzado

para con ello poder estar incluso a la par del uso que algunos estudiantes ya le dan. La actualización continua de habilidades, incluyendo la capacidad de utilizar directamente la tecnología, será necesaria para mantenerse al día con los avances. Ser competente en estas áreas será esencial para agregar valor. Incluso ya se están desarrollando aplicaciones para entrenar en todas las preguntas de exámenes y cuestionarios disponibles en temas específicos, incluidas las preguntas matemáticas. [6]

Existe evidencia sobre actividades profesionales en donde se realizan reportes y se demuestra que la productividad al usar la IAG (específicamente ChatGPT) aumenta, así como en términos generales auxilia mayormente a trabajadores de baja capacidad y aumenta la satisfacción laboral. Al respecto de la productividad se encontró que aumenta de dos formas: al sustituir el esfuerzo del trabajador para producir rápidamente lo requerido con una calidad satisfactoria de tal manera que es posible entregar dicho trabajo rápidamente y la otra forma es que complementa las habilidades consecuencia de la colaboración del trabajador y la IAG. [7]

En términos de investigación y elaboración de artículos de difusión, la IAG puede potenciar esas actividades para poder precisar los conceptos e ideas de la investigación, las hipótesis y diseños iniciales, la revisión de grandes volúmenes de datos y bibliografía, resumiendo los puntos principales de los artículos, la detección de patrones, la predicción de escenarios y el escaneo de información, así como la detección de círculos de investigadores estimulando con ello el pensamiento creativo y mejorando de la redacción de los documentos y artículos de difusión resultantes; elevando la calidad de los trabajos de investigación y sugiriendo líneas de investigación futuras. [8]

La Inteligencia Artificial Generativa (IAG) ha transformado el campo de la educación en ingeniería, proporcionando tecnologías que permiten, entre otras cosas, la creación de simulaciones y la generación de contenido relacionado con los temas tratados en clase. Además, esta tecnología facilita la personalización del aprendizaje, ajustándose a las necesidades específicas de cada estudiante. Por otro lado, los entornos virtuales se han consolidado en las universidades, creando espacios interactivos donde se aplican metodologías que ayudan a los estudiantes a visualizar problemas complejos a través de representaciones en 3D o virtuales. Esto permite una mayor profundidad en el aprendizaje, ofreciendo la posibilidad de manipular variables y obtener retroalimentación inmediata, una ventaja que sería difícil de replicar en laboratorios físicos convencionales. [9]

El objetivo de la investigación es implementar actividades que comprueben la utilidad de la IAG en la docencia e investigación, lo cual es una estrategia para la educación de los ingenieros del futuro. La metodología consistió en la búsqueda bibliográfica de actividades que son susceptibles de complementar o aumentar por medio de la IAG dentro del quehacer de la docencia e investigación.

Metodología

Existen diferentes autores que coinciden con las aplicaciones de la IAG en las actividades para la docencia: Diseño de currículo y planificación de la clase, así como preparación de evaluaciones y rúbricas. Recopilación de materiales de enseñanza relevantes, así como proponer ejemplos, analogías y escenarios que fomenten el pensamiento crítico y la discusión en clase. Entrenamiento del docente en metodologías de enseñanza y desarrollo curricular, así como aplicar teorías de enseñanza y cómo hacer que el plan de estudios sea más accesible. Tutorías y atención personalizada de acuerdo con las necesidades del estudiante. Asistentes virtuales que pueden apoyar el

aprendizaje y la enseñanza. Realidad virtual y aumentada simulando situaciones reales para un aprendizaje más práctico. Evaluación más eficiente y personalizada. con [2], [10], [11], [12], [13], [14].

Asimismo, las actividades para la IAG en investigación son: análisis de datos identificando patrones y relaciones. Generación de contenido instructivo y retroalimentado. Desarrollo de ideas y propuestas de investigación. Revisión de literatura y su recopilación, inclusive proponiendo borradores iniciales. Desarrollo y ayuda a las preguntas de investigación, además de sugerir metodologías apropiadas.

Acorde a lo anterior, se diseñó un curso que fue impartido tanto a docentes e investigadores de las carreras de Ingeniería Industrial del TecNM campus Mexicali y de la Facultad de Ciencias Administrativas de la Universidad Autónoma de Baja California con aspectos sobre Cultura digital / Docencia e investigación aumentada por la IAG; los aspectos que se abordaron fueron: implementación de las herramientas de IA para el acompañamiento y fortalecimiento de las clases, así como uso de la herramienta de IA para facilitar etapas de investigación y aplicaciones dedicadas para tal efecto. Es relevante señalar que el curso mencionado en este artículo corresponde a la segunda versión del original, habiéndose impartido un total de ocho cursos en tres versiones. El diseño del primer curso se centró en la introducción de diversas herramientas de Inteligencia Artificial Generativa (IAG) conocidas por los autores, considerando la novedad y reciente aparición de esta tecnología. Por esta razón, el diseño inicial incluyó las bases fundamentales para su uso. No obstante, en la segunda versión, se desarrollaron contenidos aplicados, los cuales se presentan en este documento, enfocados en los ámbitos académicos de docencia e investigación, evaluando el progreso en la adopción y uso de estas herramientas.

Igualmente se realizó una encuesta para medir la opinión y progresos en la utilización de las herramientas de IAG propuestas en el curso. También se verificó el material que se realizó por parte de los participantes tomando la asignatura de Probabilidad y Estadística del TecNM o en su caso la de Estadística para la FCA UABC, esto con los siguientes objetivos:

- Reforzar los aspectos iniciales de ubicación de la materia, cuestionando a la IAG sobre la importancia y aplicación de la Estadística en la vida profesional.
- Seleccionar una unidad en específico de la asignatura y realizar la misma interacción con la IAG para la Unidad III.
- Obtener un ejemplo de aplicación (problema a resolver) por medio de la IAG y evaluar sus resultados, analizando la respuesta.

Los docentes fueron los encargados de evaluar si las respuestas son adecuadas en su contexto y en su síntesis narrativa. Para ello se presentaron algunos criterios a manera de guía para la evaluación de herramientas de Inteligencia Artificial Generativa (IAG) en entornos académicos. La metodología utilizada abarca la valoración de la coherencia, la interrelación, la profundidad y la multimodalidad de las síntesis narrativas, además de la calidad y la formación de las fuentes. Esta metodología fue aplicada específicamente a plataformas de IAG gratuitas, enfocándose en su uso para fines de investigación académica. [15]

En el caso de los ejemplos de aplicación, se observó que la resolución de estos fuera la correcta (resolviendo el problema manualmente en clase y verificando la solución por parte de la IAG)

Asimismo, en los aspectos de investigación, se propuso un tema único para los participantes: “El problema de la escasez de agua aportada por el Río Colorado y su repercusión en Mexicali, Baja California”, para que los participantes del curso inicien de un tema en común para realizar el análisis bibliográfico y la búsqueda de material valioso para generar un marco teórico introductorio, incluso

se toma esta problemática desde cero para la generación de ideas en la investigación. Para ello se solicitó lo siguiente:

- a) Utilizar la IAG Copilot de Microsoft para ver un panorama general de la problemática.
- b) Identificar que la bibliografía o fuentes utilizadas existieran, seleccionar un artículo de difusión dentro de ese material, y a la vez seleccionar un artículo en la plataforma Elsevier.
- c) Analizar ambos artículos con la herramienta de IAG llamada ChatPDF y obtener los resúmenes de importancia.
- d) Ampliar la búsqueda bibliográfica con la herramienta Litmaps y Scispace de IAG seleccionando otro artículo y obteniendo su resumen.
- e) Por último, simular la elaboración del marco teórico introductorio de un artículo, utilizando el gestor bibliográfico Zotero y las plantillas preestablecidas de Scispace.

Resultados y discusión

Los resultados de las prácticas docentes al respecto de la materia de Probabilidad y Estadística que fue asignada a 20 docentes fueron los siguientes:

- a) Se solicita a alguna de las IAG vistas en el curso que indique la utilidad de la Estadística en la vida profesional: El 85% de los docentes lograron hacer la actividad (17 personas) incluso especificando más el “prompt” y solicitando que se ajustara a determinada carrera (Mercadotecnia, Ing. Industrial, Negocios Internacionales).
- b) Se solicita a alguna de las IAG vistas en el curso que indique la utilidad de la Unidad III “Distribuciones de Probabilidad” en la vida profesional del futuro egresado: incluso algunos docentes realizaron el ejercicio para otra unidad obteniendo material adicional. Se considera que el 85% (17 personas) cumplieron con el requerimiento.
- c) Realizar o solicitar un ejemplo a la IAG sobre la Unidad III: al igual que el inciso anterior hubo docentes que solicitaron el problema de ejemplo para otra unidad. Sin embargo, se considera que el 95 % de los docentes realizaron el ejercicio (19 personas). Esto incluyó la verificación de que la solución del ejercicio propuesto sea la correcta.

Los resultados de las prácticas de investigación de un problema propuesto por los instructores, y que fue asignado a 20 docentes investigadores, fueron los siguientes:

- a) Conocer el panorama general de la problemática usando la IAG Copilot de Microsoft: Los docentes pudieron realizar el ejercicio el cual consistía en poder interactuar desde la página de origen de Copilot o la barra lateral del mismo. Si era necesario también se ajustó y actualizó la cuenta de acceso y el motor de búsqueda Edge de Microsoft. El 90 % de los docentes (18 personas) cumplió con el ejercicio.
- b) Identificación de fuentes utilizadas y selección de fuente proveniente de un artículo científico o de difusión, así como un artículo de forma manual de alguna fuente de acceso de su centro de información (o proporcionado por el maestro, en su caso fue de la base de datos Elsevier). El 80 % de los docentes (16 personas) cumplió con el ejercicio.
- c) Generación de resúmenes de los artículos utilizando la herramienta de IAG llamada ChatPDF. El ejercicio consistió en descargar los archivos a esa herramienta de IAG e interactuar con ella para obtener resúmenes e información valiosa para el escrito a realizar. El 60 % de los docentes (12 personas) cumplió con el ejercicio.
- d) Ampliar la búsqueda bibliográfica de material valioso utilizando Litmaps y Scispace. Aquí el ejercicio consistió en realizar un “mapa semilla” con Litmaps para verificar las relaciones

que guardan las citas y referencias de un artículo de los obtenidos anteriormente y con ello reforzar guiadamente la búsqueda de material valioso que a su vez se procesa en ChatPDF o Scispace. Este último se usa incluso para hacer el análisis de varios artículos a la vez. El 80 % de los docentes (16 personas) cumplió con el ejercicio.

- e) Elaboración de marco teórico introductorio: El ejercicio consistió en utilizar los diferentes resúmenes obtenidos con las herramientas diversas usadas de IAG, generar el escrito apoyándose en el gestor bibliográfico Zotero y en Copilot para obtener las citas y referencias en formato APA séptima edición. Por último, colocar el material usando alguna de las múltiples plantillas para publicación con que cuenta Scispace. El 80 % de los docentes (16 personas) cumplió con el ejercicio.

Con respecto al diagnóstico de los docentes antes del curso, se obtuvieron los siguientes resultados:

En el grado académico de los docentes inscritos al curso y el uso de la IAG podemos observar en la Figura 1, que el 64% de los que tienen doctorado la utilizan, el 69% con maestría y el 20% de los que tienen licenciatura han utilizado la IAG en actividades de docencia o investigación.

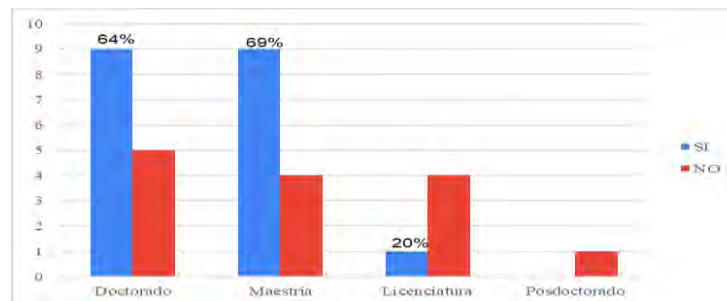


Figura 1. Relación entre el grado académico y el uso de la IAG.

La utilización de la IAG por parte de los docentes antes del curso de capacitación expresó que el 47% lo utiliza menos de una hora diaria, 42% entre 1 a 2 horas diarias, mientras que solo el 11 % lo utilizan más de dos horas, como se observa en la Figura 2.

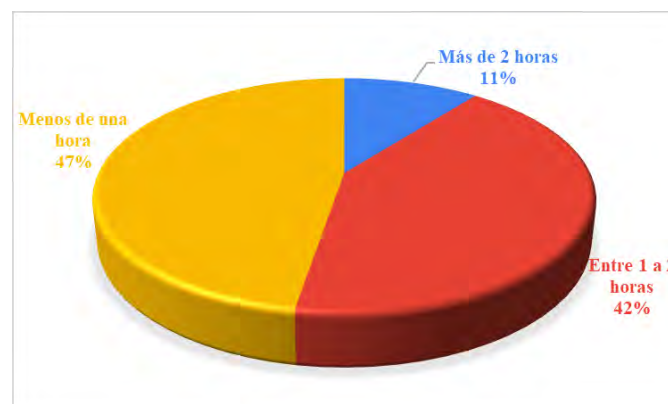


Figura 2. Frecuencia diaria de utilización de herramientas IAG

Los docentes que expresaron utilizar la IAG en las actividades docentes más frecuentes como se muestra en la Figura 3 son: generación de material auxiliar de clase en un 44%, generación de tareas y evaluaciones en un 15% y generación de prácticas y ensayos en un 13%.



Figura 3. Uso de IAG de los docentes en actividades docentes

Se puede observar en la Figura 4, que los docentes utilizan la IAG en actividades de investigación con mayor frecuencia como: análisis de información y bibliografía con un 34%, lluvia de ideas para precisar el tema de investigación con un 28% y análisis de datos de investigación con un 19%.



Figura 4. Uso de IAG de los docentes en actividades de investigación

Al preguntarle a los docentes cuáles son las causas que consideran que inhiben el uso de las herramientas de IAG, consideraron que la falta de capacitación en un 24% de los encuestados, el 6% en el desinterés y 5% lo consideraron no ético, como se muestra en la Figura 5.

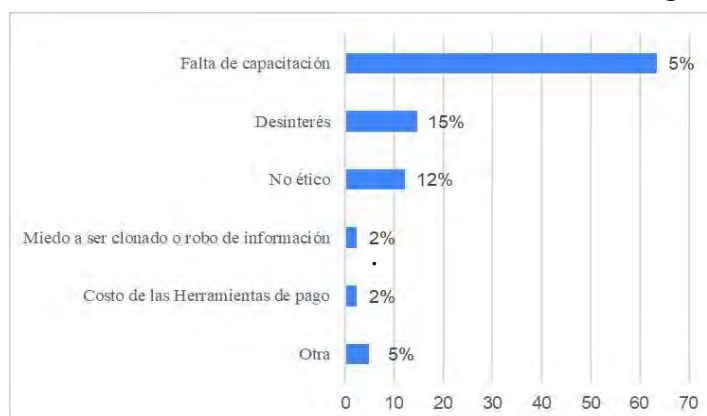


Figura 5. Causas que inhiben el uso de la IAG en los docentes.

Los docentes comentaron que las aplicaciones de la IA de mayor provecho para ellos en la generación de material auxiliar de clase son Scispace, Chatpdf, Copilot, Claude Anthropic, Litmaps, etc. Para los docentes, el mayor desafío para integrar la IAG a sus actividades cotidianas serían: mantenerse actualizado en la IAG, la gratuidad de algunas aplicaciones, destinar tiempo a explorar cuál de las apps de IAG se acomoda mejor a las necesidades, las capacidades de los equipos y herramientas, estandarizar el uso de la IA, la responsabilidad ética, centrarse en una plataforma, entre otras.

El análisis de los resultados reveló que el 85% de los participantes mejoró su desempeño en los ejercicios prácticos, mientras que el 90% reportó una mayor comprensión de los conceptos complejos abordados en el curso. Además, varios participantes aplicaron los ejercicios a materias específicas que ellos mismos imparten, lo que permite concluir que la implementación de la Inteligencia Artificial Generativa (IAG) en el proceso de enseñanza promueve un aprendizaje más activo y eficaz, generando mejores resultados académicos a largo plazo. [16]

Es crucial que las Instituciones de Educación Superior implementen diversas estrategias para facilitar el acceso a las tecnologías de IA, contando con el apoyo institucional necesario. No solo es importante aprovechar las IAG gratuitas, sino también establecer colaboraciones con empresas tecnológicas para negociar precios más accesibles y buscar financiamiento externo que permita tanto la adquisición de estas herramientas como la capacitación de docentes y estudiantes. Además, es fundamental promover oportunidades equitativas para los estudiantes y fomentar la colaboración entre los diferentes actores educativos.

En resumen, los resultados y el análisis revelan que la IAG ha sido un factor clave en la mejora de las prácticas de enseñanza y los resultados de la investigación, permitiendo la superación de obstáculos importantes en la docencia y proporcionando nuevas oportunidades para la innovación en el aprendizaje.

Trabajo a futuro

Hay un campo amplio de aspectos a desarrollar debido a que el despliegue de la IAG es muy reciente (ChatGPT salió para el uso público en noviembre de 2022). Por ello vertientes inherentes al alcance e implementación dentro de las clases y la evaluación de los resultados de aprendizaje al auxiliarse con esta tecnología, representan gran importancia. Otro punto definitorio es el estudio de cuales plataformas de IAG representan las mejores ventajas para el uso académico y de investigación. Aunado a ello, es también importante trabajar en la definición de un marco ético en donde se consoliden criterios del alcance de la participación de la IAG en artículos de difusión científica, por ejemplo, en qué porcentaje y en qué secciones de un artículo se permitiría el uso de estas herramientas.

Conclusiones

La implementación de actividades que corroboran la utilidad de la IAG en la docencia e investigación ha demostrado ser efectiva. Los docentes e investigadores que participaron en el curso diseñado para este propósito lograron realizar con éxito las actividades propuestas, lo que indica que la IAG puede potenciar la docencia y la investigación.

Con respecto a la producción de artículos de difusión, la IAG puede potenciar estas actividades para precisar los conceptos e ideas de la investigación, las hipótesis y diseños iniciales, la revisión de

grandes volúmenes de datos y bibliografía, resumiendo los puntos principales de los artículos, la detección de patrones, la predicción de escenarios y el escaneo de información.

Para la educación de los ingenieros del futuro la IAG provocará no solo mejorar la productividad y la calidad de la enseñanza y la investigación, sino que también exigirá una revisión profunda de los currículos y estrategias pedagógicas existentes. La capacitación específica en competencias digitales y la integración de herramientas de IAG en el aula es una necesidad vital que debe iniciarse por parte de las Instituciones de Educación Superior debido al mercado laboral que está en constante evolución. Este cambio de paradigma requiere una colaboración entre instituciones educativas, docentes y la industria para maximizar las oportunidades que la IAG ofrece para la formación de ingenieros que presenten esas nuevas y prioritarias habilidades profesionales y de trabajo.

Es recomendable que los círculos docentes, las academias, los claustros y, en general, la comunidad científica establezca criterios de mejores prácticas en el uso de las herramientas dentro de sus ámbitos de actuación. Por ejemplo, los ejercicios mencionados en este artículo se basan en las respuestas generadas por los distintos modelos de IAG utilizados en la fecha del curso. Esto significa que las respuestas reflejan el estado de esos modelos en ese momento, y es previsible que la evolución de dichos modelos ofrezca resultados más precisos a medida que se actualizan. Por lo tanto, los autores consideran que como parte de un ambiente de buenas prácticas es necesario realizar una evaluación constante de los materiales generados por la IAG (en el caso de asignaturas impartidas en las IES, esta evaluación sería recomendable realizarla al inicio de cada semestre). No obstante, se espera que la calidad y el alcance de los trabajos generados continúen mejorando progresivamente.

El uso de la IAG en la educación y la investigación plantea diversas cuestiones éticas que deben abordarse de manera integral para garantizar una adopción responsable de estas tecnologías. Su implementación conlleva riesgos relacionados con la privacidad, la integridad académica y la equidad en el acceso a la tecnología. Por ello, es fundamental que los educadores, investigadores e instituciones establezcan políticas claras que mitiguen estos riesgos y promuevan un uso ético de las herramientas de IAG. Por ejemplo, varios repositorios y bases de datos que fomentan la publicación de artículos han definido en qué partes de los documentos se permite la intervención de la IAG. Tal es el caso de Springer, que en su información más reciente sobre el uso de la IAG permite su aplicación para "edición asistida por IA" sin necesidad de declararlo. Esta edición asistida se refiere a mejoras en la legibilidad y estilo de textos creados por humanos, garantizando la corrección de errores gramaticales, ortográficos, de puntuación o tono, e incluyendo cambios en la redacción y el formato, pero sin la creación autónoma de contenido. En todos los casos, debe haber una supervisión humana que se haga responsable de la versión final del texto, con el acuerdo de los autores en que las ediciones reflejan su trabajo original. [17]

Referencias

[1] IBM Institute for Business Value, "The Augmented Workforce: Human AI is the Future of Work," IBM. Accessed: Aug. 2, 2024. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/en-us/report/augmented-workforce>

[2] LinkedIn, "Future of Work Report: AI at Work," Consultado: Agosto 6, 2024. [En línea]. Disponible: <https://economicgraph.linkedin.com/content/dam/me/economicgraph/en-us/PDF/future-of-work-report-ai-august-2023.pdf>

[3] K. Ellingrud, S. Shanghái, G. S. Dandona, A. Madgavkar, M. Chui, O. White, et al., "Generative AI and the future of work in America," McKinsey Global Institute, 2023. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/generative-ai-and-the-future-of-work-in-america>

- [4] M. Menekse, "Envisioning the future of learning and teaching engineering in the artificial intelligence era: Opportunities and challenges," *J. Eng. Educ.*, vol. 112, no. 3, pp. 578–582, Jul. 2023. Available: <https://doi.org/10.1002/jee.20539>
- [5] T. Follows, "The End of School as You Know It: Education in 2050," GoStudent Ltd., 2023. [Online]. Available: <https://hello1.gostudent.org/en/education-in-2050/>
- [6] A. Johri, A. S. Katz, J. Qadir, and A. Hingle, "Generative artificial intelligence and engineering education," *Journal of Engineering Education*, vol. 112, no. 3, pp. 572–577, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1002/jee.20537>
- [7] S. Noy, M. W. Zhang, N. Agarwal, D. Autor, L. Barros, T. Benheim, et al., "Experimental Evidence on the Productivity Effects of Generative Artificial Intelligence," 2023. [Online]. Available: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adh2586>
<https://doi.org/10.1002/jee.20539>
- [8] E. Sabzalieva and A. Valentini, "ChatGPT e Inteligencia Artificial en la educación superior: Guía de inicio rápido," UNESCO IESALC, Caracas, Venezuela, 2023, Accessed: July 15, 2024. [Online]. Available: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385146_spa
- [9] A. Johri, A. S. Katz, J. Qadir, and A. Hingle, "Generative artificial intelligence and engineering education," *J of Engineering Edu*, vol. 112, no. 3, pp. 572–577, 2023, doi: 10.1002/jee.20537. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jee.20537>. [Accessed: July. 13, 2024]
- [10] UNESCO, "AI and education: Guidance for policy-makers," UNESCO, 2021, Accessed: Aug. 11, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.54675/PCSP7350>
- [11] UNESCO, " ChatGPT e Inteligencia Artificial en la educación superior: Guía de inicio rápido," UNESCO, 2023. [Online]. Available: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385146_spa
- [12] G. Van Den Berg and E. Du Plessis, "ChatGPT and Generative AI: Possibilities for Its Contribution to Lesson Planning, Critical Thinking and Openness in Teacher Education," *Education Sciences*, vol. 13, no. 10, p. 998, 2023. [Online]. Available <https://doi.org/10.3390/educsci13100998>.
- [13] UNESCO, "Guidance for generative AI in education and research," 2023. [Online]. Available: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693.locale=es>.
- [14] UNESCO IESALC, "Oportunidades y desafíos de la era de la inteligencia artificial para la educación superior: Una introducción para los actores de la educación superior," 2023. [Online]. Available: <https://bit.ly/48YzY8b>
- [15] L. Codina, "Inteligencia artificial generativa (GenAI) para el ámbito académico: primeras exploraciones, usos, herramientas, evaluación y propuestas," *Lluís Codina Blog*, Jul. 2024. [Online]. Available: <https://www.lluiscodina.com/inteligencia-artificial-generativa-academia/>. [Accessed: July. 23, 2024].
- [16] C. K. Lo, "What Is the Impact of ChatGPT on Education? A Rapid Review of the Literature," *Education Sciences*, vol. 13, no. 4, p. 410, Apr. 2023, doi: 10.3390/educsci13040410. Available: <https://www.mdpi.com/2227-7102/13/4/410>. [Accessed: Aug. 13, 2024]
- [17] Artificial Intelligence (AI)," Springer, 2024. [Online]. Available: <https://www.springer.com/gp/editorial-policies/artificial-intelligence--ai-/25428500>. [Accessed: 12-Aug-2024].

IMPLEMENTACIÓN DEL CICLO DEMING EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE ANTIGENOS DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE VACUNAS

Valdés-Álvarez Alejandra C.^{1*}, Calderón-Jiménez Antonio², Méndez-Rivera Caín³, Hernández-Sánchez Luis A.⁴, González-González Eric⁵

¹Tecnológico Nacional de México /ITS Ciudad Serdán, Ave. Tecnológico s/n Colonia La Gloria, Cd Serdán, Puebla C.P 75520

*avaldez@cdserdan.tecnm.mx,

Área de participación: **Ingeniería Industrial**

Resumen

Este proyecto se centra en la implementación de un ciclo Deming, para el control de la producción y la planificación de la misma, en una empresa dedicada a la elaboración de vacunas, con el objetivo de solucionar problemas de producción de antígenos, en el que a través de la integración de las órdenes de producción, permita planificar de manera estratégica el trabajo, controlar inventarios, y corregir sistemáticamente los costos, por medio de la utilización de herramientas y métodos de ingeniería, para identificar los problemas y causas raíces, mediante la elaboración de indicadores que sirven de apoyo para establecer la mejora continua.

Palabras clave: *Planificación, Producción, Antígenos.*

Abstract

This project focuses on the implementation of a Deming cycle, for production control and planning, in a company dedicated to the production of vaccines, with the aim of solving antigen production problems, in which Through the integration of production orders, it allows strategic planning of work, control of inventories, and systematic correction of costs, through the use of engineering tools and methods, to identify problems and root causes, through the elaboration of indicators that serve as support to establish continuous improvement.

Key words: *Planning, Production, Antigens.*

El presente trabajo se realizó en una empresa que se dedica a elaborar vacunas, es reconocida como de clase mundial, especializada en la producción y distribución de productos de la más alta calidad, aplicable a la identificación, prevención y solución del capital humano que necesita vacunas vivas, inactivas, reconvivantes, liofilizadas y de aspersión. Está dividida por departamentos, siendo la de mayor relevancia para este trabajo el área de "producción de antígenos", que accede a desarrollar la creatividad a través de la implementación de métodos que permiten gestionar la calidad, mediante herramientas diseñadas para la organización y, que por medio de la metodología del ciclo Deming, se realizó la implementación de herramientas para la resolución de problemas de manera sistemática y estructurada para establecer objetivos e implementarlos en los procesos.

La implementación del ciclo Deming, permite cubrir las necesidades de la organización y especialmente en el área de "producción de antígenos".

Metodología

El ciclo PDCA o también denominado como Ciclo Deming, se compone por 4 etapas, las cuales son: planificar (plan), hacer (do), verificar (check) y actuar (act) [1]. A continuación, se describen cada una de las etapas anteriores y la forma en que se implementó dentro del departamento de antígenos de una empresa productora de vacunas.

1. Etapa de planear:

Se tomaron en cuenta el número de quejas que tiene la empresa en el departamento de compras, dado que se encuentran un 89% más altas que el año pasado, y se centran en la entrega tardía de los productos que se solicitan, se analizaron 376 quejas de clientes principales de la empresa, a los cuales, si se les dio un seguimiento puntual, dado que presentaron formatos de recesión de contratos y quejas escritas por teléfono, correo electrónico o asistieron personalmente a la empresa. Se les aplicaron 4 técnicas que contribuyen al análisis de causas raíces para la comprensión del problema a resolver, dado que ya se presentan pérdidas económicas y posible despido de personal. Cabe mencionar que la empresa productora de vacunas está en proceso de transición, dado que un laboratorio más grande la ha comprado y en este momento se encuentra en la etapa de aprendizaje de métodos de trabajo, sistemas informáticos y procedimientos. A continuación, se describen que herramientas o técnicas se usaron.

- A. Técnica de los 5 Porqués:** Con la información inicial que se brinda, permite descubrir el ¿Por qué? es tan importante generar la documentación [2], se llevó a cabo una reunión con el personal clave a cargo del departamento y, así, analizar las causas que generaron que, en el área de producción de antígenos, no se haya exigido la priorización del lanzamiento de las órdenes.
- B. Diagrama de Ishikawa:** Este diagrama permite visualizar las variantes en las que se identifican los puntos más relevantes de un sistema deficiente [3], como las diferentes variantes y relaciones del departamento afectado, teniendo como resultado las causas como el diseño, el personal, el desarrollo, el método, las herramientas, y que estos tienen subconjuntos en las que se explica de manera más detallada las deficiencias que tenía el departamento.
- C. Diagrama de flujo:** El sistema indica que posterior a que se realiza un lanzamiento de una orden de producción, en un software llamado LX, tendría que ser evaluada y autorizada por el departamento de control de calidad, siguiendo los pasos del diagrama de flujo de la organización, de no cumplirse con dicho proceso, no podría iniciarse la producción y quedaría detenida hasta que se autorice.
- D. Técnica de 5W + 2H:** Con la ayuda del diagrama de flujo se buscó visualizar de manera clara las etapas del proceso, para después aplicar las 5w+2H, para conocer por medio de preguntas, las afectaciones que el departamento tiene, y como se ve afectado directamente el control de sus inventarios, de la materia prima y del producto terminado e inclusive que no se controla el tiempo de la mano de obra, con base en toda esta información, se realizó un diagnóstico de áreas de oportunidad, y a su vez se proponen soluciones a dichos problemas.

El proceso que se lleva a cabo para la realización de órdenes de producción, empieza en el registro en el sistema hasta que el departamento de producción de antígenos, lo reporta al área de planeación, ya sea, porque es necesario realizar un consumo de producto terminado o para ajustar su inventario de materias primas, pero no siempre, dada la carga de trabajo se revisa el nivel del inventario, sólo se registra un posible valor conforme la experiencia de la persona que recibió el pedido, del mismo modo se presentan cuellos de botella, porque no se tiene un seguimiento puntual, esto no permite fluir de forma eficiente el proceso en las áreas.

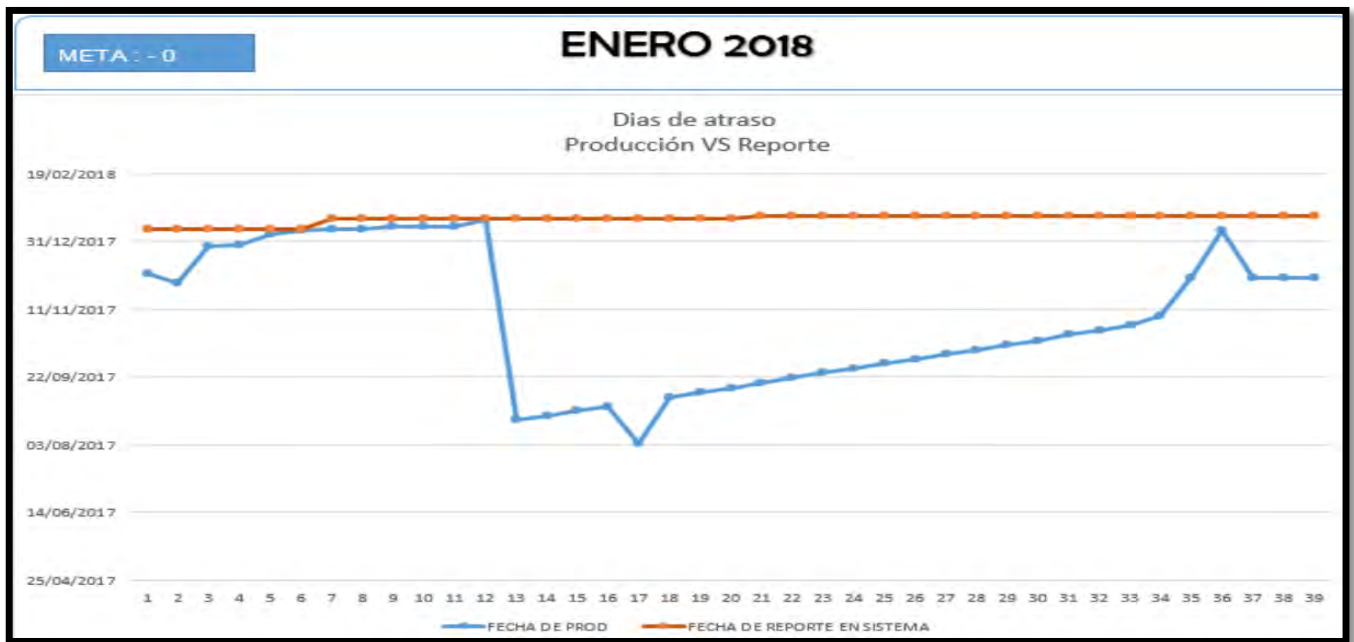
A continuación, se muestra un análisis más completo en el que se puede identificar la magnitud del problema, generado por los atrasos que existen entre el tiempo de producción y el tiempo que transcurre para que se elabore la orden de producción en el sistema. Para ello se elaboró un informe de autoría propia, que no existía y en el que se puede apreciar de manera mensual la cantidad de reportes de producciones que se generaron con días de atraso, durante los meses de enero a julio del 2018, y la manera en que esto impacta a la empresa. Se describe de izquierda a derecha la siguiente información:

1. Código, es asignado por el departamento de planeación a cada uno de los productos desarrollados, considerando para ello ciertos lineamientos que se describen en un procedimiento elaborado por el departamento de control de calidad, y de estricto control en manejo y consultas.
2. Descripción del producto, en este apartado se describe el nombre del producto, el cual, es asignado por el área de investigación y desarrollo de nuevos productos.
3. Lote, es el que controla el consecutivo y estricto control del producto. Era asignado por el mismo departamento de "producción de antígenos" hasta hace un par de meses atrás, pero ahora lo controla el departamento de calidad por medio de un procedimiento nuevo, y lo asigna el área de planeación, al tiempo en que realiza una orden para una producción.
4. Fecha de producción, indica el tiempo real en que se elaboró el producto.
5. Fecha de reporte en sistema, marca el tiempo real en el que se reporta el producto en el sistema.
6. Días con atraso, muestra la cantidad de días acumulados entre la fecha real de la producción y la fecha en que se realizó el reporte en el sistema. Ejemplo: del 07 de diciembre del 2017 al 09 de enero del 2018 han transcurrido 33 días.

DIGO	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	LOTE	FECHA DE PROD	FECHA DE REPORTE EN SISTEMA	DIAS CON ATRASO
5024001310	MEDIO MEM	071217	07/12/2017	09/01/2018	33
5024000530	CALDO ICC	301117	30/11/2017	09/01/2018	40
5024001795	TRIPSINA AL 0.25%	281217	28/12/2017	09/01/2018	12
5024001310	MEDIO MEM	291217	29/12/2017	09/01/2018	11
5024001795	TRIPSINA AL 0.25%	050118	05/01/2018	09/01/2018	4
5024000530	CALDO ICC	080118	08/01/2018	09/01/2018	1
5024001390	PBS IX	090118	09/01/2018	17/01/2018	8
5024000530	CALDO ICC	090118	09/01/2018	17/01/2018	8
5024001310	MEDIO MEM	110118	11/01/2018	17/01/2018	6
5024001420	PLACAS AGAR ICC	110118	11/01/2018	17/01/2018	6
5024001425	PLACAS AGAR MACCONKEY	110118	11/01/2018	17/01/2018	6
5024000535	CALDO SOYA TRIPTICASEINA	160118	16/01/2018	17/01/2018	1
5024000570	CULTIVO DE HEPATOCITOS	210817	21/08/2017	17/01/2018	149
5024000570	CULTIVO DE HEPATOCITOS	240817	24/08/2017	17/01/2018	146
5024000570	CULTIVO DE HEPATOCITOS	280817	28/08/2017	17/01/2018	142
5024000570	CULTIVO DE HEPATOCITOS	310817	31/08/2017	17/01/2018	139

Tabla 3. Información enero

En el mes de enero se reportó al sistema un total de 39 productos, de los cuales, ninguno fue reportado antes o igual a su fecha de elaboración, como se puede visualizar en la gráfica del mes de enero del 2018 que se muestra a continuación.



Gráfica 1. Reporte mes de enero

En la gráfica 2, se colocó del lado izquierdo una tabla de resumen, primero presenta la cantidad de productos que fueron reportados con días de atraso, en cada uno de los meses considerados, tomando de enero a julio, y hacia abajo, se muestra el promedio entre los siete meses, que es de 37 productos por mes, además de hacer la sumatoria del total de los productos reportados en todos los meses, arrojando un total de 260 productos por los siete meses. También se alcanza a apreciar de manera representativa, el costo de acuerdo a los meses en que se generaron los reportes, y de acuerdo a esto, en promedio se dejaron de reportar \$ 318,219.07 por mes, lo cual, tiene un impacto sobre el presupuesto mensual, la existencia de inventario y desbalance en el costo de mano de obra, afectando no sólo el mes en el que se produce, sino el mes en el que se reporta, generando un costo total de \$2, 227,533.49 de enero a julio del 2018.

CANTIDAD DE PRODUCTOS	MES	IMPORTE
39	ENERO	\$ 329,674.58
42	FEBRERO	\$ 362,329.84
17	MARZO	\$ 108,099.22
42	ABRIL	\$ 324,081.74
40	MAYO	\$ 461,898.37
49	JUNIO	\$ 389,604.82
31	JULIO	\$ 251,844.91
N/A	AGOSTO	N/A
N/A	SEPTIEMBRE	N/A
N/A	OCTUBRE	N/A
N/A	NOVIEMBRE	N/A
N/A	DICIEMBRE	N/A
37	PROMEDIO	\$ 318,219.07
260	TOTAL	\$ 2,227,533.49



Gráfica 2. Reporte mes de enero

2. Etapa de Hacer:

Una vez que se analizó la situación del departamento de antígenos, se procedió a la implementación del ciclo Deming. Las mejoras que se realizaron fueron las siguientes:

1. Diseño de un plan de producción eficiente.
2. Capacitación al personal.
3. Control del inventario.
4. Indicadores visuales.
5. Círculos de calidad.
6. Manual de procedimientos.

3. Etapa de Verificar:

Una vez implementado el ciclo Deming, se llevó a cabo la recolección de información con la finalidad de analizar la mejora en el departamento de producción de antígenos. En la gráfica 3, se muestra que, en el mes de septiembre, una vez que se dio la implementación de las mejoras, se empezó a reducir los días de entrega a destiempo a los clientes, mostrándose la tendencia a la reducción.



Gráfica 3. Reporte de septiembre

En el mes de septiembre se empezó a observar la mejora en el sistema, y la transición siguió, y gracias a lo implementado, desde el mes de agosto a diciembre, se muestra que en tres meses permaneció con pérdidas, pero los últimos meses del año se reportan en cero, este logro alcanzado es por medio de las herramientas o técnicas involucradas en el presente trabajo.

De igual manera se realizó la comunicación con los clientes de inicio, es decir, los que presentaban quejas y cancelaciones de pedidos, por el tiempo de entrega deficiente, y se observan resultados positivos, porque ahora realizan pedidos y se entregan a tiempo.

En México esta empresa nació como necesidad en el mercado sin conocimientos de ingeniería, y gracias a las aportaciones de las técnicas y herramientas, se logró una reducción significativa en el tiempo de elaboración de las vacunas, control de la producción y documentación necesaria en el proceso.

4. Etapa de Actuar:

En esta última etapa se alcanzaron las metas iniciales y se aplicaron las propuestas generadas con anterioridad, como parte de la mejora continua se estableció que se realizará un monitoreo de los indicadores de producción y en caso de tener desviaciones del sistema se aplicaran acciones correctivas correspondientes.

Resultados y discusión

Resultados de los 5 porqués: Se realizó una reunión con el personal clave a cargo del departamento, y de esta manera poder analizar las causas que generaron que el área de producción de antígenos, no haya exigido la priorización del lanzamiento de las órdenes, y además evaluar los elementos que tendrían que haberse considerado desde la implementación del nuevo sistema.

5 PORQUÉS					
ANÁLISIS DE LA CAUSA RAÍZ DEL PROBLEMAS					
¿Por qué?	Porque 1	Porque 2	Porque 3	Porque 4	Porque 5
¿Por qué se está realizando el lanzamiento de órdenes de producción posterior a la elaboración del producto?	No se lleva un control en los requerimientos de producción	No hay control en sus inventarios	Control de Calidad no está interfiriendo en la inspección del proceso	Planeación no está generando un plan de producción estratégico	El departamento de planeación no interfiere en la planificación del área de Producción de Antígenos
¿Por qué no se consideró el lanzamiento de las órdenes de producción en el sistema ERP?	Los consultores visualizaron el área de Producción de Antígenos como un departamento independiente.	El área de planeación no paso la información correcta.	Se cambió el personal de planeación y esto no hizo la trazabilidad correcta.	El área de planeación no conocía la forma de trabajo, con la que están ligados los departamentos y las áreas de producción de IASA.	Se realizó una planificación deficiente en la integración de empresas.
¿Por qué no se está generando la planificación adecuada?	El departamento de planeación no ha dado seguimiento	Es un proceso tardado y de seguimiento constante	Implica implementar técnicas que ayuden a fluir el proceso	El departamento de planeación no se involucra	Falta de comunicación entre los departamentos de; Planeación, Prod. Antígenos y Control de Calidad

Figura 1. Los 5 porqués.

Resultados del Diagrama de Flujo: El sistema indica que posterior a que se realiza un lanzamiento de una orden de producción, en el software LX, tendría que ser impresa para ser evaluada y autorizada por el departamento de control de calidad, siguiendo los pasos como se describen en el diagrama de flujo, que se muestra a continuación:

Diagrama de Flujo para Autorización de Ordenes de Producción

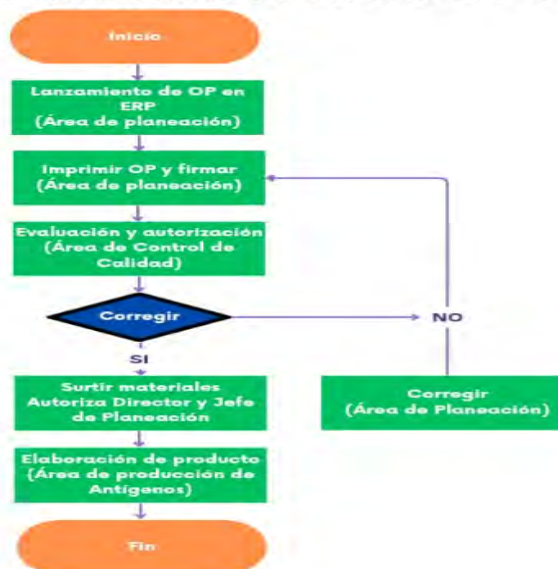


Figura 2. Diagrama de flujo para la autorización de ordenes de producción.

Resultados del Diagrama de Ishikawa: Mediante una nueva lluvia de ideas, se generó un análisis por medio de un diagrama de Ishikawa, con el personal del departamento afectado (producción de antígenos). En este diagrama se pueden visualizar las variantes que permiten identificar los puntos más relevantes de un sistema deficiente, y que conllevaron a la situación que hoy se presenta en la empresa.

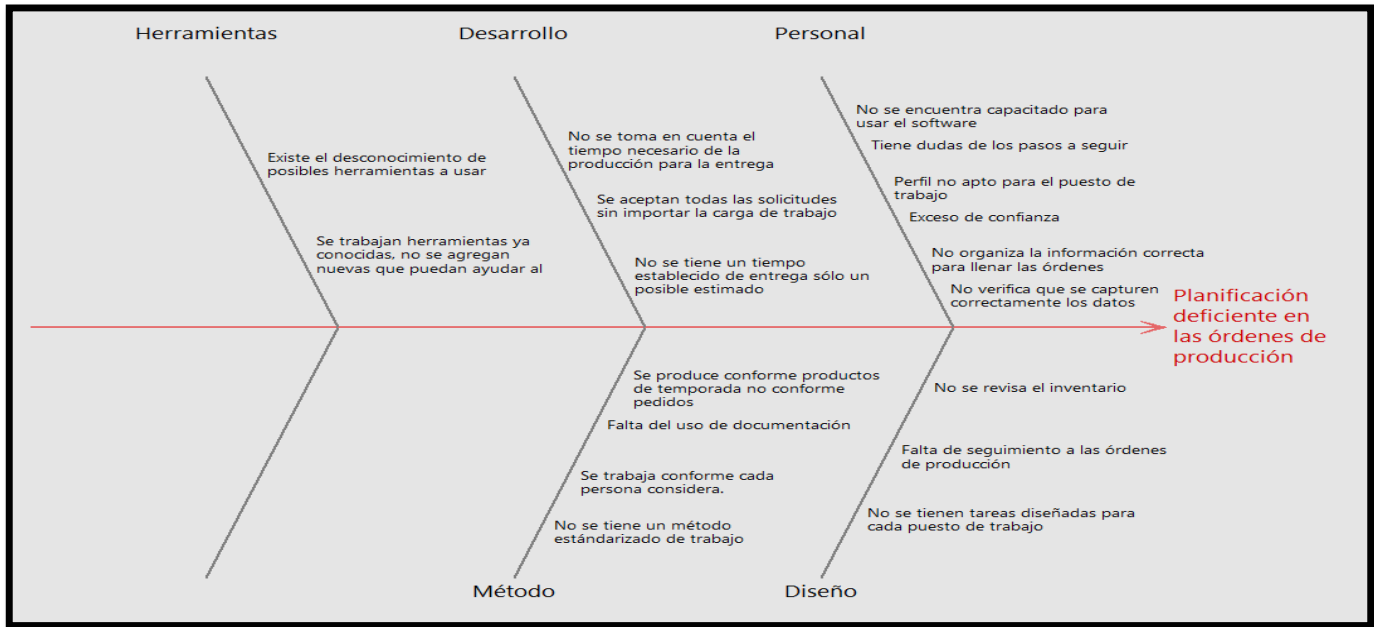


Figura 3. Diagrama de Ishikawa

Resultados de la Técnica 5W + 2H: La tabla 1, representa el diagnóstico de problemas que tiene el departamento, mientras que la tabla 2, visualiza la solución de los problemas conforme lo obtenido en reuniones de trabajo, con las personas involucradas en el proceso.

5W + 2H Diagnóstico de problemas			
What?	¿Qué?	Problema que se presenta:	1. No se tiene controlada la planeación de sus producciones y tampoco cuenta con un plan de producción estratégico que le permita accionar anticipadamente las órdenes que se requieren para iniciar una producción. 2. Posterior al lanzamiento de una orden de producción en el sistema, esta tendría que ser evaluada y autorizada por el departamento de Control de Calidad para que se verifique que todos los materiales están en regla, es decir, que se encuentran liberados y que cuentan con su vigencia de utilidad.
Where?	¿Dónde?	Lugar dónde ocurre el problema:	En el área de "Producción de Antígenos", de la empresa Sanfer-IASA.
When?	¿Cuándo?	Referencia del tiempo:	A partir de la implementación del nuevo sistema ERP (LX) que se generó en la fusión de empresas Sanfer-IASA.
Who?	¿Quién?	Participa en el problema:	El área de Planeación y Control de Calidad.
How?	¿Cómo?	Forma en que ocurre el problema:	No se está cumpliendo con los lineamientos que marca el sistema.
Why?	¿Porque?	Causa probable de que ocurra el problema:	En el departamento de Producción de Antígenos no se implementó el sistema de trabajo que se aplica en el área de producción del producto terminado (Biológicos).
How Much?	¿Cuanto?	¿Cuántos problemas se dan en un mes? ¿Cuánto dinero está implicando?	Considerando los meses de Enero a Julio 2018, en promedio se dejaron de reportar unos 37 productos mensuales que equivalen en costo \$ 318,219.91 pesos y sumando los siete meses contemplados en total son 260 productos con un importe de \$ 2,227,533.49 pesos.

Tabla 1. Tabla de Técnica 5W+2H del diagnóstico de problemas.

5W Y 2H En la solución de problemas			
What?	¿Qué?	Problema se quiere mejorar:	Elaborar un plan de trabajo estratégico para la producción, que le permita accionar anticipadamente sus órdenes desde el sistema y puedan ser evaluadas y autorizadas por el departamento de Control de Calidad, para que este a su vez, verifique que todos los materiales a consumir, están vigentes y se encuentran en regla de acuerdo a sus especificaciones para que se puedan utilizar.
Why?	¿Porque?	Se quiere mejorar:	Para implementar un método de trabajo que ayude a corregir un problema de gestión logística en la planificación y control eficiente del flujo de materiales y producto terminado, así como el flujo de información relacionada con la parte del costo y mano de obra aplicada en el procesos de los productos.
When?	¿Cuándo?	Referencia del tiempo:	Una semana antes de que dé inicio el mes a la producción.
Where?	¿Dónde?	Lugar dónde se va a mejorar:	En el área de "Producción de Antígenos", de la empresa Sanfer-IASA.
Who?	¿Quién?	Participa en la mejora:	El área de Planeación, Producción de Antígenos y Control de Calidad. (Residente)
How?	¿Cómo?	Lo va a mejorar:	Recopilando los datos de productos que requiere el rea solicitante.
How Much?	¿Cuanto?	Costo de producto?	La empresa podrá visualizar su gasto mensual oportuno y accionar su presupuesto mensual considerando en promedio \$ 318,219.91 pesos.

Tabla 2. Tabla de la Técnica 5W + 2H sobre las soluciones de mejora.

A continuación, se describen los resultados obtenidos en esta etapa, los cuales, son los siguientes:

1. Diseño de un plan de producción eficiente: Empezó con un catálogo de productos existentes, dado que se desconocía y no estaban dados de alta en ningún departamento, sólo se tenía el conocimiento de los productos más vendidos de la empresa, por la experiencia de los trabajadores con más tiempo en el área de producción de antígenos. Esta acción tuvo como resultado el lanzamiento de ordenes de producción más eficientes una vez identificados todos los productos de la empresa. El catálogo de los productos incluyó un código para cada uno, la descripción, las unidades en que se tienen y por último cantidad de lotes. Se muestra continuación lo explicado.

CODIGO	DESCRIPCION	U/M	ILOTS
5024000012	ACS IA H5N2 L-20	ML	300
5024000013	ACS IA H5N2 L-21	ML	300
5024000014	ACS IA H7N3 L-22	ML	300
5024000015	ACS IA H5N2 L-27	ML	400
5024000016	ACS IA H5N2 L-30	ML	400
5024000018	ACS IA SUBTIPO H5N2	ML	300
5024000021	ACS INFLUENZA PORCINA H1N1	ML	300
5024000022	ACS INFLUENZA PORCINA H3N2	ML	300
5024000070	AG SHP-IAP/92 INACTIVADO	L	2.5
5024000176	AG E COLI CEPA 01/192 INACTIVADO	KG	16
5024000177	AG E COLI CEPA 01/45 INACTIVADO	KG	16
5024000178	AG E COLI CEPA 02 INACTIVADO	KG	16
5024000179	AG E COLI CEPA 035 INACTIVADO	KG	16

Figura 4. Catálogo de la empresa

2. Capacitación al personal: Existía desconocimiento o dudas sobre el software LX, que es el encargado del registro de órdenes de producción, por lo cual, se capacitó al personal sobre la información necesaria para el uso correcto, haciendo hincapié en las fechas de registro y la fecha de entrega de las vacunas. Así como la creación de usuario y contraseña de cada persona que registra las órdenes de producción.



Figura 5. Página de inicio del software LX

3. Control del inventario: Se llevó a cabo el correcto manejo del inventario, empezando con el registro del mismo en el sistema, actualizándose en cada momento de ingresar una orden de producción, dada esta acción se consiguió la información necesaria para elaborar después planes maestros de producción.

Art	5024000270	Grp	Existen	43070.960
Desc	AG IA H5N2 232/94/CPA		Asign cl	.000
Ins	IS + UM ventas KG UM compra KG UM exist KG		Asig fabr	1174.690
Tipo	I Plano/Formul		En orden	2700.000
			Dispon	41896.270
PLC	Can mes	Cant a/o	Clase BD % rend	100.00
Saldo apertura	38107.2700		Tamaño lote est	900.000
Salida	4381.3100		Tasa tiempo ap	900.000
Recepcs	10487.0000		Dias tiemp apr fijo	10
Ajustes	1122.0000-		Tiem apr var	
Unid vendid	.0000		Politica ord J Tam lote mul	
Impor ven	.00		Dias horizon 1 Cod MRP/MPS N	
List/catalog			Dias p/ords per	000
Prec lista		KG	Cod planific P05 Cod compr	
Cost est	601.10494		Conv UM comp	1.00000
Costo real	489.64432		Conv UM vent	1.00000
Cod descuento			Existencias min	
Proveed / Nomb proveed/Cod art				

Figura 6. Control del inventario del software LX

4. Indicadores visuales: Se documentaron los indicadores de producción, y se evaluaron los métodos de trabajo. En este punto se llevó a cabo la calendarización para la producción de antígenos, y como meta se establece la entrega de los productos dentro del tiempo establecido. De igual forma se propone la elaboración de calendarios de producción visuales con la finalidad de que la comunicación se encuentre lo más clara posible.

Fecha de elaboración: 05-Nov-2018

CALENDARIO PARA PRODUCCION DE ANTÍGENOS

NOVIEMBRE						
LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
			1	2 Suspensión de labores	3	4
5	6	7 5024000530 # 29002 CALDO ICC 75 L LOTE: SLICCLV07	8	9 5024001620 #29003 S. HEPES 20 MM 4 L LOTE: 'SLHEPLV02	10	11
12 5024001310 #29004 MEDIO MEM 10 L LOTE: SLMEMLV18	13	14 5024000535 #29289 C. SOYA TRIP. 1 L LOTE: SLCSYLV04	15	16 5024000500 #29290 BICARBONATO DE SODIO AL 7% 1 L LOTE: SLBICLV02	17	18
19 Suspensión de labores	20 5024000530 # 29291 CALDO ICC 75 L LOTE: SLICCLV08	21	22 5024001795 # 29292 TRIPSINA AL 0.25% 3 L LOTE: SLT25LV05	23	24	25
26 5024001430 # 29291 P AGAR SANGR 11 L LOTE: SLICCLV08	27	28 5024001310 #29294 MEDIO MEM 10 L LOTE: SLMEMLV19	29	30		

Figura 7. Calendario de producción

5. Círculos de calidad: Se decidió la implementación de círculos de calidad, con la finalidad de presentar los hallazgos encontrados en la fecha correspondiente, causas raíces y posibles soluciones para el sistema. Cada reunión tendrá como evidencia la lista de asistencia y minutas elaboradas donde se plasmen los compromisos y trabajo con fecha de entrega y responsable.



Figura 8. Círculos de calidad

6. Manuales de procedimientos: El diseño de manuales de procedimientos e instructivos de trabajo, se llevó a cabo en la implementación del ciclo Deming, esto con la finalidad de disminuir los errores humanos, dado que existían dudas de cómo realizar procedimientos necesarios para la generación de las ordenes de producción, identificación de lotes, códigos, etc. En lo antes descrito se menciona que se capacitó al personal, pero también se llevó a cabo la documentación con la finalidad de contribuir a la capacitación de las personas involucradas en el proceso, ya sean de nuevo ingreso o personal contratado con anterioridad.

	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ESTÁNDARES DE OPERACIÓN	Código: IA: PEO/SH/0001	Versión: 02
		Página:	13 de 13
	ASIGNACIÓN DE NUMERO DE LOTE	Vigente hasta:	Julio 2020

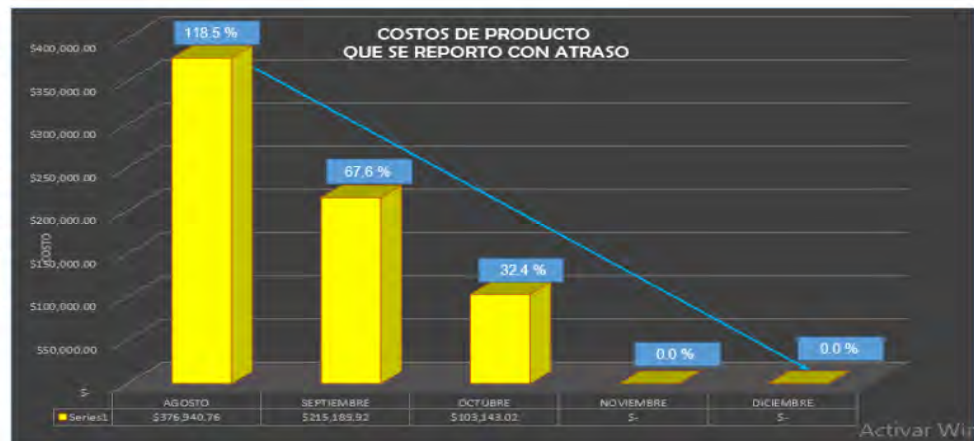
ANEXO 5. CLAVES PARA LOTEAR LAS SOLUCIONES DE PRODUCCIÓN DE ANTÍGENOS.

Soluciones	Lote
Agar ICC	SLAIC
Agar Macconkey	SLMAC
Agar sangre	SLASA
Azul de tripan 0.4%	SLAZT
Bicarbonato de sodio 7%	SLBIC
2-Bromoetilenamina 0.1M	SLBRO
Caldo ICC	SLICC
Caldo soya	SLCSY
Caldo TPB	SLTPB

Figura 9. Manual de procedimientos

Los resultados obtenidos, se presentan en la gráfica 4, en la cual, se observa que a partir de los meses de noviembre y diciembre ya no se presentan pérdidas económicas, reduciéndose los porcentajes de 118.5% a 0%, y desde agosto a diciembre se muestra una tendencia a la reducción. Se confirmó con el departamento de ventas la disminución de la cancelación de pedidos y quejas de los clientes de la empresa.

Cantidad Productos	MES	IMPORTE
39	ENERO	\$ 329,674.58
42	FEBRERO	\$ 362,329.84
17	MARZO	\$ 108,099.22
42	ABRIL	\$ 324,081.74
40	MAYO	\$ 461,898.37
49	JUNIO	\$ 389,604.82
31	JULIO	\$ 251,844.91
40	AGOSTO	\$ 376,940.76
40	SEPTIEMBRE	\$ 215,189.92
20	OCTUBRE	\$ 103,143.02
9	NOVIEMBRE	\$ -
N/A	DICIEMBRE	\$ -
22	ACUMULADO DE AGOSTO A NOVIEMBRE	\$ 695,273.71



Gráfica 4. Reporte final

Dados los resultados obtenidos en la reducción de días de entrega, se quedó como acuerdo la implementación del ciclo Deming de manera periódica, con la finalidad de la detección de áreas de oportunidad a tiempo para su corrección y atención. Incluyendo la documentación y seguimiento hasta el control, reducción o eliminación de las observaciones en medida de lo posible.

La implementación del ciclo Deming en el sistema de producción de antígenos de una empresa mexicana dedicada a la fabricación de vacunas, dio lugar a resultados significativos. La entrega tardía de productos ocasionaba pérdidas económicas. Además, la adquisición de la empresa por parte de una compañía más grande al principio causó inestabilidad. Sin embargo, gracias a las etapas del ciclo Deming, la empresa logró un control eficiente de sus procesos internos y externos, realizando un análisis exhaustivo de todas las variables involucradas en la producción de vacunas, lo que permitió reducir errores y mejorar la toma de decisiones en cada área.

Trabajo a futuro

Se propone el seguimiento a las herramientas implementadas, con la finalidad de conservar los resultados obtenidos hasta este momento, del mismo modo la capacitación constante del personal de nuevo ingreso o al que ya se tiene contratado, sobre temas de mejora continua y calidad.

Conclusiones

La selección correcta de los métodos y herramientas que fueron utilizados en el presente trabajo, representaron la base para la implementación de indicadores gráficos, tablas, manuales de procedimientos, catálogos de productos, etc. Estos ayudaron a medir la eficiencia del sistema e implementar el ciclo Deming exitosamente, para el control de la producción, en el área de antígenos de una empresa dedicada a la elaboración de vacunas vivas, inactivas, reconvivantes, liofilizadas y de aspersión. Se tuvieron que realizar diferentes actividades, así como la implementación de métodos y herramientas, ya que se organizó correctamente la información entre los diferentes departamentos, y de esta manera se fortalecieron las debilidades existentes en la generación de ordenes de producción hasta la elaboración de las vacunas, así mismo se enriquecieron las fortalezas de la organización, y se trabaja por una cultura de calidad, que incluya a la mejora continua en sus procesos. Se implementaron círculos de calidad entre los departamentos de planeación, producción de antígenos y control de calidad, para que esto les permitiera fluir la información relacionada con su sistema de trabajo. El principal resultado fue la disminución de los días de entrega de vacunas, que paso de un rango entre 1 a 265 días en promedio de retraso a entregarse a tiempo, lo cual, detuvo la recesión de contratos que sufría la empresa y el número elevado de quejas por parte de los clientes principales.

Agradecimientos

Al departamento de Investigación y Posgrado del Tecnológico Nacional de México campus Ciudad Serdán.

Referencias

- [1] Mura, M., & Duflou, J. R. (2021). "The Deming Cycle: A New Approach to Lean Manufacturing." *International Journal of Production Research*, 59(12), 3648-3663. doi:10.1080/00207543.2020.1820195.
- [2] George, M. L. (2021). *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook: A Quick Reference Guide for Improving Quality, Process Control, and Profitability*. McGraw-Hill. (Incluye los 5 porqués como herramienta de mejora continua)
- [3] Snee, R. D. (2021). "The Ishikawa Diagram: A Tool for Continuous Improvement." *Quality Progress*, 54(7), 26-31. (Exploración de su uso en procesos de mejora continua)
- [4] Dutta, A. (2022). "Applying the Deming Cycle in Agile Software Development." *Journal of Software Engineering and Applications*, 15(3), 120-134. doi:10.4236/jsea.2022.153008.
- [5] Zhang, Y., & Li, X. (2023). "Integrating the Deming Cycle into Project Management for Continuous Improvement." *Project Management Journal*, 54(1), 24-36. doi:10.1177/87569728211047202.
- [6] Smith, J. (2020). "Quality Management: The Legacy of W. Edwards Deming." *Quality Management Journal*, 27(4), 214-223. doi:10.1080/10676979.2020.1795128

- [7] Sweeney, S. (2021). "Implementing the Deming Cycle for Quality Improvement in Healthcare." *Journal of Health Organization and Management*, 35(6), 734-746. doi:10.1108/JHOM-09-2020-0322.
- [8] Kumar, R., & Singh, A. (2022). "Revisiting Deming's Principles: Lessons for Modern Manufacturing." *International Journal of Quality & Reliability Management*, 39(3), 563-576. doi:10.1108/IJQRM-04-2021-0142.
- [9] Park, J. H., & Lee, K. (2023). "Adapting the Deming Cycle for Sustainable Business Practices." *Sustainability*, 15(2), 1124. doi:10.3390/su15021124.
- [10] Jadhav, J. R., & Pandiya, S. (2022). "Effectiveness of the Deming Cycle in Service Industries: A Case Study." *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(5-6), 590-601.

REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE PREPARACIÓN EN MAQUINARIA DE CAJAPLAX S. A. CON LA METODOLOGÍA SMED

L. A. Hernández Sánchez^{1*}, A. Calderón Jiménez¹, A. C. Valdés Álvarez¹, C. Méndez Rivera¹, E. González González¹

¹Tecnológico Nacional de México/ ITS de Ciudad Serdán, Av. Instituto, Av. Tecnológico S/N, Col la Gloria, Cd Serdán

Área de participación: **Ingeniería Industrial**

Resumen

El proyecto presentado se centra en la implementación de la metodología SMED (*Single Minute Exchange of Die*) para reducir los tiempos de preparación en la maquinaria de decorado de una planta de producción de envases plásticos. Se identificaron factores clave que contribuyen a los tiempos de cambio, tales como herramientas, materiales, ajustes y pruebas de calidad. Mediante la aplicación de fases preliminares, como la separación de operaciones internas y externas, y la mejora de las operaciones, se logró una reducción significativa en los tiempos de producción, lo que incrementó la eficiencia de la planta.

Palabras clave: SMED, Tiempos de preparación, Envases plásticos, Mejora de procesos.

Abstract

The project presented focuses on the implementation of the SMED (Single Minute Exchange of Die) methodology to reduce setup times in the decorating machinery of a plastic packaging production plant. Key factors contributing to changeover times were identified, such as tools, materials, adjustments and quality tests. By applying preliminary phases, such as the separation of internal and external operations, and improving operations, a significant reduction in production times was achieved, which increased the plant's efficiency.

Key words: SMED, Setup time, Plastic containers, Process improvement.

Introducción

El presente artículo expone la implementación de la metodología SMED en una empresa dedicada a la fabricación de envases plásticos, que utiliza resinas como PET, policarbonato, polipropileno y polietileno para la producción de artículos destinados a aplicaciones médicas y de cuidado personal. Esta empresa cuenta con maquinaria avanzada que incluye procesos de inyección, estirado-soplado, extrusión-soplado, moldeo por inyección, y decoración mediante técnicas como *heat transfer* y *hot stamping*.

El objetivo principal del proyecto se centra en reducir los tiempos de preparación en el área de *Heat Transfer*, donde se identificaron ineficiencias significativas que impactaban a la productividad y los costos operativos. Se aplicó la metodología SMED con el fin de agilizar los tiempos de cambio de lote de producción en una de las seis máquinas del área, realizando pruebas piloto para luego replicarlas en el resto de los equipos. La implementación de esta técnica permitió reducir tiempos

improductivos, minimizar el tiempo ocioso y mejorar la eficiencia general del proceso, todo ello sin incurrir en costos adicionales significativos.

Metodología

El proyecto se llevó a cabo en una empresa que fabrica envases plásticos a partir de resinas higroscópicas (PET y policarbonato) y no higroscópicas (polipropileno y polietileno de alta y baja densidad) para aplicaciones médicas y de cuidado personal. La empresa cuenta con maquinaria avanzada para procesos de inyección, estirado soplado, extrusión soplado, moldeo por inyección, *blíster packs*, *hot stamping*, *heat transfer* y empaquetado. La transformación del plástico comienza en el área de inyección, donde se convierte la resina en envases plásticos. Luego, en la planta cuatro, se realiza el decorado y empaquetado para su envío.

El análisis se centró en el área de *Heat Transfer*, que cuenta con seis máquinas. Mediante observación directa y entrevistas con el Facilitador de producción y el Operador líder, se identificaron problemas como tiempos prolongados de preparación y grandes cantidades de tiempo ocioso, lo que elevaba los costos de producción. Para abordar estos problemas, se implementó la metodología SMED (Ver Figura 1), que busca reducir los tiempos de cambio de lote. [6] Se realizaron pruebas piloto en una máquina con el fin de replicar los resultados en las demás, optimizando así el proceso de decorado.



Figura 1. Metodología utilizada en el proyecto.

Fase Preliminar

En el área de *Heat Transfer* puede trabajar una sola máquina o incluso estar funcionando hasta las seis al mismo tiempo, dependiendo de la cantidad de demanda. El tiempo que se tiene para producir en una jornada laboral es de 8.5 hrs., de las cuales, los tiempos de cambio representan 0.4709 hrs. o 28.254 min., por lo que prácticamente la máquina tiene un porcentaje efectivo de producción del 94.46% y un 5.54% no agrega valor al producto. En la Tabla 1 se muestra el resumen de estos tiempos al funcionar una sola máquina y cuando están funcionando las seis al mismo tiempo, con cálculos por jornada y durante todo un año, de esta manera se dimensiona el tiempo improductivo que generan los cambios del lote, representando una pérdida de tiempo considerable.

Tabla 1. Datos del tiempo de cambio de lote.

No. Maquinas	% sobre jornada laboral (8.5 Horas)	Anualmente en horas. (52 Semanas)
1	5.54%	122.46
6	33.24%	734.76

Se analizó las operaciones y se determinó que existen cuatro factores principales en los cuales se divide el tiempo de cambio de lote de producción de la máquina *Heat Transfer*. A continuación, se describe cómo puede afectar cada uno de ellos en la operación:

Herramienta: para transferir la imagen en el frasco 850 se utiliza una calca, pero no se cuenta con la herramienta necesaria para hacer el cambio de estas, así como para realizar el posicionamiento del mandril y la manipulación de los ajustes de la maquinaria.

Materiales: al terminar de producir un lote del de producción, no se tiene a la mano la materia prima e insumos utilizados para el siguiente lote de producción, por lo que en ese momento se debe solicitar a Almacén.

Ajustes: se debe posicionar y ajustar el mandril para posteriormente ajustar la calca para poder ejecutar la impresión, pero estas actividades se llevan de manera empírica, por lo que se tienen muchos reajustes. Además, la forma del mandril y el tipo de calca influyen, y en algunas ocasiones se rompe la calca, generando una merma.

Pruebas de calidad: una vez que se termina de imprimir el lote de frascos, se le debe hacer una prueba de calidad para poder autorizar el siguiente lote, en ocasiones el analista no se encuentra, por lo que se tienen tiempos de espera, muchos de estos mencionados se encuentran entre los 7 grandes desperdicios. [2]

Para poder visualizar el tiempo que representa cada uno de estos factores, se realizó un estudio de tiempos [4], el cual se puede apreciar en la Tabla 2, visualizando que los factores que más tiempo representan son el ajuste del mandril y la calca, así como de las pruebas de calidad.

Tabla 2. Datos del tiempo de cambio de lote.

No.	Herramienta	Materiales	Ajustes		Pruebas	Tiempo de ciclo
			Mandril	Calca		
1	187.87	98.93	355.97	240.31	1,093.13	1,976.21
2	167.16	42.99	513.39	275.55	1,197.64	2,196.73
3	15.75	46.84	448.67	229.86	633.39	1,374.51
29	72.15	89.14	486.98	286.17	750.87	1,685.31
30	155.12	45.9	501.1	256.11	807.05	1,765.28
Total:	3,474.63	3,963.43	13,663.39	7,082.61	22,689.26	50,693.32
Promedio en Segundos:	115.82	132.11	455.44	236.42	756.64	1,696.43
Promedio en Horas:	0.032	0.036	0.126	0.065	0.21	0.471

Aparte del tiempo, es importante considerar las veces que se presentan incidencias que ocurren en cada factor, por lo que se requiere determinar la frecuencia de cada una de estas, para ello se utilizó una lista de verificación, en la cual se recolectaron las frecuencias ocurridas durante 2 semanas, con la información obtenida se realizó un gráfico de Pareto, ya que este permite determinar cuáles son los factores que tienen mayores incidencias y centrar nuestros esfuerzos en estas para mejorar sus tiempos, [3] el gráfico de Pareto se muestra en la Figura 2, se puede observar que los factores que tienen más incidencias son los del ajuste del mandril, el cual representa un 37.2% de las incidencias totales y el ajuste por calca, el cual representa un 25.1%, por lo cual, si las mejoras se enfocan en estos factores, se podrá tener un impacto en el 62.3% de las incidencias totales.

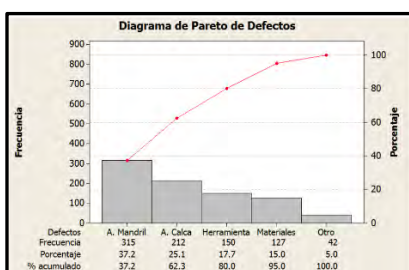


Figura 2. Gráfico de Pareto de incidencias o defectos en cada factor.

El método actual del uso de la máquina de transferencia lo realiza una sola persona. Mediante observación directa y con apoyo de vídeos, se identificaron las tareas que conforman el cambio del lote de producción, estas se dividen en 107 actividades, de las cuales muchas son muy repetitivas y pueden ser disminuidas o eliminadas, según sea el caso. En la Tabla 3 se encuentran enlistadas todas las actividades que conforman el cambio de lote de producción, desde la primera que es el ajuste de la temperatura hasta la última que es el arranque de producción del siguiente lote.

Tabla 3. Operaciones de método actual.

Etapa preliminar: SMED							
Área:	Heat Transfer	Maquina:	Herramientas requeridas:	No.	Operación	No.	Operación
Realiza:	Luis Alberto Hdz. Sánchez	HT-03	Juego de llaves allen, Cúter	35	Reubica posicionamiento de mandril	72	Habilita tensión en calca
	Proceso actual			36	Prueba posicionamiento de silicón con mandril	73	Ajusta temperatura
No.	Operación			37	Reubica posicionamiento de mandril	74	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión
1	Ajusta la temperatura			38	Prueba posicionamiento de silicón con mandril	75	Realiza segunda prueba de impresión
2	Inhabilita tensión en calca			39	Reubica posicionamiento de mandril	76	Retira frasco 850 decorado de mandril
3	Busca herramienta (Cúter)			40	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica	77	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco
4	Corta calca de arte actual			41	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica	78	Ajusta meza
5	Reacomoda calca en el rollo de arte actual			42	Atomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril	79	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión
6	Retira basura de calca de arte actual			43	Atomilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril	80	Realiza tercera prueba de impresión
7	Busca herramienta (Llave allen)			44	Ajusta meza	81	Retira frasco 850 decorado de mandril
8	Retira tornillo allen del R.C.A.A.			45	Realiza despeje de área	82	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco
9	Retira resorte de apoyo al R.C.A.A.			46	Surte frasco, R.C.N.A. y R.D.C.D.N.A	83	Ajusta meza
10	Retira disco de R.C.A.A.			47	Coloca en posición R.C.N.A	84	Deshabilita tensión en calca
11	Retira R.C.A.A.			48	Coloca disco de R.C.N.A.	85	Ajusta temperatura
12	Sella R.C.A.A.			49	Busca herramienta (Llave allen)	86	Busca herramienta (Llave allen)
13	Desamarra R.D.C.D.A.A.			50	Coloca resorte de apoyo a R.C.N.A.	87	Desatomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril
14	Corta basura de R.D.C.D.A.A.			51	Ajusta T.A. en R.C.N.A.	88	Desatomilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril
15	Sella R.D.C.D.A.A.			52	Atomilla T.A. en R.C.N.A.	89	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera fija
16	Retira basura de R.D.C.D.A.A.			53	Coloca en posición calca del nuevo arte	90	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera fija
17	Busca herramienta (Llave allen)			54	Ajusta calca del nuevo arte	91	Atomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril
18	Desatomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril			55	Introduce R.D.C.D.N.A.	92	Atomilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril
19	Desatomilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril			56	Amarra R.D.C.D.N.A.	93	Habilita tensión en calca
20	Retira T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril			57	Habilita tensión en calca	94	Ajusta temperatura
21	Retira T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril			58	Ajusta temperatura	95	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión
22	Coloca guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho			59	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión	96	Realiza cuarta prueba de impresión
23	Retira guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo			60	Realiza primera prueba de impresión	97	Retira frasco 850 decorado de mandril
24	Retira mandril de arte actual			61	Retira frasco 850 decorado de mandril	98	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco
25	Busca mandril de N.A.			62	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco	99	Realiza prueba de calidad con la cuarta prueba
26	Saca mandril de N.A.			63	Deshabilita tensión en calca	100	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión
27	Coloca mandril de N.A. en meza sin ningún posicionamiento			64	Ajusta temperatura	101	Ajusta meza
28	Guarda mandril de arte actual			65	Busca herramienta (Llave allen)	102	Ajusta presión
29	Coloca guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica			66	Desatomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril	103	Realiza quinta prueba de impresión
30	Coloca guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica			67	Desatomilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril	104	Retira frasco 850 decorado de mandril
31	Ajusta meza			68	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica	105	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco
32	Ajusta presión			69	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica	106	Realiza prueba de calidad con la quinta prueba
33	Prueba nivel de presión			70	Atomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril	107	Arranca lote de producción
34	Revisa posicionamiento de mandril con silicón de manera empírica			71	Atomilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril		T.A. Tornillos allen
	R.C.A.A. Rollo de calca de arte actual		R.C.N.A. Rollo de calca de nuevo arte		R.D.C.D.N.A. Rollo de código de arte actual		R.D.C.D.N.A. Rollo de código de nuevo arte

Fase 1. Separar operaciones internas de las externas

Posteriormente realizo un estudio de tiempos de todas las actividades y se procedió a separarlas en operaciones internas y externas, para ello fue necesario trabajar junto con el Líder del proceso de Heat Transfer y una Ajustadora, los cuales tienen un amplio conocimiento sobre el proceso de cambio de lote de producción, así como de la maquinaria, herramientas y los procesos necesarios para realizar un arte de impresión en el frasco 850. Apoyaron corroborando la división de las operaciones para determinar cuáles pueden ser consideradas como internas y externas. Al realizar la clasificación, 97 actividades fueron consideradas como internas que representan 47.01 min., y 10 como externas con un tiempo de 0.83 min., representando un total de cambio de lote de producción de 47.84 min. Dicho tiempo puede reducirse a 47.01 min., que es lo que duran las actividades internas, ya que las externas se pueden realizar mientras la máquina esté funcionando y no afectarían el tiempo de cambio, reduciéndolo en un 1.73%. La información se puede visualizar en la Tabla 4, en la cual se aprecia la separación de las actividades internas de las externas.

Tabla 4. Identificación de las actividades internas y externas.

Fase 1: SMED													
Área	Heat Transfer	Maquina:	Herramientas requeridas:	Tiempo de cambio:	No.	Operación	Interno	Externo	No.	Operación	Interno	Externo	
Realiza:	Luis Alberto Hdz. Sánchez	HT-03	Juego de llaves allen, Cúter	47.84 min	35	Reubica posicionamiento de mandril	16.39		72	Habilita tensión en calca		3.7	
Proceso actual				Tiempo actual	36	Prueba posicionamiento de silicón con mandril	6.1		73	Ajusta temperatura		15.18	
No.	Operación			Interno	Externo			No.	Operación			Interno	Externo
1	Ajusta la temperatura				7.22			37	Reubica posicionamiento de mandril				13.25
2	Inhabilita tensión en calca				4.1			38	Prueba posicionamiento de silicón con mandril				6.1
3	Busca herramienta (Cúter)			6.46				39	Reubica posicionamiento de mandril				5.23
4	Corta calca de arte actual			3.2				40	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica				8.5
5	Reacomoda calca en el rollo de arte actual			7.6				41	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica				7.45
6	Retira basura de calca de arte actual			36.39				42	Atomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril				9.6
7	Busca herramienta (Llave allen)			6.51				43	Atomilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril				9.2
8	Retira tornillo allen del R.C.A.A.			8.9				44	Ajusta meza				7.5
9	Retira resorte de apoyo al R.C.A.A.			3.2				45	Realiza despeje de área				348.69
10	Retira disco de R.C.A.A.			3.4				46	Surte frasco. R.C.N.A. y R.D.C.D.N.A				131.28
11	Retira R.C.A.A.			5.7				47	Coloca en posición R.C.N.A				5.9
12	Sella R.C.A.A.			2.5				48	Coloca disco de R.C.N.A.				3.6
13	Desamarra R.D.C.D.A.A.			8.3				49	Busca herramienta (Llave allen)				6.5
14	Corta basura de R.D.C.D.A.A.			4.2				50	Coloca resorte de apoyo a R.C.N.A.				5.2
15	Sella R.D.C.D.A.A.			2.3				51	Ajusta T.A. en R.C.N.A.				2.54
16	Retira basura de R.D.C.D.A.A.			9.1				52	Atomilla T.A. en R.C.N.A.				8.6
17	Busca herramienta (Llave allen)			6.36				53	Coloca en posición calca del nuevo arte				5.2
18	Desatomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril			8.51				54	Ajusta calca del nuevo arte				20.01
19	Desatomilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril			8.47				55	Introduce R.D.C.D.N.A.				8.1
20	Retira T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril			2.3				56	Amarra R.D.C.D.N.A.				9.7
21	Retira T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril			1.8				57	Habilita tensión en calca				4.1
22	Retira guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho			3.7				58	Ajusta temperatura				12.2
23	Retira guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo			4.12				59	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión				5.3
24	Retira mandril de arte actual			10.75				60	Realiza primera prueba de impresión				6.1
25	Busca mandril de N.A.			22.68				61	Retira frasco 850 decorado de mandril				2.3
26	Saca mandril de N.A.			8.65				62	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco				7.98
27	Coloca mandril de N.A. en meza sin ningún			6.35				63	Deshabilita tensión en calca				3.12
28	Guarda mandril de arte actual			19.47				64	Ajusta temperatura				5.03
29	Coloca guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica			4.3				65	Busca herramienta (Llave allen)				6.52
30	Coloca guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica			3.9				66	Desatomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril				8.51
31	Ajusta meza			26.42				67	Desatomilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril				8.48
32	Ajusta presión			17.56				68	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica				2.1
33	Prueba nivel de presión			6.1				69	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica				2.5
34	Revisa posicionamiento de mandril con silicón de manera empírica			8.47				70	Atomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril				9.4
								71	Atomilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril				9.54
R.C.A.A. Rollo de calca de arte actual						R.C.N.A. Rollo de calca de nuevo arte		R.D.C.D.A.A. Rollo de código de arte actual				T.A. Tornillos allen	
								R.D.C.D.N.A. Rollo de código de nuevo arte					

Fase 2. Convertir actividades internas en externas

En la segunda fase es necesario poder convertir operaciones internas en externas, para ello, se identificaron las tareas que podrían cumplir con esto sin afectar el funcionamiento correcto del proceso operacional del arte de impresión del frasco 850. Para poder realizar esta conversión se requirió consultar a la Ajustadora, así como a Colaboradoras y Líder del proceso, dado que su experiencia juega un papel muy importante para las acciones de esta fase. Al concluir esta etapa, se permitirá reducir el tiempo de preparación, resaltando que hasta el momento no se requiere de inversión alguna. En esta fase se pasó a tener 41 actividades internas, las cuales representan 14.92 min. y 35 externas con una duración de 31.70 min., reduciendo el cambio de lote de producción total a 46.62 min. Observamos que dicho tiempo puede reducirse a 14.92 min., que es el tiempo que duran las actividades internas, reduciendo el tiempo de cambio de lote de producción en un 68.82%, con respecto al inicial (47.84 min.). En la Tabla 5 se puede visualizar las actividades convertidas de internas a externas.

Tabla 5. Conversión de actividades internas en externas.

Fase 2: SMED												
Área	Heat Transfer	Maquina	Herramientas requeridas:	Tiempo de cambio:	No.	Operación	Interno	Externo	No.	Operación	Interno	Externo
Realiza:	Luis Alberto Hdz. Sánchez	HT-03	Juego de llaves allen, Cúter	46.62 min	25	Revisa posicionamiento de mandril con silicón de manera empírica	8.47		52	Realiza segunda prueba de impresión		6.1
Proceso actual				7.22	26	Reubica posicionamiento de mandril	16.39		53	Retira frasco 850 decorado de mandril		1.85
No.	Operación			Interno	Externo	27	Prueba posicionamiento de silicón con mandril	6.1	54	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco		8.73
1	Ajusta la temperatura				7.22	28	Reubica posicionamiento de mandril	13.25	55	Ajusta meza		9.61
2	Deshabilita tensión en calca				4.1	29	Prueba posicionamiento de silicón con mandril	6.1	56	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		3.6
3	Corta calca de arte actual				3.2	30	Reubica posicionamiento de mandril	5.23	57	Realiza tercera prueba de impresión		6.1
4	Reacomoda calca en el rollo de arte actual				7.6	31	Reubica guarda y atomilla T.A. de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica	18.1	58	Retira frasco 850 decorado de mandril		1.5
5	Retira basura de calca de arte actual				36.39	32	Reubica guarda y atomilla T.A. de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica	16.65	59	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco		9.68
6	Retira tornillo allen y resorte de apoyo del R.C.A.A.				12.1	33	Ajusta meza	7.5	60	Ajusta meza		8.29
7	Retira disco de R.C.A.A.				3.4	34	Realiza despeje de área	348.69	61	Desatornilla T.A. reubica guarda de manera fija y atomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril		30.19
8	Retira R.C.A.A.				5.7	35	Surte frasco 850, R.C.N.A. y R.D.C.D.N.A	131.28	62	Desatornilla T.A. reubica guarda de manera fija y atomilla T.A. de seguridad en meza		26.4
9	Sella R.C.A.A.				2.5	36	Coloca en posición R.C.N.A	5.9	63	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		4.4
10	Desamarra R.D.C.D.A.A.				8.3	37	Coloca disco de R.C.N.A.	3.6	64	Realiza cuarta prueba de impresión		6.1
11	Corta basura de R.D.C.D.A.A.				4.2	38	Coloca resorte de apoyo a R.C.N.A.	5.2	65	Retira frasco 850 decorado de mandril		1.23
12	Sella R.D.C.D.A.A.				2.3	39	Ajusta y atomilla T.A. en R.C.N.A.	11.14	66	Revisa el posicionamiento del nuevo corte en frasco		8.65
13	Retira basura de R.D.C.D.A.A.				9.1	40	Ajusta calca del nuevo corte	25.21	67	Realiza prueba de calidad con la cuarta prueba		1000.8
14	Desatornilla, retira T.A. y retira guarda de seguridad en meza lado derecho del mandril				14.51	41	Habilita tensión en calca	4.1	68	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		3.56
15	Desatornilla, retira T.A. y retira guarda de seguridad en meza lado izquierdo del mandril				14.39	42	Ajusta temperatura	12.2	69	Ajusta meza		9.13
16	Retira mandril de corte actual				10.75	43	Introduce RD.C.D.N.A.	8.1	70	Ajusta presión		12.3
17	Busca y saca mandril de N.A.				31.33	44	Amarra R.D.C.D.N.A.	9.7	71	Ajusta temperatura		9.71
18	Coloca mandril de N.A. en meza sin ningún posicionamiento				6.35	45	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión	5.3	72	Realiza quinta prueba de impresión		6.1
19	Guarda mandril de corte actual				19.47	46	Realiza primera prueba de impresión	6.1	73	Retira frasco 850 decorado de mandril		2.31
20	Coloca guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica				4.3	47	Retira frasco 850 decorado de mandril	2.3	74	Revisa el posicionamiento del nuevo corte en frasco		10.14
21	Coloca guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica				3.9	48	Revisa el posicionamiento del nuevo corte en frasco	7.98	75	Realiza prueba de calidad con la quinta prueba		619.92
22	Ajusta meza				26.42	49	Desatornilla T.A. reubica guarda manera empírica y atomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril	20.01	76	Arranca lote de producción	0	
23	Ajusta presión				17.56	50	Desatornilla T.A. reubica guarda manera empírica y atomilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril	20.52				
24	Prueba nivel de presión				6.1	51	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión	4.4				
R.C.A.A. Rollo de calca de arte actual			R.C.N.A. Rollo de calca de nuevo arte			R.D.C.D.A.A. Rollo de código de arte actual			R.D.C.D.N.A. Rollo de código de nuevo arte			

Fase 3. Mejorar todas las operaciones del cambio de presentación

Después de realizar la separación de las actividades internas y externas, estas se deben mejorar, para reducir aún más el tiempo de cambio de lote. Para ello, se analizó entre otras, algunas de las herramientas de Manufactura esbelta, las cuales permitieron reducir el tiempo de las operaciones internas y externas considerablemente, a continuación, se describe cada una de ellas.

Layout

Por la emergencia sanitaria (SAR-COV-2) se fusionaron la planta dos con la cuatro, debido al giro de esta, hubo un incremento de procesos, así como de personal, maquinaria y equipos de apoyo a los procesos recién removidos. La distribución actual de la empresa se visualiza en la Figura 3, la cual está dividida en dos áreas: Área 1 (integrada por *Heat Transfer*, etiquetado y empaque) y Área 2 (incluye el área de Empaque, la cual no cuenta con su adecuada asignación).

Debido al incremento de la demanda actual de la empresa, es necesario un mayor espacio para el área de *Heat Transfer*, por lo que una redistribución de la planta puede ayudar a tener un mejor tiempo de respuesta para el cambio de lote de producción. [1]

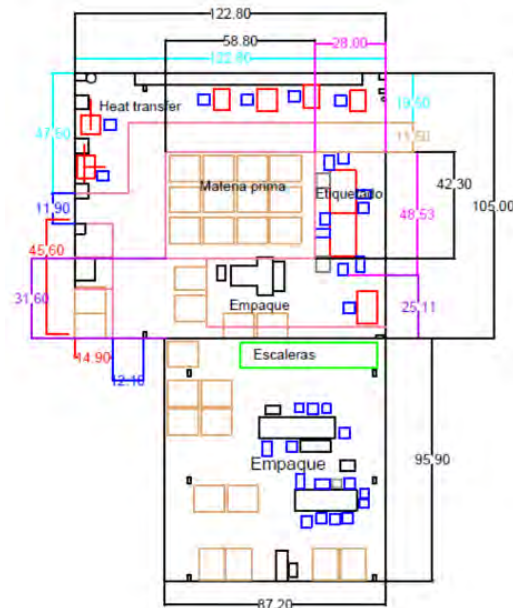


Figura 3. Distribución actual de la planta.

Kanban

Actualmente se manejan órdenes de producción, pero solo las conoce Planeación, Facilitadores, Almacén y Líder del proceso, dicha orden contiene únicamente el tamaño del lote de producción, así como los días teóricos de producción, entre otra información relacionada con el lote. Por confidencialidad de la empresa, no se mostrarán los datos reales de la demanda del frasco 850 así como de su variación.

Se propone el uso de tarjetas *kanban* de producción dentro del proceso, estas funcionarán de acuerdo al tamaño del lote de producción y a los estándares ya establecidos por el mismo personal de facilitadores de las piezas realizadas por jornada laboral. Estas tarjetas las deberán tener las Colaboradoras y Decoradoras del proceso, de esta manera se conocerá de manera anticipada su cambio de lote de producción, por lo que todos los requerimientos y operaciones de este proceso se podrán llevar a cabo de una manera más efectiva. [5] En la Figura 4 se muestra la propuesta de la tarjeta *kanban* a utilizar junto con su información requerida, esta tendrá una fácil comprensión, será realizada por Planeación, registrará la información administrativa a la que tiene acceso junto con el Facilitador, se programará mediante el estándar del producto, jornada laboral y lote de producción. La tarjeta *kanban* controlará que no haya sobreproducción y reducirá el tiempo ocioso utilizado en las actividades, esta se implementará con la finalidad de programar, anticipar y preparar el siguiente lote de cambio de producción.

TARJETA KANBAN		P4
Proceso:	1	Lote: 3
ODP:	2	Clave: 4
Producto:	5	
Días de producción:	Inicio: 7	Termino: 8
Cantidad a producir (por maquina):	No. Maquinas:	9
	Maquina 1: 10	
	Maquina 2: 10	
Ayuda visual del arte:		
11		12

Figura 4. Propuesta de tarjeta *kanban* de producción.

Poka Yoke

Se realizó un análisis y se visualizó que la mayor parte del tiempo de los ajustes son debidos al posicionamiento del mandril, ya que estos se realizan de manera empírica, repitiéndose varias veces, ya que no existe un estándar de colocación, presentando desniveles. Cabe mencionar que esta tarea juega un papel muy importante para de la decoración de los frascos 850, por lo que se requiere mejorar dicha operación, para ello se propone utilizar un *poka yoke* de posicionamiento, de esta manera se puede reducir los ajustes innecesarios, en la Figura 5 se muestra una foto de la máquina, en ella se observa que en la mesa se coloca el mandril del arte que se va a decorar, sin manejar ningún estándar y/o ayuda visual que ayuden a que el ajuste se lleve a cabo correctamente y de manera rápida y fija, posteriormente se barrena para insertar los tornillos allen, para que las guardas de seguridad fijen el mandril, dichos barrenos no están en sintonía con la posición del mandril, los tornillos en la mesa generan un desgaste de los metales significativo día con día, lo cual afecta para tener un ajuste adecuado.

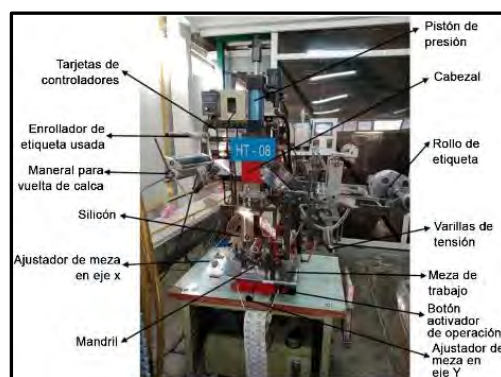


Figura 5. Componentes de máquina HT-08.

Resultados y discusión

SMED

Para tener una mejor organización, comprensión y utilización de esta metodología, en la Tabla 6 se muestran las actividades mejoradas tanto internas como externas, las cuales se visualizan de la siguiente manera:

- Tiempo 0: En este tiempo se distribuirá la tarjeta *kanban*, a las partes involucradas (Facilitadores, líder de proceso y colaboradoras), esto permitirá conocer el próximo arte a decorar, por lo que se podrá tener su previa preparación del lote de producción.
- Tiempo 1: Se efectúa el cambio de lote de producción, es decir, se realiza el desmontaje de arte actual y se realiza el despeje de área, para dar continuidad al siguiente tiempo.
- Tiempo 2: Se realiza montaje del nuevo arte, ajustando la maquinaria con el mismo y para así hacer las debidas pruebas con el departamento de calidad, para el arranque de producción.
- Tiempo 3: Se termina el proceso de cambio de lote producción, garantizando por el departamento de calidad su aceptación para su arranque de producción, del nuevo arte.

En esta fase se pasó a tener 27 actividades internas, las cuales representan 13.08 min. y 37 externas con una duración de 21.40 min., reduciendo el cambio de lote de producción total a 34.48 min. Observamos que dicho tiempo puede reducirse a 13.08 min., que es el tiempo que duran las actividades internas, acortando el tiempo de cambio de lote de producción en un 72.67%, con respecto al inicial (47.84 min.).

Tabla 6. Mejorar operaciones tanto internas como externas.

Fase 3: SMED															
Área	Heat Transfer	Maquina:	Herramientas requeridas:	Tiempo de cambio:	No.	Operación	Interno	Externo	No.	Operación	Interno	Externo			
Realiza:	Luis Alberto Hdz. Sánchez	HT-03	Juego de llaves allen, Cúter	34.48 min	20	Coloca guarda y atomilla T.A. de seguridad de mandril en meza lado izquierdo	17.48		43	Desatomilla T.A.; reubica posicionamiento de mandril y guarda de seguridad, y atomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho		15.86			
Tiempo 0:		Entrega de tarjeta Kanban a decoradora			21	Realiza despeje de área	389.6		44	Desatomilla T.A.; reubica posicionamiento de mandril y guarda de seguridad, y atomilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo de manera empírica		15.88			
Tiempo 1:		Realizar desmontaje de arte actual / Despeje de área			22	Surte frasco 850, R.C.N.A. y R.D.C.D.N.A.	140.6		45	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		4.35			
Proceso futuro				Tiempo futuro		Tiempo 2:		Realizar montaje de nuevo arte / Ajustar y hacer pruebas		46			Realiza segunda prueba de impresión		4.3
No.	Operación			Interno	Externo										
1	Ajusta la temperatura				5.94	23	Coloca en posición R.C.N.A	3.96		47	Retira frasco 850 decorado de mandril		2.09		
2	Deshabilita tensión en calca				3.56	24	Coloca disco de R.C.N.A.	2.98		48	Revisa el decorado		7.38		
						25	Coloca resorte de apoyo a R.C.N.A.	3.48		49	Ajusta meza		10.35		
3	Corta calca de arte actual			3.01		26	Ajusta y atomilla T.A. en R.C.N.A.	10.31		50	Desatomilla T.A.; reubica posicionamiento de mandril y guarda de seguridad, y atomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho		14.78		
4	Reacomoda calca en el rollo de arte actual			7.02		27	Busca tensión adecuada en varillas de maquina	22.64		51	Desatomilla T.A.; reubica posicionamiento de mandril y guarda de seguridad, y atomilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo		17.39		
5	Retira basura de calca de arte actual			29.58		28	Habilita tensión en calca	3.21		52	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		4.08		
6	Retira tornillo allen y resorte de apoyo del R.C.A.A.			10.67		29	Introduce R.D.C.D.N.A.		5.23	53	Realiza tercera prueba de impresión		4.3		
7	Retira disco de R.C.A.A.			3.2		30	Amarra R.D.C.D.N.A.		6.54	54	Retira frasco 850 decorado de mandril		2.03		
8	Retira R.C.A.A.			4.68		31	Ajusta presión		16.76	55	Revisa el decorado		8.58		
9	Sella R.C.A.A.			2.03		32	Ajusta meza		7.68	56	Ajusta tensión en calca		7.64		
10	Desamarra R.D.C.D.A.A.			8.01		33	Ajusta tensión en calca		4.03	57	Desatomilla T.A.; reubica posicionamiento de mandril y guarda de seguridad, y atomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho de manera fija		20.65		
11	Corta basura de R.D.C.D.A.A.			3.95		34	Desatomilla T.A., reubica posicionamiento de mandril y guarda de seguridad, y atomilla T.A. de seguridad en meza lado derecho		17.73	58	Desatomilla T.A.; reubica posicionamiento de mandril y guarda de seguridad, y atomilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo de manera fija		21.02		
12	Sella R.D.C.D.A.A.			2.01		35	Desatomilla T.A.; reubica posicionamiento de mandril y guarda de seguridad, y atomilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo		17.89	59	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		4.38		
13	Retira basura de R.D.C.D.A.A.			8.97		36	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		4.21	60	Realiza cuarta prueba de impresión		4.3		
14	Desatomilla, retira T.A. y retira guarda de seguridad en meza lado derecho del mandril			12.32		37	Realiza primera prueba de impresión		4.3	61	Retira frasco 850 decorado de mandril		2.05		
15	Desatomilla, retira T.A. y retira guarda de seguridad en meza lado izquierdo del mandril			12.68		38	Retira frasco 850 decorado de mandril		2.19	62	Revisa el decorado		12.38		
16	Retira y guarda mandril de arte actual			29.76		39	Revisa el decorado		6.78	63	Realiza prueba de calidad con la cuarta prueba		977.72		
17	Busca y saca mandril de N.A.			29.53		40	Ajusta presión		7.22	Tiempo 3: Arranca lote de producción					
18	Coloca mandril de N.A. en meza			6.38		41	Ajusta meza		8.2	64 Arranca lote de producción 0					
19	Coloca guarda y atomilla T.A. de seguridad de mandril en meza lado derecho			16.51		42	Ajusta tensión en calca		4.38	T.A. Tornillos allen					
R.C.A.A. Rollo de calca de arte actual			R.C.N.A. Rollo de calca de nuevo arte			R.D.C.D.A.A. Rollo de código de arte actual			R.D.C.D.N.A. Rollo de código de nuevo arte						

Para poder apreciar de una forma más clara la reducción significativa al implementar el SMED, se presenta la Tabla 7, en la cual se compara la situación actual con la futura. El porcentaje efectivo de producción subiría de 94.46% a 98.49%. Considerando que se estarán utilizando las 6 máquinas *Heat transfer*, esto debido al incremento de demanda por la pandemia, la empresa se ahorraría en tiempos de cambio 2.0556 hrs. diarias, lo que es equivalente a 41.112 hrs. mensuales o 2,137.824 hrs. anuales.

Tabla 7. Comparativa de resultados obtenidos.

	Porcentaje efectivo producción	No agrega valor al producto
Situación actual	94.46%	5.54%
Después de aplicar SMED	98.49%	1.51%

Redistribución

En la redistribución propuesta (Ver Figura 6) se tendrá operando las seis máquinas constantemente debido al incremento de la demanda, esta se dividirá en las dos áreas de la siguiente manera: Área 1 (se encontrará el área de *Heat transfer* y Etiquetado) y Área 2 (incluye el proceso general de Empaque con su debida designación de materia prima, Corrugado y Producto determinado).

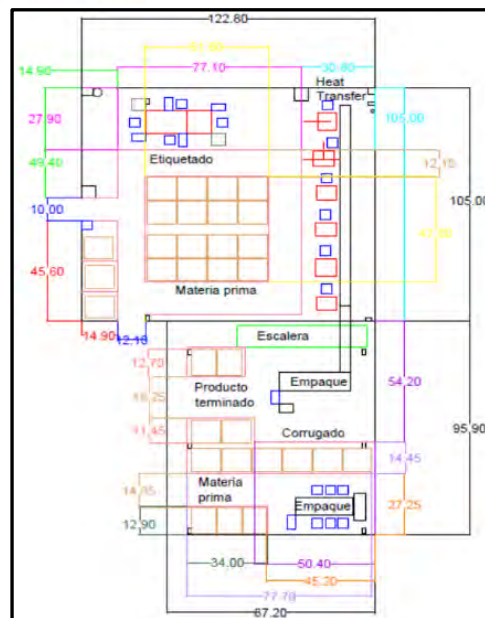


Figura 6. Distribución propuesta de la planta.

Entre las mejoras principales a obtener, se explican a continuación:

- Se tendrá un área más despejada en el área de Almacén, lo cual mejorará el flujo de los productos.
- Se combinará la banda que se utiliza actualmente, la cual mide 9 m. y mediante el apoyo de coordinación general de la planta se pone a disposición otra banda de 3 m., ambas se pueden fusionar transportando el producto manera lineal, esto permitirá cambiar la posición del área de producto terminado, la cual se encontrará al final de la banda. Al moverse los productos sobre dicha banda, permitirá realizar el empaque de estos para que posteriormente sean entarimados y liberados por el departamento de calidad.
- El área Central estará destinada a la materia prima de los dos procesos propuestos en la redistribución, por lo que se reajustará la posición de las tarimas, lo que permitirá la accesibilidad del personal operativo.
- Todo lo antes mencionado repercutirá en la reasignación de actividades para los trabajadores, al funcionar las seis máquinas se podrá reducir de 12 personas requeridas por día a solo 10, dicha información se resume en la Tabla 8.
- Se reducirá el tiempo de respuesta tanto en Decorado como en Empaque y sus debidas actividades.

Tabla 8. Resultados de la redistribución.

	Personal		No. de maquinas
	Decoradora	Apoyo	
Actual	6	6	6
Layout	6	4	6
Diferencia	0	2	0

Kanban

En la Figura 7 se muestra un ejemplo del llenado de la tarjeta *kanban*, en esta se incluye: el proceso de etiquetado, datos administrativos del seguimiento de la orden de producción, producto a etiquetar, días de producción, inicio y término de producción, cantidad a producir por máquina,

tamaño del lote de producción ordenado y los estándares establecidos por los facilitadores de acuerdo al producto.

TARJETA KANBAN		P4
Proceso:	ETIQUETADO	Lote: ETIQ.-20-56669
ODP:	ODP056669	Clave:102755
Producto:	NATURALS VIOLET AND LYCHEE BODY SPRAY 200 ML PET C2284273	
Días de producción: 1	Inicio 18/Dic/2020	Termino 18/Dic/2020
	No. Maquinas:	2
Cantidad a producir (por maquina):	Maquina 1: 26 Cajas (315 pz por caja)	
	Maquina 2: 26 Cajas (315 pz por caja)	
Ayuda visual del arte:		
 Etiqueta avon naturals colonia spray para...	 Botell a Cil. 200ml natura ls	 112 mm 120

Figura 7. Ejemplo de llenado tarjeta Kanban.

La tarjeta se entregará por lote de producción para tener un mejor seguimiento, con dicha información se reducirá el tiempo del cambio, esto debido a que ya se conocerá el material necesario a utilizar, lo que se evitará la sobreproducción y se tendrá programado al personal de manera constante, reduciendo los tiempos ociosos.

Poka Yoke

En la Figura 8 se presenta la propuesta del dispositivo *poka yoke*, estará conformado por una placa metálica (acero al carbón) de 5/8 de espesor, con componentes como tornillos de agarre y barras guía. Se utiliza para asegurar el mandril de manera correcta y evitar errores de posicionamiento.

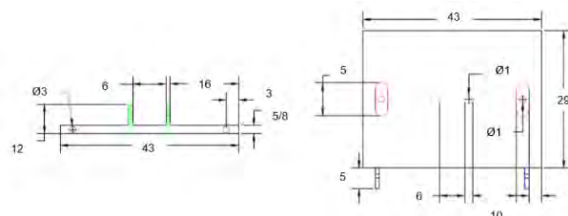


Figura 8. Ejemplo de llenado tarjeta Kanban.

En la Figura 9 se visualiza la vista frontal y superior de la propuesta del *poka yoke* para el mandril. Esta detalla cómo se posicionará el mandril sobre la mesa de trabajo y cómo el dispositivo *poka yoke* eliminará operaciones de reajuste, reduciendo los tiempos de ajuste en los cambios de lote en un tiempo estimado de 12.63 min., asegurándolo con una tuerca de seguridad para que este no tenga movimiento.

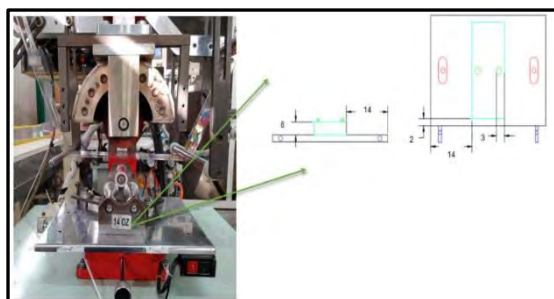


Figura 9. Propuesta de *poka yoke*, vista frontal y vista superior.

Trabajo a futuro

Contar con el herramental adecuado es esencial para evitar pérdidas de tiempo en la producción. La falta de estas herramientas lleva a que las colaboradoras adquieran materiales de baja calidad, lo que provoca roturas y desgaste. Se recomienda que la empresa proporcione el herramental necesario mediante un sistema de vales de resguardo que responsabilice a las colaboradoras de su uso y seguimiento. Implementar estas herramientas mejorará los tiempos de cambio de lote y producción, y su aplicación puede extenderse a otras áreas de la planta. Además, una buena comunicación entre departamentos es clave para mantener el orden y la imagen de la empresa durante auditorías y visitas.

Conclusiones

La implementación de la metodología SMED en la planta de producción de envases plásticos de Cajapax S. A. ha demostrado ser altamente efectiva para reducir los tiempos de preparación en el área de *Heat Transfer*. Al identificar factores clave como herramientas, materiales, ajustes y pruebas de calidad, y aplicar fases preliminares como la separación de operaciones internas y externas, se logró una mejora significativa en la eficiencia del proceso. La reducción de tiempos improductivos y la optimización de los cambios de lote no solo aumentaron la productividad, sino que también permitieron una mejor organización del flujo de trabajo, lo cual es replicable en otras áreas de la planta. Este enfoque garantiza una mayor competitividad y optimización de los recursos operativos.

Referencias

- [1] C. Lucar Romero y R. del Pilar Romero Vásquez, *Redistribución de planta para elevar la eficiencia de la producción en la fábrica Grupo Italtacones, Trujillo, 2019*, Universidad Privada del Norte, 2020.
- [2] F. Guevara Sánchez, *Lean Manufacturing: Los Siete Desperdicios Mortales y Cómo Eliminarlos Eficazmente* Hoopla, 2019.
- [3] H. G. Espinoza Gonzales, *Análisis y aplicación mediante el uso de herramientas de manufactura esbelta en el proceso productivo de la planta de inyección de plásticos de Faber-Castell*, Univ. de Lima, 2019.
- [4] L. C. Palacios Acero, *Ingeniería de métodos, movimientos y tiempos*. Bogotá, Colombia: ECOE Ediciones, 2020.
- [5] L. Castellano Lendínez, *Kanban: Metodología para aumentar la eficiencia de los procesos*, 3C Tecnología, 2019.
- [6] M. Chávez y R. Mamani, *La metodología SMED para la mejora de la productividad en una empresa metalmecánica*, Universidad César Vallejo, 2019.

OPTIMIZACIÓN DE ALMACENES CON MEDIA PONDERADA Y TÉCNICAS DE LOCALIZACIÓN DISCRETA

Calderón Jiménez Antonio ^{1*}, Hernández Sánchez Luis A.¹, Méndez Rivera Caín¹, Valdés Álvarez Alejandra C.¹, González González Eric¹

¹Tecnológico Nacional de México / ITS de Ciudad Serdán, Av. Tecnológico S/N, Col. La Gloria, Cd. Serdán Puebla, México, C.P. 75520

*acalderon@cdserdan.tecnm.mx

Área de participación: **Ingeniería Industrial**

Resumen

El estudio analiza la gestión de un almacén que abastece dos áreas de surtido de bobinas de hilo. Se identificaron ineficiencias debido a la alta variabilidad de la demanda, lo que ocasionó retrasos y mal uso del espacio. Con datos de demanda anual, se observó un cumplimiento del 60.25%, debido al uso de la media aritmética para calcular el stock. Se propuso emplear la media ponderada, mejorando el cumplimiento al 83.91%. Para lograr esto, se plantearon dos soluciones de distribución del almacén: una con ropaks, que cubre el 85% del material más utilizado y da un 71% de cumplimiento, y otra que combina ropaks y racks, optimizando el espacio y alcanzando el 100% del material y da como resultado el 83.91% del cumplimiento.

Palabras clave: Almacén, Ropaks, racks, Distribución

Abstract

The study analyzes the management of a warehouse that supplies two areas with thread coil stock. Inefficiencies were identified due to the high variability in demand, which caused delays and poor use of space. Using annual demand data, a 60.25% fulfillment rate was observed, attributed to the use of the arithmetic mean for stock estimation. It was proposed to use the weighted average, improving the fulfillment rate to 83.91%. To achieve this, two warehouse distribution solutions were presented: one using ropaks, covering 85% of the most frequently used material and yielding 71% fulfillment, and another combining ropaks and racks, optimizing space, handling 100% of the material, and resulting in 83.91% fulfillment.

Keywords: Warehouse, Ropaks, racks, distribution.

Introducción

El presente artículo tiene como objetivo explorar en profundidad la gestión del almacén dentro de un sistema de producción, un elemento crítico en la optimización de los flujos de materiales y el abastecimiento oportuno de las áreas de Unidad de Servicio y Línea de Servicio. Este estudio parte de la identificación de problemas clave que afectan la eficiencia del sistema, tales como la alta variabilidad en la demanda y la ineficaz estimación de inventarios utilizando la media aritmética, recordando que esta se utiliza comúnmente en situaciones donde los datos son homogéneos y no

requieren un tratamiento especial en términos de ponderación o distribución [1], lo que resultó en un cumplimiento del 60.25% en el suministro de materiales a lo largo del año de estudio. Para abordar estos problemas, se propuso un nuevo enfoque basado en la media ponderada en el cual Según Bluman (2018), "la media ponderada es útil cuando los valores tienen distintas relevancias o frecuencias, y se calcula multiplicando cada valor por su peso correspondiente y dividiendo entre la suma de los pesos" [2], el cual mejoró significativamente el cumplimiento de la demanda, alcanzando un 83.91%. Este enfoque no solo permitió una gestión más precisa del inventario, sino que también optimizó el uso del espacio en el almacén, reduciendo los tiempos de recorrido y los retrasos en la producción. Además, se presentaron dos soluciones de distribución: una centrada en el uso de ropaks para gestionar el 85% del material más utilizado equivalente al 71% del cumplimiento de la demanda, y otra que combina ropaks y racks, permitiendo una gestión más eficiente del 100% del inventario, dando como resultado el 83.91% del cumplimiento. El estudio empleó el caso minimax número 8 de un método cuantitativo de localización de planta para definir las mejores ubicaciones para el material dentro del almacén, este problema tiene como objetivo Localizar múltiples nuevas facilidades a través de un número discreto de posibles localizaciones o sitios, las cuales estarán influenciadas por facilidades fijas con las que tendrán relación entre sí [3], y se utilizó el software POM para resolver los problemas de asignación. Es fundamental el uso de metodologías cuantitativas y herramientas tecnológicas en la mejora de la eficiencia operativa dentro de los sistemas de producción. Estas permiten optimizar procesos como la gestión de inventarios y la distribución de materiales, ofreciendo soluciones escalables aplicables a diversos entornos industriales [4].

Metodología

La metodología utilizada en el desarrollo del estudio se basa en un enfoque cuantitativo para mejorar la eficiencia del almacén en un sistema de producción caso 8 del método minimax.

Análisis de la demanda:

Se recopilaron datos del almacén durante todo el año 2023 con los cuales se obtuvo: el número de identificación del código del producto (CP) y el comportamiento de la demanda de ese año. Al obtener los datos de la demanda se pudo observar que existe una gran variabilidad, lo cual hace difícil de calcular un stock factible para el almacén. La demanda consta de los siguientes elementos:

1. **12 meses con 317 días analizados (los cuales fueron laborables).**
2. **La cantidad total de códigos de producto (CP) es de 123 elementos.**
3. **47,121 lotes**
4. **549,806 bobinas de hilo.**

Obtención de las demandas

Cada CP tiene una demanda diferente con una alta variabilidad y no se observó ninguna estacionalidad en los datos por lo que hace difícil la obtención de la demanda, desde el año pasado hasta antes del presente estudio, cabe mencionar que para llegar a esta premisa se analizaron un total 123 CP y cada uno sigue una distribución diferente. La estimación que se utilizó para el cálculo de la demanda actual con la cual está la distribución del almacén, fue la media aritmética y durante

este análisis al parecer no se tomó en cuenta la tendencia de los datos, lo cual trajo como consecuencia un incumplimiento en algunas ocasiones de la demanda, además de que en el almacén se encuentra material que no se utiliza actualmente o de lo contrario no se encuentra dentro de él. La Figura 1 muestra el comportamiento de todo el año de un CP.

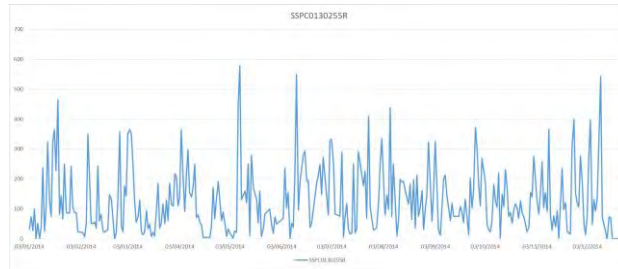


Figura 1. Gráfico del comportamiento de la demanda de un CP

Como se puede observar, la demanda presenta una alta variabilidad, con picos de alta demanda en algunos periodos y ausencia total en otros. Al utilizar únicamente la media aritmética como estimador principal para el cálculo del stock, se registraron varios incumplimientos en el abastecimiento a lo largo del año. En la Figura 2, se muestra el estimador utilizado (línea roja), donde se evidencia claramente que no se alcanzó a satisfacer una parte significativa de la demanda, esto es debido a que la línea roja representa el abastecimiento en el almacén y todo lo que está por debajo de esa línea logró cumplir con la demanda requerida, y lo que está arriba fue incumplimiento.

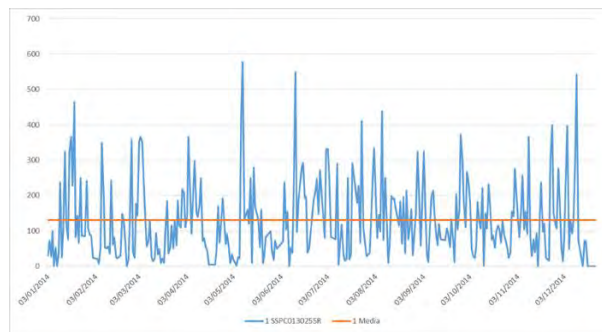


Figura 2 Gráfica de media aritmética del año 2023

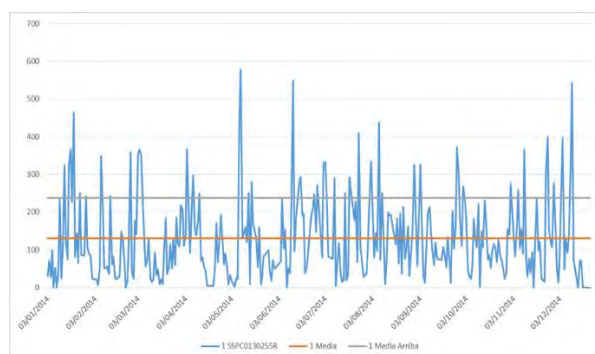
Con los datos de 2023, se determinó que no se cumplió con el 60.25% (ver tabla 1) de la demanda, lo que provocó retrasos y un mayor recorrido del personal de almacén. Para solucionar esto, se aplicó la media ponderada, usando como factor el promedio de los datos que superaban la demanda. Esto incrementó el cumplimiento al 83.91% (Ver tabla 2), el cual se valida tomando en cuenta la línea gris de la figura 3 donde todo lo que se encuentre por encima de ella se considera desabasto, según la Figura 3. Aunque los 123 CP presentaron variabilidad, no se observó un patrón estacionario. Los resultados fueron presentados al jefe de almacén, gerente de tintorería y jefe de operaciones, quienes aceptaron la propuesta de utilizar la media ponderada para estimar la demanda de cada CP.

Una vez obtenido la demanda se procedió a realizar propuestas las cuales contaran con las siguientes características:

1. Realizar una distribución del almacén en la cual pueda contener la mayor cantidad de almacén.
2. La distribución debe estar basada en la demanda.
3. Dado que se comparte material la propuesta debe incluir la menor cantidad de distancia recorrida los operarios de ambas facilidades (dos áreas de distribución K).
4. El hilo crudo debe estar distribuido de tal manera que satisfaga el punto 3 basándose en los más demandados.
5. En el caso de ocupar un nuevo contenedor, este debe cumplir con el espacio destinado para el almacén.
6. La propuesta debe incluir seguridad tanto para el operador de almacén como para los cargadores de ambas áreas.

Tabla 1 Datos de cumplimiento e incumplimiento (Elaboración: Propia)

Media	129.8958991
Desviación	109.6521769
Cantidad de días no cumplidos	126
Cantidad de días cumplidos	191
% de incumplimiento	39.75%
% de cumplimiento	60.25%



Gráfica 3 Grafico de media ponderada en los datos del año 2023

Tabla 2 Datos del cumplimiento utilizando la media ponderada (Elaboración: propia)

Media nueva	237.8571429
Datos por encima de la media	51
Datos por debajo de la media	266
% de incumplimiento	16.09%
% de cumplimiento	83.91%

Propuesta distribución 1

Para esta primera propuesta se pensó realizar una distribución simple mediante el uso de ropaks y los CP más usados, los ropaks son los contadores que almacenan temporalmente la materia prima, el almacén solo tiene espacio para un total de 36 ropaks.

Para el desarrollo de las propuestas se utilizó el caso número 8 de un método cuantitativo de localización de planta y cumple con las características anteriormente enlistadas, para poder hacer uso de este método fue necesario determinar [3]:

El modelo de asignación se muestra en los siguientes puntos:

1. Suponer que existen i nuevas facilidades a localizar (departamentos, máquinas) en j posibles lugares $i \leq j$ $i > 1$.
2. Suponer que existen k facilidades ya fijas, con las cuales las nuevas facilidades tendrán relación (movimiento de productos, etc.).
3. Se desea asignar las nuevas facilidades i en los j posibles lugares, a fin de minimizar la distancia viajada (movimientos).

La función de costos se muestra en la ecuación siguiente:

$$C_{ij} = \sum_{k=1}^k W_{ik} D_{kj}$$

Dónde: $i=1, \dots, m$ (Facilidad a localizar), $j= 1, \dots, n$ (Posible lugar)

En donde la nomenclatura es:

$$W_{ik} = \left(\frac{\text{No. de viajes entre la nueva facilidad } i \text{ y la facilidad existente } k}{\text{Unidad de tiempo}} \right) \frac{\$}{\text{Unidad de distancia}}$$

D_{kj} = La distancia viajada entre la facilidad existente k y el posible lugar j

C_{ij} = Costo si la nueva facilidad i es localizada en el sitio j

1. Las facilidades "k" (cargadores), representadas con la letra K en la figura 4, corresponden a los puntos de carga y descarga dentro del sistema. Por otro lado, los posibles lugares de ubicación "j"

(ropaks), que están enumerados con números en color amarillo en la misma figura, representan los puntos donde se almacenarán temporalmente los materiales.

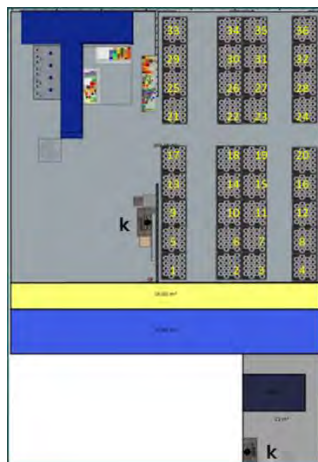


Figura 4 Facilidades y posibles lugares de ubicación (Elaboración: Propia)

2. Para poder determinar la matriz Wik fue necesario primeramente establecer cuáles eran los 36 sustratos (CP) más utilizados, para lo cual se realizó un análisis ABC. Una vez obtenido este listado, se determinó la cantidad de viajes por día de cada facilidad “k” a la facilidad localizar “i”, los cuales están basados en la demanda de unidad de servicio y de línea de servicio.

3. Para poder determinar la matriz Dkj primeramente se realizó un plano cartesiano en donde se ubicaron las facilidades a localizar y las facilidades existentes, en donde su ubicación se basó mediante los ejes “x” y “y” y se calculó usando distancias rectilíneas. Ejemplo: para poder determinar la distancia que se recorre desde línea de servicio hacia la posible facilidad a localizar 1 se cuentan cuantas posiciones avanza en los ejes de las X y los ejes de las Y, dando en este caso un total de 22 posiciones. Cabe aclarar que para unidad y servicio existe una ruta permanente la cual se muestra con una línea amarilla en la figura 5, esta línea es debido a que, por procedimiento, el operador parte del centro del Almacén de unidad de servicio y por lo tanto dicha distancia es fija. Dicha figura también muestra una posible ruta de línea de servicio a la posible ubicación del sustrato, la cual está marcada con el color verde. Puede existir una variedad diferente de rutas. Sin embargo, siempre darán misma longitud de distancia.

4. La determinación de la matriz de costo es la multiplicación de las matrices Wik y Dkj dando como resultado para este caso una matriz de 36 x 36. En la tabla 3 se muestra el producto generado de estas matrices. Una vez completada esta matriz se puede resolver mediante un problema de asignación, sin embargo, para una matriz con esas dimensiones es recomendable apoyarse en un software que pueda realizar esos cálculos, ya que de no ser así desarrollarlo manualmente puede tomar un tiempo bastante prolongado por la cantidad de cálculos que este puede generar.

Este procedimiento fue utilizado para cada una de las diferentes asignaciones realizadas durante este trabajo. Tomando en cuenta al análisis ABC se dice que el Almacén contendrá hasta un 85% aproximadamente del material [5].

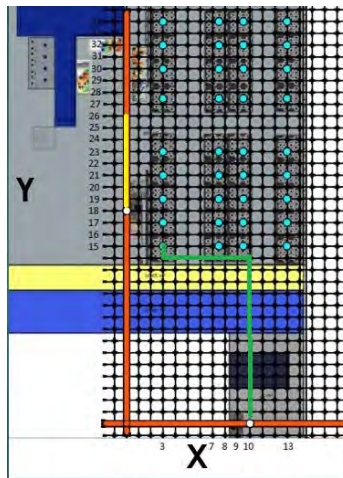


Figura 5 Localización de facilidades existentes propuesta 1 (Elaboración: propia)

Tabla 3 Ejemplo de una parte de la matriz Cij (Elaboración: propia)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
SSPC0130255R	388	369	360	412	397	377	369	421	405	386	377	429	414	395	386	438	422	403	395	446	469	450
SSPA01902HAR	334	318	311	355	341	325	318	362	348	332	325	370	355	339	332	377	362	346	339	384	402	386
SSPA01302HAR	357	323	308	353	373	338	323	368	388	354	338	384	403	369	354	399	419	384	369	414	471	436
PCCA03252HAR	227	217	213	244	231	221	217	248	235	226	221	252	239	230	226	256	243	234	230	260	269	260
TRPA01332IBR	430	383	362	417	400	404	383	437	471	424	404	458	492	445	424	478	512	466	445	499	578	531
PPCA02052HAR	230	214	207	237	237	221	214	244	244	228	221	251	251	235	228	258	258	242	235	265	288	272
TXPA0167LIBR	221	234	240	273	215	228	234	267	209	222	228	261	209	216	222	255	197	211	216	249	211	224
CFPA02263IBR	165	170	172	195	163	167	170	193	160	165	167	191	158	163	165	189	156	161	163	187	169	174
PPCA01522HAR	203	186	178	204	210	193	186	212	218	201	193	219	226	208	201	227	233	216	208	235	261	244
TXPA01672IBR	316	304	298	341	322	309	304	346	327	315	309	352	333	320	315	358	338	326	320	363	375	362
PPCA04003HAR	179	173	170	194	182	175	173	197	185	178	175	200	187	181	178	202	190	184	181	205	210	204
IBNA02353QBR	157	163	165	188	155	160	163	186	153	158	160	183	150	156	158	181	148	153	156	178	160	165
PCCA04902HAR	165	156	151	173	169	160	156	177	173	164	160	182	178	168	164	186	182	172	168	190	202	193
PPCA01252HAR	248	213	197	228	263	228	213	243	279	244	228	259	295	260	244	274	310	275	260	290	352	317
TRPA0133295R	270	231	214	247	287	248	231	264	304	266	248	281	322	283	266	298	339	300	283	316	385	346
CFPA04553IBR	101	108	110	125	98	105	108	122	95	102	105	120	92	99	102	117	89	96	98.8	114	95	102
PCCA02002HAR	115	107	103	118	118	110	107	122	122	114	110	125	125	117	114	129	129	121	117	132	144	136

Como anteriormente se mencionó, el desarrollar algún método de asignación manualmente puede tomar un tiempo bastante largo, es por ello que para la solución de esta matriz se utilizó el Software de distribución libre POM el cual dio como resultado la asignación mostrada en la tabla 4.

La lectura de la tabla es relativamente simple, la primera columna son los sustratos a los cuales se les debe asignar un lugar, la primera fila son los posibles lugares de asignación, el cero indica que no existe asignación alguna entre las intercesiones y el número uno indica que en esa intersección existe una asignación, por ejemplo: para el SSPC0130255R está diciendo que este debe estar colocado en el lugar número 11 de las posibles localizaciones.

Tabla 3 Ejemplo de una parte de la matriz Cij (Elaboración: propia)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
SSPC0130255R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSPA01902HAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
SSPA01302HAR	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCCA03252HAR	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRPA01332IBR	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PPCA02052HAR	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TXPA01671JBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CFPA02263IBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PPCA01522HAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TXPA01672JBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
PPCA04003HAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
IBNA02353QBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCCA04902HAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PPCA01252HAR	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRPA0133295R	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFPA04553IBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PPCA02072HAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Con esta propuesta se logra cumplir el 71% de cumplimiento colocando el 85% del material.

Propuesta distribución 2

Para la segunda propuesta nuevamente se aplica el caso 8 del método minimax en donde primeramente se hace la asignación de ropaks y posteriormente en el espacio sobrante los racks, por lo que, se coloca todo el material mediante el uso de racks y ropaks, se estableció, mediante el equipo operativo y el jefe de almacén, que se asignarían sólo 10 ropaks, cabe aclarar que se volvió a seguir los pasos anteriores para la aplicación del método y a continuación se muestra sólo los resultados. Estos ropaks encabezan la lista de los más demandados según el análisis ABC. El motivo de colocar sólo 10 ropaks fue basándose en que la capacidad para el resto de material excedía la demanda por lo cual se considera un exceso de espacio.

Asignación 10 ropaks: Primeramente, se asignaron los 10 ropaks mediante el mismo método descrito en el punto anterior. Para este caso primeramente se observó en donde se encontraban ubicados los sustratos en la primera propuesta, estos se muestran resaltados de color rojo en la figura 3, y como se puede observar ocupan una mitad del espacio del Almacén, por lo que se partió de esta observación y se determinó que se deberían distribuir en esa mitad. Se llevó a cabo 5 asignaciones posibles en estos 20 espacios disponibles, en la primera de ellas no se consideró ningún criterio por lo que solo se realizó la asignación de manera natural, en la figura 3 B se puede observar la nueva distribución. De ello se puede concluir de manera intuitiva que si se realiza una asignación en la parte del centro esta será la mejor opción, sin embargo, para poder comprobar esta conjetura se realizaron 5 distribuciones más.

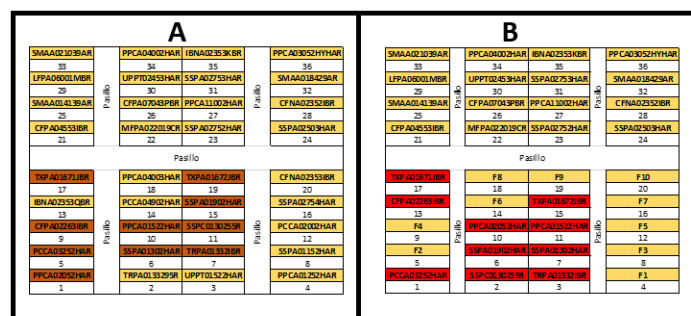


Figura 6 Distribución 10 ropaks en 20 lugares (Elaboración: propia).

Tabla 4 se muestra los resultados en donde indica la distancia total de recorrido en cada una de ellas, por lo que al comparar y elegir se concluyó que la mejor alternativa es la que se le dio una asignación en la parte central de los 20 lugares disponibles mostrada de color verde, ya que esta tiene el recorrido más corto de 2718.76 metros. También se puede observar que la peor de las alternativas es la de los laterales la cual se muestra de color rojo.

Tabla 4 Resultados de alternativas de distribución (metros)

Con orden	
Tipo de asignacion	Total
Asignación centro	2718.76
Asignación izquierda	2802.55
Asignación derecha	2846.3
Asignación laterales	2934.59

Determinación del espacio de los racks: El espacio por lote que ocupará cada división fue determinado en base al volumen que representa cada sustrato (tamaño de la bobina). Para este punto, el jefe de almacén proporcionó los datos necesarios en donde indicaba el diámetro de las bobinas y sus límites inferior como superior, para lo cual se tomó como referencia el límite superior.

Para poder realizar esta estandarización de tamaños primeramente se agregó un ID para poder clasificarlos el cual cuenta con las siguientes partes:

1. La Cantidad total de bobinas que entran en los ropaks.
2. El diámetro de la bobina.
3. El radio de la bobina.

Distribución final

Tomando en cuenta los puntos anteriores se procedió a realizar la distribución en cada uno de los niveles de los racks, considerando que la primera asignación corresponde a la parte central del rack dado que son los CP más demandado, seguido de la distribución en el nivel de abajo y para terminar con la distribución de arriba. Cada uno de estas distribuciones fueron realizadas con el procedimiento anterior expuesto, cabe recordar que cada modelación matemática se realiza de la misma manera de cómo se realizó la primera.

Resultados y discusión

Se realizaron dos propuestas, en la primera solo incluye ropaks, en donde mediante un análisis ABC se determinaron los primeros 36 espacios disponibles cumpliendo de esta manera con el 85% del material más usado dando como resultado el 71% del cumplimiento. La segunda propuesta incluye la asignación de 10 ropaks y el resto del material en racks, donde para poder realizar la distribución se utilizó el mismo caso que la primera propuesta. En total se realizaron 17 problemas de localización discreta con sus respectivas restricciones por volumen, donde se logro introducir el 100% del material cumpliendo con el 83.91%, Es importante aclarar que no se puede realizar un concentrado de las operaciones o un resumen de la misma debido a la cantidad de información, que es bastante amplia, ya que como lo indica la ecuación de costo antes mencionados son operaciones matriciales.

Trabajo a futuro

Se propone la implementación de un sistema automatizado para el control y monitoreo en tiempo real del buffer, lo cual permitirá una mayor precisión en la gestión de inventarios y una reducción significativa en los tiempos de respuesta ante fluctuaciones en la demanda. Además, es necesario profundizar en la optimización del espacio utilizando técnicas avanzadas de simulación y modelos predictivos que consideren escenarios más complejos de variabilidad en la demanda. Otro aspecto pendiente es la evaluación del impacto de las propuestas en la eficiencia general de la producción, mediante un estudio a largo plazo que permita ajustar los parámetros del sistema.

Conclusiones

La disponibilidad de la materia prima es muy importante es por ello que para este punto se realizaron dos propuestas de distribución de los diferentes sustratos, buscando colocar la mayor cantidad de hilo crudo dentro del Almacén, para lo cual inicialmente se calculó la demanda mediante la analogía de la media ponderada y en base a esto se utilizó el caso ocho del método minimax de localización de planta. En la primera propuesta se planteó solo usar los espacios disponibles con ropaks, en donde se determinó que el 85% del material sería colocado en el Almacén. La segunda propuesta consistió en utilizar solo 10 ropaks y 14 racks para la distribución del material donde se colocó el 100% del material.

Referencias

- [1] W. Mendenhall, R. J. Beaver y B. M. & Beaver, Introduction to Probability and Statistics, Cengage Learning, 2019.
- [2] A. G. Bluman, Mathematics for Business and Economics, McGraw-Hill Education, 2018.
- [3] F. Ortiz Flores, "Material no publicado, Apuntes de la clase. -Sistemas de manufactura", Orizaba: Maestría en Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Orizaba, 2013.
- [4] J. González y L. & Ramírez, Herramientas tecnológicas para la optimización en sistemas de producción, Revista de Ingeniería Industrial, 2020.
- [5] E. A. Silver, D. F. Pyke y R. Thomas, Inventory Management and Production Planning and Scheduling, Nueva Jersey: Wiley, 2017.
- [6] M. González y L. Ramírez, Metodologías cuantitativas aplicadas a la optimización de sistemas de producción, México: Técnica Industrial, 2020.
- [7] J. Heizer, B. Render y Munson, Principles of Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management, Boston, Massachusetts: Pearson Education, 2017.
- [8] J. García y P. & Martínez, Estadística aplicada para la toma de decisiones., México: Académica, 2019.
- [9] A. Arata, Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Aplicación de la Plataforma R-MES, México: RIL, 2009.

SISTEMA PARA LA TRAZABILIDAD Y CONTROL DE COMPRAS EN UNA EMPRESA TEXTIL

Lara Martínez, José Jair^{1*}, Báez Senties, Oscar^{2*}, Gurruchaga Rodríguez, Ma. Eloísa³, Heredia Roldán, Miguel Josué⁴
¹Tecnológico Nacional de México, Orizaba Instituto Tecnológico de Orizaba,
M16010046@orizaba.tecnm.mx^{1*}, oscar.bs@orizaba.tecnm.mx^{2*}, eloisa.gr@orizaba.tecnm.mx³,
miguel.hr@orizaba.tecnm.mx⁴

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

La metodología TWI (Training Within Industry) se implementó en el área de compras de una empresa textil con el objetivo de mejorar la calidad del trabajo y la satisfacción del cliente. Este enfoque se centró en capacitar al personal para desarrollar sus habilidades y estandarizar los procedimientos, lo que permitió minimizar errores y fomentar la mejora continua. Se realizó un análisis de las actividades productivas para identificar errores y mermas debido a la falta de estandarización y se diseñó una macro en Excel que permitió generar órdenes de compra estandarizadas y detalladas, mejorando la trazabilidad y reduciendo el tiempo de elaboración de 20 a 5 minutos, logrando una eficiencia del 90%. Aplicar TWI no solo optimizó la eficiencia operativa, sino que también aumentó la competitividad de la empresa. Su flexibilidad para aplicarse en distintos sectores la convierte en una herramienta clave para mejorar procesos, reducir errores y garantizar la satisfacción del cliente, estableciendo un entorno de trabajo más eficiente y enfocado en la mejora continua.

Palabras claves: TWI, Trazabilidad, compras.

Abstract

The TWI (Training Within Industry) methodology was implemented in the purchasing area of a textile company with the aim of improving work quality and customer satisfaction. This approach focused on training personnel to develop their skills and standardize procedures, thus minimizing errors and promoting continuous improvement. An analysis of production activities was carried out to identify errors and waste due to the lack of standardization, and an Excel macro was designed to generate standardized and detailed purchase orders, improving traceability and reducing processing time from 20 to 5 minutes, achieving 90% efficiency. Applying TWI not only optimized operational efficiency, but also increased the company's competitiveness. Its flexibility to be applied in different sectors makes it a key tool to improve processes, reduce errors and ensure customer satisfaction, establishing a more efficient work environment focused on continuous improvement.

Keywords: TWI, Traceability, purchasing.

Introducción

La industria textil en México tiene una gran representación en el palmarés de la economía mexicana, en el año 2023, la industria textil y de la confección representó 1.9 % de las industrias manufactureras con respecto al PIB [1]. Esta cifra refleja la relevancia del sector textil como uno de los pilares fundamentales de la economía en el país. Esta industria no solo es un aporte económico vital, sino que también es un sector ampliamente atractivo para la inversión interna como externa, lo que ha impulsado un crecimiento considerable en los últimos años. Sin embargo, a pesar de este crecimiento, las empresas dedicadas en este sector enfrentan desafíos constantes de mejorar la calidad y la satisfacción del cliente para lograr una competitividad a nivel mundial. Esto ha llevado a muchas empresas a adoptar e implementar mejoras tecnológicas en sus procesos productivos, con el objetivo de alcanzar la máxima eficiencia y minimizar las fallas que pueden afectar la producción.

En este contexto, es importante entender que las fallas humanas en los procesos, que se manifiestan a menudo como errores en la producción, son el resultado de acciones que no han sido debidamente planeadas. Estos errores no solo afectan a la eficiencia, sino que también generan mermas, las cuales son pérdidas que se producen en diversas etapas del proceso productivo. Estas mermas impactan directamente en los costos, tanto directos como indirectos, de la empresa o del proyecto, ya que no aportan ningún valor al producto final. La raíz de muchas de estas fallas humanas se encuentra en la forma en que empleadores y empleados organizan y ejecutan el trabajo, destacando la importancia de las decisiones y acciones tomadas.

Con la competitividad en el mercado en constante crecimiento, tanto a nivel nacional como internacional, las demandas y expectativas del cliente se han vuelto cada vez más exigentes. En este escenario, las empresas que logran producir de manera más eficiente y con menos errores se posicionan con una ventaja competitiva significativa. Una estrategia efectiva para lograrlo es la implementación de metodologías como TWI (Training Within Industry), que se centra en mejorar las habilidades de los supervisores y estandarizar los procesos, reduciendo así la incidencia de fallas humanas y mejorando la eficiencia general de la producción.

Metodología

La metodología TWI fue uno de los principales servicios de emergencia que fueron establecidos por la junta de producción de guerra del gobierno de los Estados Unidos, con la finalidad de "ayudar a la industria a ayudarse a sí misma a sacar más materiales de los que nunca se había pensado posible, y a una velocidad de constante aceleración" [2]. TWI se desarrolló como parte de la ayuda a las industrias de defensa que con el fin de satisfacer sus necesidades, entrenando a cada uno de los trabajadores para sacar el máximo provecho de sus habilidades individuales durante la segunda guerra mundial. El programa se centra en la capacitación de líderes de producción, maestros, capataz y operadores experimentados. El libro *Creating an Effective Management System* [3] menciona a Training Within Industry (TWI) como una serie de metodologías en torno a las habilidades básicas que necesitan los supervisores de primera línea para dirigir eficazmente una fuerza laboral. El supervisor, definido en TWI como "cualquier persona a cargo de las personas o que dirija el trabajo de los demás", es el primer punto de contacto que la organización tiene con cada empleado. La orientación y dirección que cada empleado

recibe de su "supervisor", la persona que inspecciona y controla el trabajo es sin duda el factor más influyente en el éxito del trabajo de esa persona y de la organización en general.

TWI ayuda a transferir conocimientos y habilidades de gestión en la instrucción de los empleados, la generación de relaciones entre los empleados y la mejora de los métodos de trabajo. El impacto de este método está influenciado por la gestión, ya que la persona encargada de impartir esta metodología debe tener un conocimiento amplio del problema antes de entrenar a otras personas. Para conseguir este objetivo, TWI tiene una forma efectiva para lograr este propósito basada en tres programas J (J=Trabajo), instrucciones laborales (JI) , métodos de trabajo (JM) y las relaciones laborales (JR), así como ciertas habilidades por parte del supervisor:

- Conocimiento del trabajo y las responsabilidades inherentes al mismo
- Habilidad para instruir, mejorar los métodos y liderar al personal

Patrick Graupp y Robert J. Wrona en su libro *Implementing TWI* [4], mencionan como los tres programas se destacan al momento de su implementación:

Formación en Instrucción Laboral (JI): El objetivo principal de JI (Instrucción del Trabajo) se basa en la estandarización del trabajo y en capacitar a los instructores para que puedan enseñar de manera efectiva a los empleados, con el fin de desarrollar una fuerza laboral bien preparada. Un instructor, en esencia, debe ser experto en la instrucción o capacitación para poder reducir las mermas que se generan dentro de la empresa.

Formación en métodos de trabajo (JM): Esta formación tiene como objetivo ayudar a los instructores a lograr una producción de calidad en el menor tiempo posible, optimizando el uso de la mano de obra, las máquinas y los materiales disponibles. JI (Instrucción del Trabajo) es similar a JM (Métodos del Trabajo), ya que ambas se basan en el análisis detallado de una tarea por parte del trabajador guiado por el instructor. Sin embargo, la diferencia radica en la manera en que se realiza el trabajo, puesto que JM se enfoca en reducir errores.

Formación en Relaciones Laborales (JR): La formación JR (Relaciones en el Trabajo) tiene como objetivo enseñar a los instructores cómo guiar a las personas para prevenir problemas y fomentar la colaboración en el área de trabajo. JR también influye en la gestión positiva de los problemas del personal, al tratar a cada individuo de manera personalizada.

James R. Huntzinger en su libro *Lean Cost Management* [5], la estructura de cuatro pasos de TWI no solo fue fundamental para su éxito, sino que también sirvió como base para el desarrollo del trabajo estándar y el proceso de Kaizen. Huntzinger realizó una investigación exhaustiva sobre la conexión entre TWI y Toyota, destacando cómo los cuatro pasos de TWI y Kaizen comparten similitudes clave, lo que permite una implementación más rápida y eficiente de estas metodologías.

La comparación de estos cuatro pasos entre TWI y Kaizen se presenta en la Tabla 1, mostrando cómo estos enfoques pueden integrarse y reforzarse mutuamente en la práctica.

Tabla 1 Comparación de los pasos de TWI y el Kaizen, según Huntzinger

Pasos	Instrucciones de trabajo	Métodos de trabajo	Relaciones laborales	Kaizen
1	Prepara al trabajador	Desglosar el trabajo	Obtenga los hechos	Observar y cronometrar el proceso actual
2	Presentar la operación	Cuestionar cada detalle	Pesar y decidir	Analizar el proceso actual
3	Probar el rendimiento	Desarrollar el nuevo método	Actuar	Implementar y probar un nuevo proceso
4	Seguimiento	Aplicar el nuevo método	Probar resultados	Supervisar y revisar

La implementación de TWI como método de preservación y transferencia del conocimiento entre empleados es esencial para optimizar la capacitación en el lugar de trabajo. En el artículo "Acelerar el proceso de transferencia de habilidades a través de TWI - Instrucciones laborales" [6], se resalta la importancia de agilizar la transferencia de habilidades mediante la "Instrucción laboral", un enfoque en el cual los empleados más experimentados capacitan a los nuevos. Este enfoque no solo incrementa la eficiencia y efectividad en la capacitación, sino que también fomenta un ambiente de aprendizaje colaborativo, mejorando la retención de conocimientos.

Por otro lado, el artículo "Programa de formación dentro de la industria (TWI-JS) como herramienta para mejorar la seguridad en el trabajo en la industria del acero en Polonia" [7], explora cómo la metodología TWI puede mejorar la seguridad laboral. En el contexto de la industria del acero en Polonia, se destaca la importancia de abordar los desafíos de seguridad mediante TWI. El estudio muestra cómo la implementación de esta metodología resultó en una reducción significativa de incidentes y mejoras en la seguridad laboral, concluyendo que TWI es una herramienta efectiva para este propósito.

Adicionalmente, el artículo "Reducción del fracaso humano en la construcción con el método de formación dentro de la industria" [8] aborda cómo TWI puede reducir las fallas humanas en la industria de la construcción. El estudio resalta que las fallas humanas son una causa importante de accidentes y pérdidas en este sector. A través de la implementación de TWI, se mejoró la capacitación de supervisores y trabajadores, enfocándose en habilidades clave como la resolución de problemas y la comunicación.

En conjunto, estos artículos evidencian la importancia de la metodología TWI en diversos contextos industriales. Sus beneficios incluyen mejoras en eficiencia, calidad del producto, desarrollo de habilidades, gestión del conocimiento, y seguridad laboral, lo que subraya su valor como una estrategia integral para la optimización en distintos sectores.

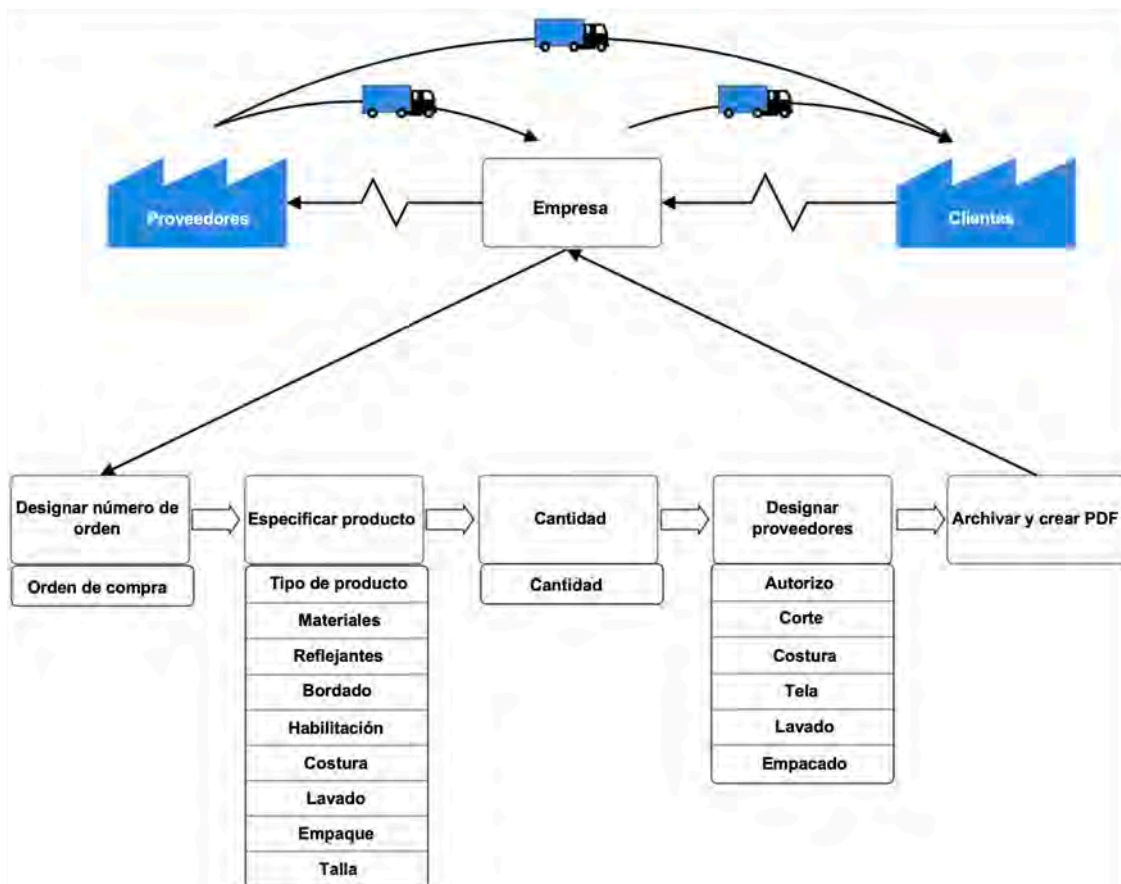
Resultados y metodología

Paso 1

El primer paso fue realizar un análisis detallado de las actividades productivas de la empresa, con el objetivo de comprender todos los procesos involucrados en la elaboración de la mercancía, desde la recepción de la solicitud del cliente hasta la entrega del producto final. Este análisis requirió 20 días de observación y seguimiento para entender cómo funciona cada etapa del proceso y localizar posibles errores.

Paralelamente, se completaron los pasos correspondientes de los tres programas de TWI. En primer lugar, se preparó a los trabajadores, informándoles sobre el análisis que se estaba realizando en el proceso productivo. Luego, se desglosó el trabajo para analizar el comportamiento de cada actividad. Finalmente, se recopilaron los datos necesarios para identificar los hechos relacionados con la ejecución de las operaciones. Como resultado, se elaboró un diagrama de flujo que refleja de manera general las actividades realizadas en el proceso productivo. Véase Ilustración 1.

Ilustración 1 Proceso actual de operaciones



En la Ilustración 1, se pueden observar tres entidades involucradas: el cliente, la empresa y los proveedores. Es importante destacar que la empresa subcontrata la mayor parte de su producción mediante outsourcing, lo que genera que los problemas surjan, ya que la empresa cuenta con 9 proveedores encargados de hacer diferentes actividades como son proporcionar la tela, cortar, coser, lavar y empacar, por lo cual vuelve difícil darle un seguimiento adecuado para cada proveedor. Esta variedad de proveedores propicia que la información tenga que ser clara para la fabricación, es aquí donde surge un inconveniente dado que las órdenes de compra no contienen la información necesaria y generan errores, además de que existen al menos 400 combinaciones posibles diferentes para la fabricación de la mercancía.

El proceso comienza cuando el cliente genera pedido con las especificaciones necesarias para su producto. Al recibir esta orden, la empresa se encarga de gestionarla y crear una orden de compra interna, que incluye detalles más específicos. A esta orden interna se le asigna un número y se detallan las características del producto, tales como el tipo de producto, materiales, reflejante, bordado, habilitación, costura, lavado, empaque y talla. Además, se especifican las cantidades requeridas y se asignan las tareas correspondientes a los proveedores. Finalmente, la orden se archiva y se genera un PDF para su registro. Según lo establecido en la orden de compra interna, los proveedores pueden enviar el producto terminado directamente al cliente o a la empresa.

Paso 2

Al analizar el proceso interno que la empresa sigue para generar las órdenes de compra, se identificó la ausencia de un procedimiento estandarizado. Estas órdenes se crean de manera empírica, lo que da lugar en variaciones significativas entre ellas. Esta falta de estandarización provoca errores, confusiones y fallas, lo que a su vez impide satisfacer las necesidades del cliente. Como consecuencia, se generan retrabajos, pérdidas económicas, deterioro de la reputación de la empresa y la pérdida de clientes. Véase Ilustración 2,3 y 4.

Ilustración 2 Primer formato

ARTICULO		ORDEN DE COMPRA		PRECISO		ETIQUETA		ONFORD AZUL MARINO	
BLUSA DAMA MANGA LARGA		09-jun-23 BIO		BORDADA		COMPOSICION 100%ALG		ONFORD AZUL MARINO	
TELAS		ANCHO	METROS	COMPOSICION		COLOR	TELA	SALDO	
ONFORD	1.77	105	100%ALG	ONF	MARINO		367	262	
SUGERIDO		0					342	342	
CINTA REFLEJANTE		COLOR	MEDIDA	CANTIDAD					
N/A									
BOTONES		TAMANO	MAJOS						
BLANCO	18	945	0.548875						
BIEL									
INTERIOR		SOBREHLADO							
MUESTRA		1/CHERRES		N/A					
TELA		CINTA REF		N/A					
ETIQUETA		OVARILLAS		ELASTICO N/A					
		XCH/30,32	CH/34,36	MED/38	GDE/40	XG/42,44	XXG/46,48	XXX/50,52	TOTAL
				30	30	30	10	0	105
TALLAS									
CORTES									
SUGERIDO									0



Ilustración 4 Segundo formato

DESCRIPCION	PANTALON BASICO	ANCHO TRAZO
REFLEJANTE	SIN REFLEJANTE	SIN BORDADO
TALLA		
28		
30		30
32		30
34		30
36		10
38		
40		
42		
44		
46		
48		
50		
52		
54		
TOTAL	100	



Ilustración 3 Tercer formato

CAMISA CABALLERO MANGA LARGA			
MOLDE BIOPAPPEL CAMISA MEZCLILLA			
orden	4350	4116	TOTAL
XCH/30,32			
CH/34,36	10	28	38
MED/38	20	22	42
GDE/40	18	10	28
XG/42,44	10		10
XXG/46,48	6		6
	64	60	124

Como se observa en las Ilustraciones 2, 3 y 4, existían diferentes formatos para generar órdenes de compra, ninguno de los cuales estaba estandarizado ni seguía una estructura clara, lo que ocasionaba errores y evidenciaba problemas de comunicación con los proveedores debido a la información solicitada por cada uno. En la Ilustración 2, se presenta el primer formato, que organiza de manera más detallada las requisiciones del cliente, incluyendo tallas, tipo de material, acabados, metros de tela necesarios y

otras características esenciales para el desarrollo de la prenda. En la Ilustración 3, se puede ver que la información se simplificó, reduciéndose a los datos más básicos y esenciales. Finalmente, en la Ilustración 4, la información se redujo aún más, omitiendo incluso las fotografías.

Siguiendo los principios de los tres programas, se analizó la operación actual de las órdenes de compra, cuestionando cada aspecto del proceso para explorar alternativas que pudiera combatir esta falta de estandarización.

Paso 3

Este paso es crucial, ya que se desarrolló una macro en Excel, se ha optado por elegir esta opción por la adaptabilidad y la interfaz de usuario amigable, además de es que la mejor que se adapta a los recursos con los cuales cuenta la empresa, la creación de la macro permitió la generación de órdenes de compra estandarizadas y detalladas para cada uno de los productos solicitados por los clientes, a su vez, permite homologar la información para los proveedores designados para la producción de los productos. Durante el desarrollo de esta macro, se tomaron en cuenta todas las requisiciones, productos y especificaciones que la empresa ofrece.

Además de generar órdenes de compra, esta macro ofrece varias ventajas: permite crear un historial de órdenes, generar y guardar un archivo en formato PDF, y facilita el seguimiento de los proveedores a quienes se les asignan las requisiciones de trabajo. Véase Ilustración 5.

Ilustración 5 Macro para generar órdenes de compra

The screenshot shows an Excel macro interface for generating purchase orders, divided into three main sections:

- Producto:** A vertical list of input fields for product details:
 - N° de pedido: []
 - Empresa: []
 - Producto: []
 - Materia: []
 - Nombre del archivo: []
 - Reflejante: []
 - Bordado: []
 - Habilitación: []
 - Tipo de costura: []
 - Lavado: []
 - Empaque: []
 - Mts Enviados: []
 - Consumo: []
 - Prendas aprox: []
 - Inventario final: []
 - Comentarios: []
 - Tela: []
 - Cantidad: []
 - Buttons: ELIMINAR, AÑADIR
 - Clave: []
 - Código: []
- Responsables:** A table for assigning responsibilities with a date picker set to August 2024.

Responsables		
Fecha	Autonizo	Corte
05/03/24	a	b
11/03/24	b	c
18/03/24	c	d
24/03/24	d	a
31/03/24	a	b
07/04/24	b	c
14/04/24	c	d
21/04/24	d	a
28/04/24	a	b
05/05/24	b	c
12/05/24	c	d
19/05/24	d	a
26/05/24	a	b
01/06/24	b	c
08/06/24	c	d
15/06/24	d	a
22/06/24	a	b
29/06/24	b	c
06/07/24	c	d
13/07/24	d	a
20/07/24	a	b
27/07/24	b	c
03/08/24	c	d
10/08/24	d	a
17/08/24	a	b
24/08/24	b	c
31/08/24	c	d
07/09/24	d	a
14/09/24	a	b
21/09/24	b	c
28/09/24	c	d
05/10/24	d	a
12/10/24	a	b
19/10/24	b	c
26/10/24	c	d
02/11/24	d	a
09/11/24	a	b
16/11/24	b	c
23/11/24	c	d
30/11/24	d	a
07/12/24	a	b
14/12/24	b	c
21/12/24	c	d
28/12/24	d	a
04/01/25	a	b
11/01/25	b	c
18/01/25	c	d
25/01/25	d	a
01/02/25	a	b
08/02/25	b	c
15/02/25	c	d
22/02/25	d	a
01/03/25	a	b
08/03/25	b	c
15/03/25	c	d
22/03/25	d	a
29/03/25	a	b
05/04/25	b	c
12/04/25	c	d
19/04/25	d	a
26/04/25	a	b
03/05/25	b	c
10/05/25	c	d
17/05/25	d	a
24/05/25	a	b
31/05/25	b	c
07/06/25	c	d
14/06/25	d	a
21/06/25	a	b
28/06/25	b	c
05/07/25	c	d
12/07/25	d	a
19/07/25	a	b
26/07/25	b	c
02/08/25	c	d
09/08/25	d	a
16/08/25	a	b
23/08/25	b	c
30/08/25	c	d
06/09/25	d	a
13/09/25	a	b
20/09/25	b	c
27/09/25	c	d
04/10/25	d	a
11/10/25	a	b
18/10/25	b	c
25/10/25	c	d
01/11/25	d	a
08/11/25	a	b
15/11/25	b	c
22/11/25	c	d
29/11/25	d	a
06/12/25	a	b
13/12/25	b	c
20/12/25	c	d
27/12/25	d	a
03/01/26	a	b
10/01/26	b	c
17/01/26	c	d
24/01/26	d	a
31/01/26	a	b
07/02/26	b	c
14/02/26	c	d
21/02/26	d	a
28/02/26	a	b
06/03/26	b	c
13/03/26	c	d
20/03/26	d	a
27/03/26	a	b
03/04/26	b	c
10/04/26	c	d
17/04/26	d	a
24/04/26	a	b
01/05/26	b	c
08/05/26	c	d
15/05/26	d	a
22/05/26	a	b
29/05/26	b	c
05/06/26	c	d
12/06/26	d	a
19/06/26	a	b
26/06/26	b	c
03/07/26	c	d
10/07/26	d	a
17/07/26	a	b
24/07/26	b	c
31/07/26	c	d
07/08/26	d	a
14/08/26	a	b
21/08/26	b	c
28/08/26	c	d
04/09/26	d	a
11/09/26	a	b
18/09/26	b	c
25/09/26	c	d
02/10/26	d	a
09/10/26	a	b
16/10/26	b	c
23/10/26	c	d
30/10/26	d	a
06/11/26	a	b
13/11/26	b	c
20/11/26	c	d
27/11/26	d	a
04/12/26	a	b
11/12/26	b	c
18/12/26	c	d
25/12/26	d	a
01/01/27	a	b
08/01/27	b	c
15/01/27	c	d
22/01/27	d	a
29/01/27	a	b
05/02/27	b	c
12/02/27	c	d
19/02/27	d	a
26/02/27	a	b
05/03/27	b	c
12/03/27	c	d
19/03/27	d	a
26/03/27	a	b
02/04/27	b	c
09/04/27	c	d
16/04/27	d	a
23/04/27	a	b
30/04/27	b	c
07/05/27	c	d
14/05/27	d	a
21/05/27	a	b
28/05/27	b	c
04/06/27	c	d
11/06/27	d	a
18/06/27	a	b
25/06/27	b	c
02/07/27	c	d
09/07/27	d	a
16/07/27	a	b
23/07/27	b	c
30/07/27	c	d
06/08/27	d	a
13/08/27	a	b
20/08/27	b	c
27/08/27	c	d
03/09/27	d	a
10/09/27	a	b
17/09/27	b	c
24/09/27	c	d
01/10/27	d	a
08/10/27	a	b
15/10/27	b	c
22/10/27	c	d
29/10/27	d	a
05/11/27	a	b
12/11/27	b	c
19/11/27	c	d
26/11/27	d	a
03/12/27	a	b
10/12/27	b	c
17/12/27	c	d
24/12/27	d	a
31/12/27	a	b
- Orden de compra:** A form for generating the purchase order with various fields and a table for item details.

Orden de compra			
Empresa: []	N° de pedido Xim: []	0-82024-000	
Proveedor: []	Fecha: []	27/03/24	
Materia: []	Archivo: []	[]	
N° de pedido: []			
Especificaciones			
Referencia: []	Bordado: []	Habilitación: []	[]
Tipo de costura: []	Lavado: []	Empaque: []	[]
Mts Enviados: []	Prendas aprox: []	Inventario Final: []	[]
Comentarios: []	[]		
FOTO FRENTE			
FOTO ATRÁS			
LOGO			
Pedidos			
Tela	Cantidad	Clave	Código
			TOTAL: []
Responsables			
Autorizo: []	Fecha: []	Tela: []	Empaque: []
Corte: []	Fecha: []	Lavado: []	Empaque: []
Costura: []	Fecha: []	Empaque: []	Empaque: []

En la ilustración 5, se puede observar la interfaz de la macro de Excel, una propuesta estandarizada para la generación de órdenes de compra para los productos que le empresa ofrece. La interfaz está dividida en tres secciones:

- o Secciones del producto: Esta sección incluye campos para ingresar datos como el número de pedido, empresa, producto, nombre del archivo, tipo de costura, bordado, y varios otros

detalles relacionados con el producto y también cuenta con campos para comentarios, talla, cantidad, y códigos, con botones para agregar o eliminar entradas.

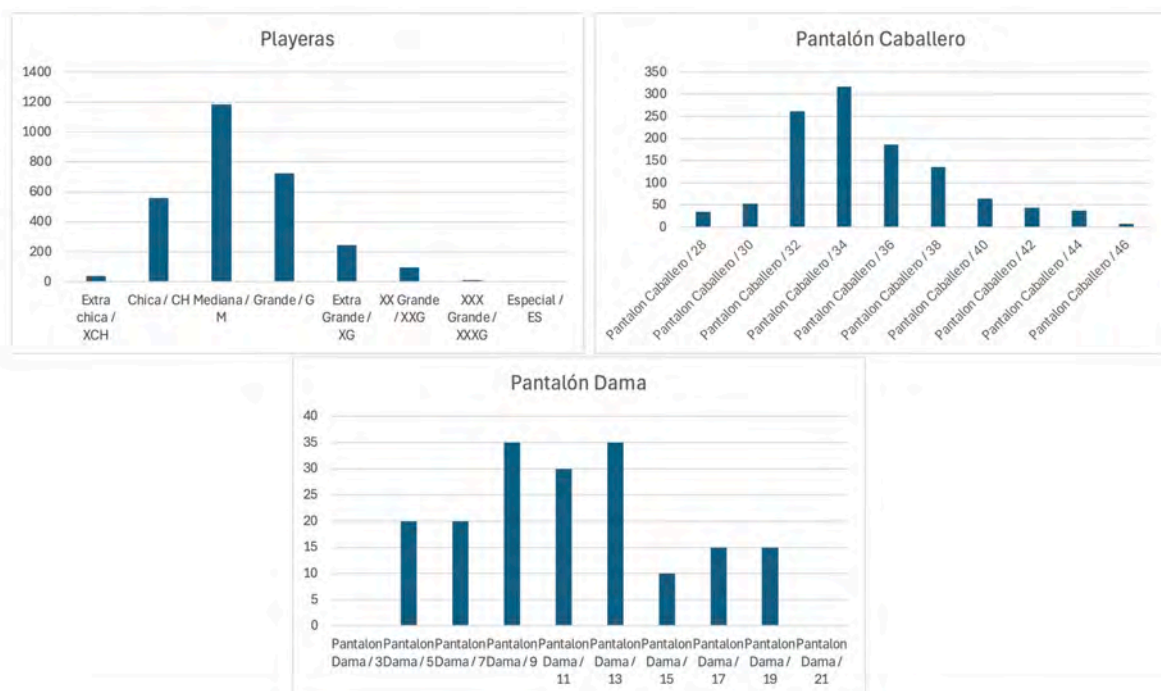
- Sección de responsables: Presenta una lista de responsables con fechas asignadas para diferentes tareas como autorizar, cortar, costura, tela, lavado, y empaque. También incluye un calendario para seleccionar fechas.
- Sección de órdenes de compra: Muestra un formato de orden de compra donde se presenta la información otorgada en las secciones anteriores. Hay un espacio para insertar imágenes de referencia (frontal y trasera) y un logo.

La interfaz está estructurada para facilitar la generación y gestión de órdenes de compra, permitiendo un control detallado de la información relacionada con cada pedido y el seguimiento de responsabilidades.

Paso 4

En este último paso, se analizó el uso de la macro durante un período de 30 días para evaluar su desempeño en el entorno laboral. Se capacitó a la persona encargada del proceso en un lapso de una semana, mostrándole el funcionamiento completo del sistema con ayuda de un manual se usuario, y estuvo involucrada al 100% en todas las etapas del desarrollo de la macro. Los resultados fueron favorables, con una eficiencia del 90%. La generación de órdenes de compra se redujo de 20 minutos a solo 5 minutos, y durante ese tiempo no se registraron errores en la elaboración de los productos, a diferencia del escenario anterior donde se detectaban de 2 a 3 errores en el mismo lapso. Además, se analizaron las requisiciones de los productos más solicitados, lo que permitió llevar un registro detallado de estos artículos. Véase ilustración 6.

Ilustración 6 Tablas de los comportamientos de los pedidos



En general, la gráfica de playeras muestra que las tallas medianas y grandes son las más populares. En cuanto a los pantalones de caballero, las tallas medias, como la 34 y la 36, predominan la demanda, mientras que en los pantalones de dama, las tallas intermedias, como la 11 y la 13, son las más solicitadas. En todas las categorías, las tallas más pequeñas y más grandes tienden a tener una menor demanda. Con base en esta información, la empresa podría optimizar su inventario y proceso de compras aplicando varias estrategias: ajustar el inventario para priorizar las tallas más demandadas, negociar mejores condiciones con los proveedores de estas tallas, implementar la producción personalizada para las tallas menos solicitadas y realizar un análisis continuo de la demanda para mantener la oferta alineada con las tendencias. Estas acciones contribuirían a mejorar la eficiencia en la gestión del inventario y a reducir costos innecesarios.

Trabajo a futuro

El siguiente paso en el proyecto es desarrollar una aplicación basada en la macro actual para optimizar aún más el proceso de gestión de órdenes de compra. Esta aplicación permitirá controlar factores críticos del proceso productivo, como el tiempo de ejecución y la coordinación entre clientes, la empresa y proveedores. Además, ofrecerá un entorno de comunicación más eficiente, mejorando la trazabilidad de los pedidos y reduciendo errores. La flexibilidad de la aplicación permitirá ajustes continuos en función de las necesidades del mercado, incrementando la eficiencia operativa y mejorando la satisfacción del cliente.

Conclusiones

La implementación de la metodología TWI ha demostrado ser clave para mejorar la eficiencia operativa, la calidad del trabajo y la reputación de la empresa. Al centrarse en la capacitación en áreas clave como la instrucción de trabajo, las relaciones laborales y la mejora de métodos, TWI facilita la estandarización de procesos y fomenta un ambiente de colaboración, lo que garantiza una optimización duradera de las operaciones.

Además, TWI contribuye a aumentar la eficacia organizacional, promoviendo una capacitación adecuada que desarrolla habilidades clave y minimiza errores. No solo mejora los procesos, sino que también actúa como un catalizador de transformación cultural, fomentando una cultura de mejora continua y fortaleciendo la posición competitiva de la empresa. En resumen, TWI es una estrategia integral que impulsa el crecimiento sostenible y la competitividad a largo plazo.

Referencias

- [1] INEGI, «LA INDUSTRIA TEXTIL Y DE LA CONFECCIÓN,» Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascaliente, 2024.
- [2] P. Graupp y R. Wrona, THE TWI WORKBOOK, New York: CRC Press, 2010.
- [3] P. Graupp, S. Steward y B. Parsons, GREATINGNAEFFECTIVE MANagementsystem, New York: CRC PRESS, 2020.

- [4] P. Graupp y R. J. Wrona, IMPLEMENTING TWI, New York : CRC Press, 2010.
- [5] J. R. Huntzinger, Lean Cost Management, Florida: J.ROSS PUBLISHING, 2006.
- [6] M. Tyagi, «Expediting the Process of Skill transfer through Training Within Industry "Job Instruction",» *International Journal of Advanced Science and Technology*, vol. 29, n° 4, pp. 3179-3188, 2020.
- [7] J. FURMAN, «TRAINING WITHIN INDUSTRY (TWI-JS) PROGRAM AS A TOOL TO IMPROVE WORK SAFETY IN THE STEEL INDUSTRY IN POLAND,» *Metalurgija*, vol. 62, n° 3-4, pp. 477-479, 2023.
- [8] L. G. Mollo, E. Emuze y J. Smallwood, «REDUCING HUMAN FAILURE IN CONSTRUCTION WITH THE 'TRAINING- WITHIN-INDUSTRY' METHOD,» *Proceedings IGLC-26*, vol. 26, p. 923-932, 2018.
- [9] M. Tyagi, «Expediting the Process of Skill transfer through Training Within Industry "Job Instruction",» *International Journal of Advanced Science and Technology*, vol. 49, n° 4, pp. 3179-3188, 2020.

PROCESO TECNOLÓGICO PARA ELABORACIÓN DE PLANTAS ORNAMENTALES EN ATLIXCO, PUEBLA

L. Martínez Zacatenco¹, F. Olvera Torres²,

¹Posgrado, TecNM: Instituto Tecnológico Superior de Atlixco, Prolongación Heliotropo 1201, Col. Vista Hermosa, Atlixco, Puebla, México, C.P. 74218.

²Ingeniería Industrial, TecNM: Instituto Tecnológico Superior de Atlixco, Prolongación Heliotropo 1201, Col. Vista Hermosa, Atlixco, Puebla, México, C.P. 74218.

mi230016@itsatlixco.edu.mx

Área de participación: **Ingeniería Industrial**

Resumen

El presente trabajo está relacionado con la producción de plantas ornamentales que es parte del viverismo, esta actividad en Atlixco es considerada parte fundamental del turismo, ya que, al producir diversas variedades, como pueden ser rosas, geranios, suculentas, petunias, margaritas, entre otras, se atrae más turistas y personas que les gusten las plantas. Para la obtención de las mismas se realiza una serie de actividades, entre ellas: el pedido de materia prima, el transporte, el uso de un almacén, el mezclado para la obtención del sustrato adecuado para el desarrollo y crecimiento de la planta, el trasplante de las plántulas/esquejes, el traslado al área de crecimiento, por último, su exhibición y venta. Por otra parte, se hace un análisis de todas las actividades mencionadas por medio un estudio de tiempos con cronómetro para identificar las operaciones que agregan valor en la producción y como consecuencia obtener el tiempo de ciclo.

Palabras clave: *Viverismo, Mezclado, Sustrato, Producción*

Abstract

This present work is related to the production of ornamental plants, which is part of the nursery industry. This activity in Atlixco is considered a fundamental part of tourism, since the production of diverse varieties, such as roses, geraniums, succulents, petunias, daisies, among others, attracts more tourists and plant enthusiasts. To obtain these plants, a series of activities are carried out, including: raw material ordering, transportation, storage, mixing to obtain the suitable substrate for plant growth and development, transplanting of seedlings/cuttings, transfer to the growth area, and finally, exhibition and sale. On the other hand, an analysis of all the mentioned activities is carried out through a time study using a chronometer to identify the operations that add value to the production and, as a result, obtain the cycle time.

Key words: *Nursery, Mixed, Substrate, Production*

Introducción

El presente estudio está enfocado en el análisis de las actividades que se ejecutan durante la producción de plantas ornamentales en el viverismo de la región de Atlixco y colindantes. El viverismo es una actividad enfocada en la producción de organismos vegetales a través de viveros que son instalaciones agronómicas creadas para el cultivo, germinación y maduración de diversas clases de plantas. Esto se logra gracias a la implementación de maquinaria, equipos, herramientas e insumos que, en conjunto, permiten una producción exitosa [7].

Para el municipio de Atlixco es importante la actividad del viverismo, puesto que de ella se generan numerosos empleos directos e indirectos, debido a que en la región se producen plantas ornamentales dentro de los viveros y a su vez en diferentes áreas de alrededor de la región de Atlixco,

posterior a la producción los productores las llevan a ofrecer a los viveros establecidos en la zona de cabecera, el corredor gastronómico de Atlixco en donde se enfoca la mayor venta de estas plantas, incluso da oportunidad a la venta en otros estados.

La producción de plantas ornamentales se basa fundamentalmente en la utilización de macetas llenas de material sólido sustrato que sirve de medio de cultivo; Manuel Abad Berjon menciona que son múltiples las propiedades de los sustratos que son empleados para la producción de plantas, así como sus características físicas, químicas y biológicas [1]. El sustrato se considera que es cualquier material diferente al suelo que se utiliza para retener el agua y los nutrientes que sirve de anclaje al sistema radicular (las raíces) de la planta, el cual es vertido en un contenedor (maceta), los sustratos pueden estar formados por materiales orgánicos, inorgánicos o por una combinación de ambos tipos [8]. En México es común usar como sustrato a la tierra de monte para producir plantas ornamentales, también se usan tezontle, tepojal, perlita, turbas, fibra de coco, vermiculita, tierra negra, termolita, tierra triturada, entre otros [2]. Cabe mencionar que se puede hacer uso de componentes orgánicos para formar el sustrato, los más populares incluyen: musgo de turba (peat moss), productos de madera (corteza, aserrín, virutas), composta de materia orgánica o desechos de jardinería, polvo de coco, lodos de depuradora, fango, estiércol, paja, cascarilla de arroz y de cacahuete, etc [3]. El sustrato que se obtenga dependerá de la combinación de los materiales que se elijan y la finalidad de su aplicación al producir plantas, puesto que cada variedad requiere nutrientes diferentes para su desarrollo y crecimiento.

Al investigar más sobre el mismo tema, se encuentra que, en países desarrollados, la producción de plantas se refiere al trasplante de plántulas, esta actividad pertenece al área de la horticultura a la cual se le ha puesto mayor atención desde el punto de vista tecnológico debido a su alto precio y las rigurosas condiciones ambientales requeridas para asegurar su crecimiento y desarrollo [4]. Por lo tanto, se presenta como ejemplo la producción en la región de Atlixco, en la que las actividades se realizan de manera manual entre las que sobresalen el mezclado de sustrato que se realiza por medio de palas, bioldos y rastrillos, el trasplante de las plántulas y en general el cuidado de las plantas. Sin embargo, a pesar de las tareas exhaustas que conlleva el viverismo es importante mencionar que fomenta la incorporación de áreas verdes a un sistema ecológico urbano para tener una ciudad más sana y bella. [6]

Metodología

Materiales

Para el estudio de los tiempos del mezclado se midió por medio de tiempos con cronómetro (toma de video con celular cronometrado) con el objetivo de tener mayor exactitud y veracidad. Esta técnica nos proporcionó el tiempo de cada tarea realizada ya sea que el tiempo sea extenso o breve, el instrumento del cronómetro se considera una excelente herramienta en la detección de tiempos muertos, también apoya en la identificación del rendimiento del personal que ejecutan las actividades designadas, así mismo se obtiene el tiempo total del proceso y por consecuencia se determina el tiempo de ciclo de cada una de las 7 muestras que se obtuvieron de los cinco viveros involucrados.

Preparación

Se entrevistaron a las personas de los viveros para realizar el análisis de las actividades de la producción, posteriormente se realizó una lista las actividades identificadas que presentan en un diagrama de operaciones, por consiguiente, se seleccionan las tareas que agregan valor al proceso colocando los datos en una tabla y por último se diseña un Value Stream Mapping (VSM) en el que se integra toda la información para tener un panorama más amplio a cerca de la producción de plantas ornamentales.

Desarrollo

Derivado de lo anterior en este trabajo se realizó el análisis de las actividades que integran la producción de plantas ornamentales, considerando tiempos y número de operadores, enfocando el estudio en el mezclado del sustrato, por lo que se cronómetro el tiempo de cada actividad que se realiza durante la mezcla de los componentes, los viveros que participaron en el trabajo son: Xochiquetzal con 2 muestras, Flor Natura con 2 muestras, Jardín de San Francisco con 1 muestra, Tecno Rojas con 1 muestra y Xalpatlaco con 1 muestra.

Para presentación de la información recabada se realizó un diagrama de operaciones en las que se integran todas las actividades de la producción, se hizo una tabla para incorporar los tiempos y por último se elaboró un Value Stream Mapping (VSM) de las operaciones que integran la producción de plantas ornamentales.

Resultados y discusión

Procesos para la producción de plantas ornamentales

Al realizar las visitas a cinco viveros se identificaron las actividades que se realizan durante la producción de plantas ornamentales en el área del viverismo, el diagrama de la figura 1, muestra el requerimiento de materia prima tales como: tierra de hoja, tierra negra, tepecil/termolita/tezontle, maceta de 6" y plántulas/esquejes la cual al llegar al almacén se transporta al área asignada para mezclar los tres componentes y formar el sustrato una vez listo se utiliza para la plantación de los esquejes/plántulas, posteriormente se acomoda en el área de crecimiento del cliente para su monitoreo del desarrollo de las mismas que al ser cumplir con las características necesarias son exhibidas para su venta.

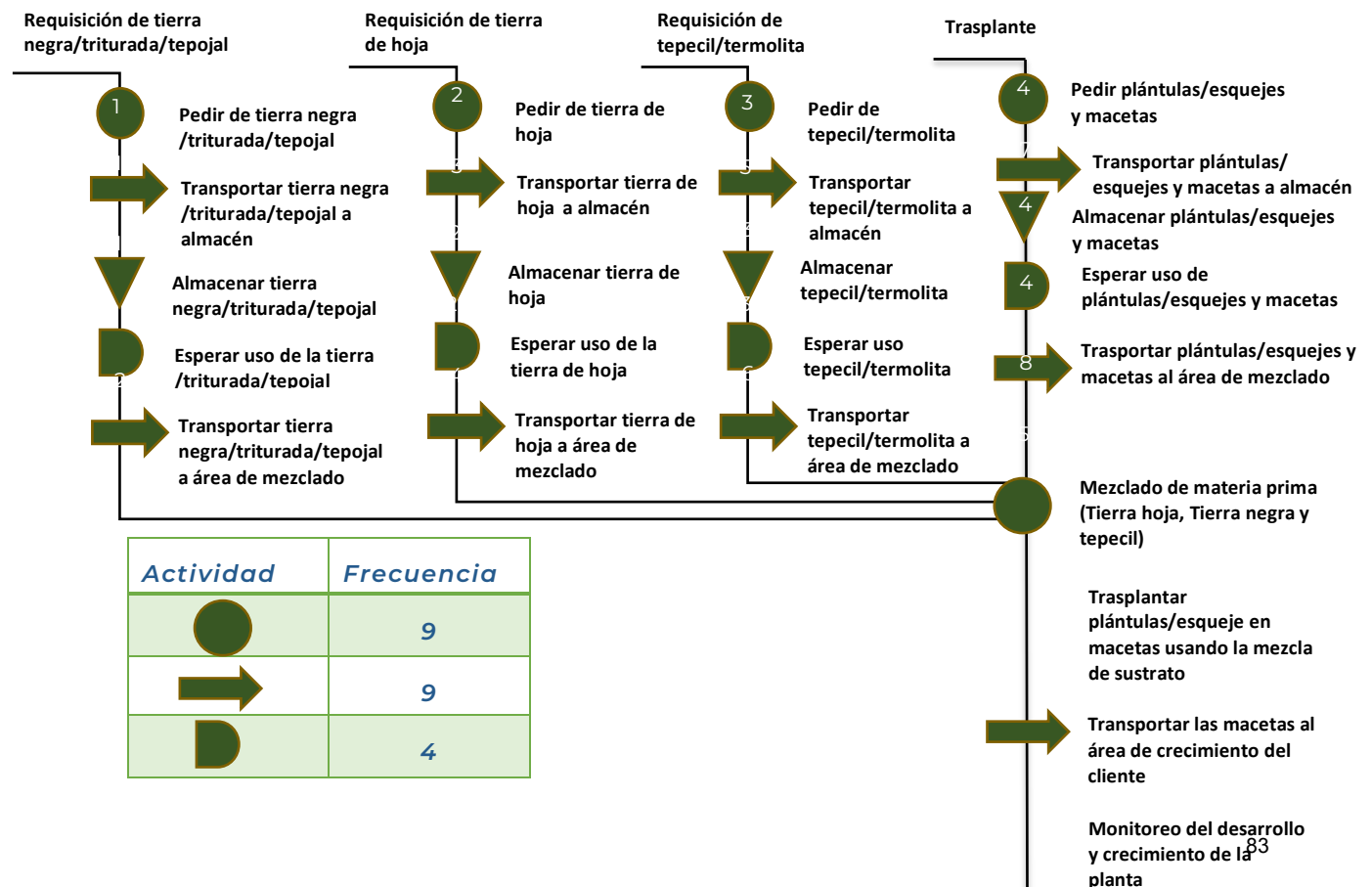




Figura 1. Diagrama de producción de plantas ornamentales

Tiempo de desarrollo de las operaciones

En colaboración con cinco viveros para la toma de tiempos por medio de un cronómetro, se identifican siete actividades que se realizan durante la mezcla de sustrato para posteriormente utilizarlo en el trasplante de plántulas/esquejes, entre las tareas destacadas se encuentran el transporte de tierra negra, tierra de hoja, transporte de tepecil/termolita, cada vez que se llevan estas tierras a al área de mezclado se deben esparcir adecuadamente en el área para tener una mezcla de los componentes. En la tabla 1 se muestra la información referente a los cinco viveros que participaron en el estudio, esto incluye: 2 operadores que se necesitan para realizar el mezclado de sustrato, 7 muestras, posteriormente se coloca una columna con las operaciones que agregan valor con sus respectivos tiempos cronometrados en minutos (TC min), en la penúltima fila se observan el tiempo total al mezclar el sustrato y por último se coloca el tiempo promedio de cada ciclo.

VIVEROS							
Operadores	2		1		2	2	2
Muestra	1	2	3	4	5	6	7
Actividad	TC min	TC min	TC min	TC min	TC min	TC min	TC min
Transportar de tierra negra /triturada/tepojal	16	20	16	0	14	0	0
Esparcir la tierra negra/triturada/tepojal	2	3	2	4	4	3	4
Transportar de tierra de hoja	6	8	0	0	6	0	0
Esparcir la tierra de hoja	2	3	3	6	4	2	3
Transportar de tepecil/termolita	0	0	10	16	16	0	0
Esparcir el tepecil/termolita	4	5	3	6	6	1	3
Demora mezclar los componentes	0	0	0	0	1792	0	0
Mezclar las tres tierras	18	20	27	20	18	14	16
Tiempo total	48	59	61	52	1860	20	26
Tiempo de ciclo	6.0	7.4	7.6	6.5	232.5	2.5	3.3

Tabla 1. Tiempos del mezclado de sustrato

Al analizar los tiempos cronometrados se puede observar que el vivero Tecno rojas y vivero Xalpatlaco tienen los menores tiempos de ciclo que son: 2.5 min y 3.3 min, lo cual se debe a que la materia prima no necesita ser trasladada de lugar ya que al recibirla del proveedor ya se cuenta con una área designada para descargarla, mientras que en los viveros Xochiquetzal y Flor Natura tienen tiempo de ciclo 6.0 min, 7.4 min, 7.6 min y 6.5 min, ya que transportan las tierras al área donde se mezcla el sustrato y esto hace que el tiempo sea mayor, así mismo se puede observar que el tiempo de ciclo mayor es de 232.5 min en el Vivero Jardín de San Francisco ya que al no contar con áreas designadas para la descarga de las tierras, dar prioridad a otras actividades y tener frecuente rotación de personal hace que el proceso se pause y demore el tiempo de ejecución.

Mapeo de proceso por VSM

Con la colaboración de cinco viveros se logró identificar las actividades y el tiempo promedio de ejecución que se realizan durante el mezclado de sustrato para plantas ornamentales como se muestra en la figura 2 Value Stream Mapping (VSM), en el diagrama se observa la cantidad de producción de plantas que pide el cliente, la materia prima que se necesita que es la tierra de hoja, tierra negra, tepecil/termolita/tezontle, maceta de 6", plántula, posteriormente se transporta la materia prima al almacén de los viveros, el siguiente paso es llevar los materiales que conforman el sustrato al área de mezclado, esta operación la ejecutan dos personas (el personal debe estar libre de lesiones físicas) de manera manual utilizando palas derechas, palas de cuchara, bieldos y rastrillos, el tiempo de ciclo del proceso tecnológico de mezcla dura 19 minutos. La siguiente actividad es transportar las plántulas/esquejes y las macetas de 6" al área de mezclado para la plantación en la que se utiliza el sustrato que se ha mezclado, al terminar de plantar se transportan las macetas al área de crecimiento del cliente en donde se monitorea el desarrollo de las mismas que una vez pasado el tiempo promedio de 20 días habrán cumplido con las características para que sean exhibidas y venderlas.

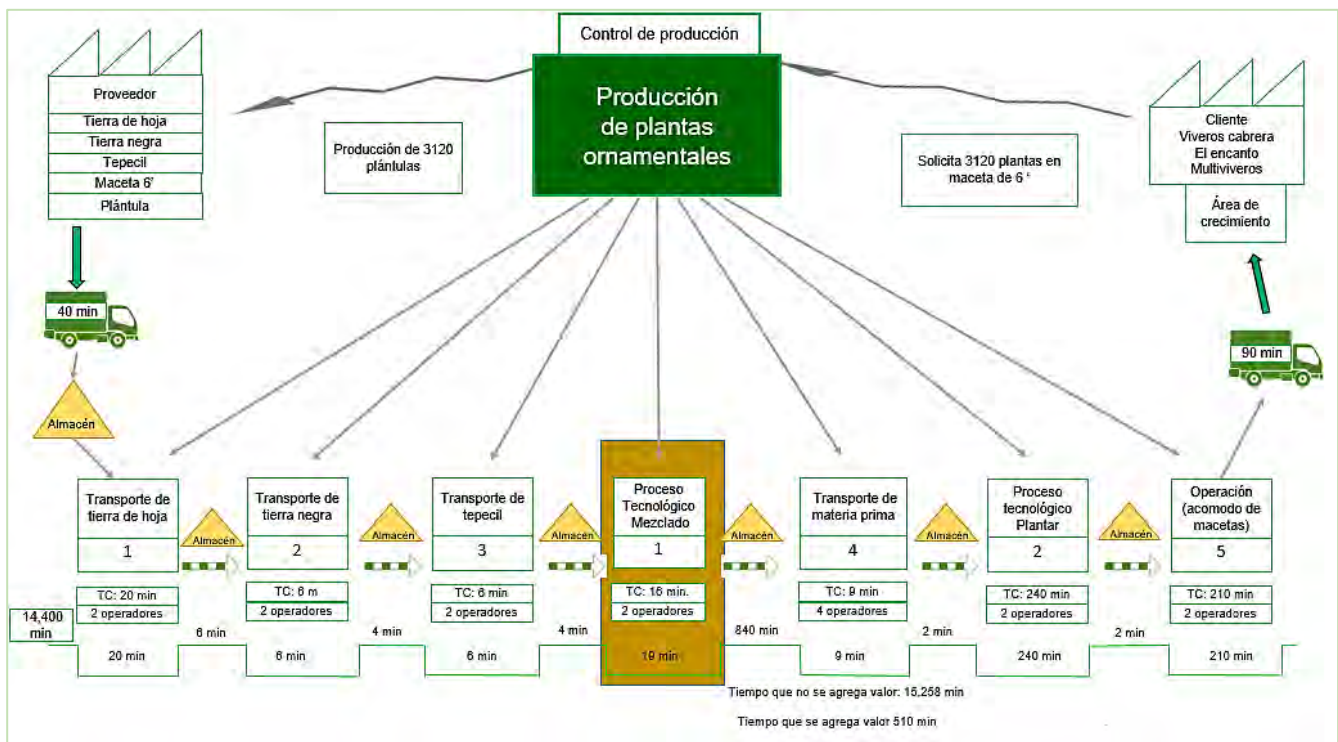


Figura 2. VSM del mezclado de sustrato para plantas ornamentales

La producción de plantas ornamentales conlleva diversas operaciones como se presenta en la figura 2 Value Stream Mapping (VSM), este diagrama permite observar que el primer proceso tecnológico y del cual depende para el seguimiento de producción es el mezclado de sustrato que se obtiene de la combinación de tres materiales dependiendo del uso o aplicación que se le dé, cabe mencionar que para la producción de plantas el uso de sustrato es fundamental puesto que los nutrientes que lo conforman ayudan al crecimiento y desarrollo de la misma. El sustrato cumple también con la función de drenar el agua para evitar la pudrición de los esquejes, pero a su vez conserva la humedad necesaria.

Trabajo a futuro

Automatización del mezclado de sustrato

En la actualidad más empresas apuestan por mejorar los procesos utilizando máquinas automáticas para simplificar las actividades que son repetitivas. Por lo tanto, la automatización se ha convertido en un beneficio y oportunidad de crecimiento para la empresa que decida invertir en ella. [5]

El diseño de un sistema automatizado del mezclado del sustrato es una propuesta que ayudará a la reducción del tiempo de realización, ya que actualmente se mezcla de forma manual y esto conlleva numerosas repeticiones, así como posibles riesgos de salud en los operadores. Al aplicar la automatización se aumentará la productividad, se reducirá la mano de obra la cual se puede ocupar para realizar otras actividades relacionadas con la producción de plantas ornamentales.

Conclusiones

Durante el estudio de la producción de plantas ornamentales, se identificaron las actividades que agregan valor y aquellas que no agregan valor mediante un previo diagnóstico de toda la producción de plantas. Las tareas que agregan valor son las siguientes: la requisición de materia prima, el transporte de la misma, el mezclado de sustrato, el trasplante de las plántulas/esquejes, y el transporte de las macetas al área del crecimiento. Por lo que se concluye que el mezclado de sustrato es el proceso tecnológico que agrega valor y el tiempo de elaboración es de 19 min, también se pudo observar que esta actividad se realiza de forma manual en los cinco viveros involucrados en la investigación, por lo que proponer e implementar innovación es fundamental para una mayor producción. Por otra parte, las actividades que no agregan valor son los 7 almacenamientos presentados en la figura 2 Value Stream Mapping (VSM) y así también se determina que el tiempo que agrega valor es de 510 min.

Referencias

- [1] M. Alonso y M. López, "La viverística de plantas ornamentales", julio 2002.
- [2] S. Gayosso, L. Borges, E. Villanueva, M. Estrada y R. Garduña, "Sustrato para producción de flores",
AGROCIENCIA, 1 de julio - 15 de agosto, 2016
- [3] R. Iskander, "Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en maceta",
Buenavista,
Saltillo, Coahuila, 8 de octubre del 2002
- [4] A. Ayala-Sierra y L. A. Valdez-Aguilar, "El polvo de coco como sustrato alternativo para la obtención de plantas ornamentales para trasplante", Revista Chapingo Serie Horticultura 14(2): 161-167, 2008.
- [5] M. Zapata, L. Topón y E. Tipán "Fundamentos de Automatización y Redes Industriales", 20 de junio de 2021
- [6] J. Ana Mate, V. Guerra, M. Zaccaro, N. Zapata, L. Olivera, T. Vásquez, S. García, S. Carrillo y V. Busca,
"Manual del vivero", edición marzo 2018
- [7] R. Accietto, "Viverismo de especies nativas", 2014/07/01
- [8] Universidad Nacional de Rosario, "Sustratos", Argentina, marzo 2020.

ANÁLISIS DE REDUCCIÓN DE COSTOS POR CONSUMO ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN DE OBRA SUBTERRÁNEA

Baltazar-Vera, Juan Carlos¹, Patlán-Valdez, Jesús Enrique², Rodríguez-Rodríguez, Carolina de Jesús³,
Ontiveros-Ibarra, Roberto⁴, Valtierra-Olivares, Joel Everardo^{5*}

¹Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Sede San Matías, Ex-Hacienda San Matías S/N, Col San Matías, C.P 36020, Guanajuato, Guanajuato, México. jc.baltazarvera@ugto.mx

²Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Sede San Matías, Ex-Hacienda San Matías S/N, Col San Matías, C.P 36020, Guanajuato, Guanajuato, México. enrique_patlan1916@hotmail.com

³Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Sede San Matías, Ex-Hacienda San Matías S/N, Col San Matías, C.P 36020, Guanajuato, Guanajuato, México. carolina.rodriguez@ugto.mx

⁴Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Sede San Matías, Ex-Hacienda San Matías S/N, Col San Matías, C.P 36020, Guanajuato, Guanajuato, México. rontiver@ugto.mx

^{5*}Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Sede San Matías, Ex-Hacienda San Matías S/N, Col San Matías, C.P 36020, Guanajuato, Guanajuato, México. valtierra.je@ugto.mx

Área de participación: **Ingeniería Industrial**

Resumen

En este trabajo se muestra el estudio comparativo de costos por consumo energético al implementar un variador de velocidad en el ventilador para regular el caudal proporcionado por el sistema de ventilación con respecto al sistema que trabaja al 100 % del caudal, en este sentido los resultados muestran que se tiene un ahorro anual de aproximadamente 42%, lo cual es atractivo ya que permite dilucidar que al realizar esta modificación se tiene un abatimiento considerable de los gastos por consumo energético propios de esta actividad.

Palabras clave: Sistema de ventilación, Ventilador, Consumo energético, Ahorro.

Abstract

This work shows the comparative study of energy consumption costs when implementing a variable speed drive in the fan to regulate the flow provided by the ventilation system with respect to the system that works at 100% of the flow. In this sense, the results show that there is an annual saving of approximately 42%, which is attractive since it allows us to elucidate that by making this modification, there is a considerable reduction in energy consumption costs typical of this activity.

Key words: *Ventilation system, Fan, Energy consumption, Savings*

Introducción

La minería es un conjunto de actividades que tiene que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales, esta se lleva a cabo para obtener los recursos acumulados en el suelo y subsuelo. La minería también se relaciona con los trabajos encaminados al arranque y al tratamiento de una mena [1, 2, 3]. En las obras de ejecución de túneles, así como en las labores mineras que no son ventiladas por la corriente principal, es necesario una ventilación específica para asegurar que tenemos en el frente de trabajo el aire necesario para remover los gases emitidos por los vehículos, la voladura u otros como el metano. Es también necesario controlar el polvo y la temperatura. Esta ventilación es comúnmente conocida como ventilación secundaria. [4, 5, 6]. En este sentido, toda mina subterránea deberá disponer de Circuitos de Ventilación, natural o forzado, para mantener un suministro permanente de aire fresco y retorno del aire viciado, en el cual el caudal de aire que circule por la mina dependerá del número de trabajadores, la extensión y sección de las labores, el tipo de maquinarias de combustión interna y las emanaciones de gases naturales de la mina [7, 8, 9].

En México la NORMA Oficial Mexicana NOM-023-STPS-2012, Minas subterráneas y Minas a cielo abierto indican los parámetros adecuados para implementar un sistema de ventilación entre los cuales destacan: Suministrar al interior de la mina un volumen de aire de 1.50 m³/min por cada trabajador, 2.13 m³/min por cada caballo de fuerza de la maquinaria accionada por motores de combustión diésel, localizados en el interior de la mina y mantener una velocidad mínima del aire de 15.24 m/min, cuando en cualquier frente, galería o tiro se opere maquinaria impulsada por motores de combustión diésel [10]. De acuerdo con esto, en este trabajo se presenta un análisis de consumo energético y costos al implementar un variador de frecuencia para optimizar el sistema de ventilación estudiado.

Metodología

Criterios para la definición del caudal

Para poder determinar el caudal necesario para el caso de estudio presentado se tomaron en cuenta las especificaciones dentro de la normatividad mexicana correspondiente, sin embargo, de manera complementaria se consideraron aspectos de normativas de otros países para abordar aspectos que la normativa nacional no considera. En este sentido, El Art. N° 204 del D.S. N° 055-2010-EM de Perú, indica que cuando los túneles o minas se encuentren hasta 1,500 metros sobre el nivel del mar, se debe aumentar un factor de altura como sigue: De 1,500 a 3,000 metros aumentará en 40%, de 3,000 a 4,000 metros aumentará en 70%, sobre los 4,000 metros aumentará en 100% [11].

El caudal de aire para personal se calcula mediante la siguiente formula:

$$QP = KN \quad 1$$

Donde:

QP= caudal de aire requerido por persona

K= Caudal mínimo por persona

N= Número de personas.

De igual manera el caudal requerido por cada HP de equipo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$QE = LE \quad 2$$

Donde:

QE= caudal de aire requerido por cada HP de los equipos diesel.

L= Caudal mínimo por HP de equipo

E= Número de HPs de equipos diesel.

De acuerdo con lo anterior se tiene que para calcular el caudal real necesario para la obra subterránea se tiene la siguiente fórmula:

$$Q_{final} = Q \left(1 - \frac{F}{100}\right)^{-\frac{L}{100}} \quad 3$$

Donde:

QF= Caudal real necesario para ventilar la obra.

Q= la suma de QP y QE

F= Factor de fuga de la tubería

L= Longitud equivalente de la tubería.

Cálculo de las pérdidas de carga de instalación y potencia instalada

Una vez calculado el caudal necesario para ventilar la obra del caso de estudio se determinará la presión necesaria de salida del ventilador para mover dicho caudal, para tal fin se calcularán las

pérdidas de carga de instalación y con estos datos la potencia instalada del motor a emplear para el funcionamiento del ventilador.

Cuando el aire fluye a través de un ducto u obra subterránea, la presión requerida para mover el aire a través de él depende no sólo de la fricción interna, sino también del tamaño, longitud, forma del ducto, velocidad y densidad del aire mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{MCLV^2}{A} \quad 4$$

Dónde:

P: Caída de presión (Pa).

M: Factor de fricción de la tubería.

C: Perímetro del ducto (m).

L: Longitud del túnel (m).

V: Velocidad (m/s).

A: Área del ducto (m²).

Las pérdidas singulares son aquellas que se producen cuando el flujo de aire cambia de dirección o el conducto cambia de sección. Estas pérdidas se calculan como un porcentaje sobre la presión dinámica del fluido calculada en el punto singular:

$$\Delta P_{sin} = \frac{\epsilon \rho v^2}{2} \quad 5$$

Dónde:

ΔP_{sin} : Es la pérdida de carga del aire [Pa].

ϵ : Es el coeficiente de pérdida del elemento.

ρ : Es la densidad del aire [kg/m³].

v: Es la velocidad del aire en el conducto [m/s].

Finalmente, para el cálculo de la potencia instalada propia del motor para el funcionamiento del ventilador se puede calcular de la siguiente manera:

$$BHP = \frac{QHDE}{6350\eta}$$

6

Donde:

Q = Caudal de aire en m³/s.

H = Depresión del circuito en Pa (presión estática en Pascales)

η = Eficiencia del ventilador, la cual varía entre 70 a 85% (dependiendo de la fabricación, tamaño y punto de trabajo).

BHP = Potencia del ventilador en Kw.

DE = Eficiencia de la transmisión, la cual varía entre 90% para transmisión por poleas y correas, y 100% para transmisión directa.

Resultados y discusión

Datos de la obra

En concordancia con lo mostrado en la sección de metodología se llevó a el cálculo y selección del sistema de ventilación en el nivel 320 en la mina San Vicente a continuación se presentan los datos correspondientes de la obra:

El nivel de la mina tiene una longitud aproximada de 500 m con una sección de 3.5 de ancho y 3.5 de alto (Figura 1).

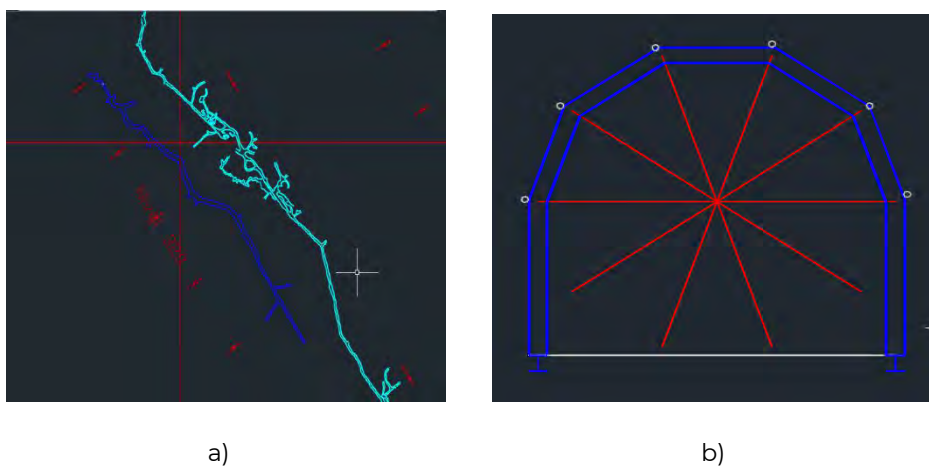


Figura 1. a) Plano del nivel. (Minera Villa Seca), b) Sección de la obra (Elaboración propia)

Se requiere:

- 1 cargador frontal de 3.7 yd³ CAT modelo R1300 de 165 HP.
- 1 camión bajo perfil de 14 yd³ CAT modelo AD30 de 377 HP.

- 1 perforista, 1 Ayudante de perforista, 1 Operador de R1300, 1 Operador de AD30, 1 Supervisor, 1 persona de servicio, 1 Ayudante de servicios, dando un total de cuadrilla de 7.

Cálculo de los requerimientos del ventilador

Tomando como base los parámetros descritos en la metodología se calcularon los requerimientos necesarios para el sistema de ventilación (Tabla 1) en los cuales se puede observar que los requerimientos de caudal y presión se encuentran dentro de los rangos típicos para este tipo de sistemas manteniendo una velocidad de aire acorde a lo indicado en la norma dando un tiempo de renovación del aire de 8 min con 30 segundos lo cual es sumamente atractivo en términos de la optimización de tiempos de espera derivados del proceso de ventilación después de voladura.

Tabla 1. Requerimientos de ventilación para la obra subterránea

Obra	Longitud	Caudal-Ventilador	Presión Estática	Presión Dinámica	Presión total	Velocidad final en la obra	Diámetro de Mangas	Tiempo de limpieza
Nivel 320	500m	1162.51 m ³ /min	24.41713	0.896557	25.313686	26.086 m ³ /s	36"	0:8:30 min

Con los requerimientos de ventilación obtenidos para la obra a ventilar que corresponde al nivel 320 se pudo determinar el BHP necesario para el funcionamiento del ventilador y por lo tanto poder conocer la capacidad del motor que provea esta potencia, en este sentido el motor debe dar una potencia de 110 HP el cual se encuentra dentro del rango de los motores comerciales comúnmente utilizados para esta actividad.

A continuación, se hace un estudio de consumo energético comparando los datos del sistema de ventilación implementando un variador de velocidad para optimizar el gasto de energía (Figura 3) contra el sistema sin este dispositivo (Figura 2), lo anterior con la finalidad de dilucidar si esta modificación representa un ahorro considerable con respecto al sistema sin cambios.

Tabla 2. Costo de consumo energético del sistema de ventilación sin variador de velocidad.

Actividad	CICLO (Hrs.)	% de Caudal	Caudal (cfm)	% de consumida (Kw)	Potencia consumida (HP)	Potencia consumida (Kw)	Costo total tomando \$ 1.8112 MXN por Kw
Perforación	2	100%	43413.119	100%	110	85	154
Cargado de barrenos	1	100%	43413.119	100%	110	85	154
Voladura/Ventilación	0.5	100%	43413.119	100%	110	85	154
Amacice	1.5	100%	43413.119	100%	110	85	154
Fortificación	2	100%	43413.119	100%	110	85	154
Lanzado de concreto	2	100%	43413.119	100%	110	85	154
Retiro de rezaga	2	100%	43413.119	100%	110	85	154
						Costo por turno (\$MXN)	1070

Tabla 2. Costo de consumo energético del sistema de ventilación con variador de velocidad.

Actividad	CICLO (Hrs.)	% de Caudal	Caudal (cfm)	% de consumida (Kw)	Potencia consumida (HP)	Potencia consumida (Kw)	Costo total tomando \$ 1.8112 MXN por Kw
Perforación	2	70%	30389.1833	34%	37.4	28.9	53
Cargado de barrenos	1	60%	26047.8714	22%	24.2	18.7	34
Voladura/Ventilación	0.5	100%	43413.119	100%	110	85	154
Amacice	1.5	70%	30389.1833	34%	37.4	28.9	53
Fortificación	2	70%	30389.1833	34%	37.4	28.9	53
Lanzado de concreto	2	90%	39071.8071	73%	80.3	62.05	154
Retiro de rezaga	2	100%	43413.119	100%	110	85	113
						Costo por turno (\$MXN)	614

Estos resultados muestran que al hacer una reducción del caudal de acuerdo a las características propias de las actividades de la obra se logra tener un panorama de optimización del consumo de energía, el cual indica que al no implementar el variador de velocidad el costo anualizado del consumo energético es de \$ 9,373,200 MXN, en este sentido el costo del consumo energético anualizado al implementar el variador de velocidad es de \$ 5,378,640 MXN al cual hay que agregarle el costo anualizado del variador de velocidad lo que da un total de \$ 5,446,640 MXN, lo que se traduce en un ahorro anual de \$ 3,926,560 MXN representando una reducción aproximada del 42%.

Trabajo a futuro

Con este trabajo se puede dilucidar el impacto en los costos de energía que representa el implementar un variador de velocidad en el ventilador del sistema a suministrar aire, en este sentido este estudio es la fase inicial de un proyecto mas amplio el cual contempla analizar de manera integral todos los circuitos de ventilación implicados en el conjunto de obras subterráneas ya sea para minado o para desarrollo de otras actividades, para tal fin se desarrollarán metodologías que permitan analizar de manera conjunta las diversas obras mediante softwares de diseño y simulación de circuitos de ventilación, así como, técnicas de optimización apropiadas.

Conclusiones

En este trabajo se presentó un análisis en los costos de consumo energético al implementar un variador de velocidad en el ventilador con respecto al sistema sin implementarlo. Los resultados muestran que al realizar la modificación antes mencionada se logra tener un ahorro del 42% correspondiendo a \$ 3,926,560 MXN anuales, estos resultados son alentadores ya que se debe tomar en cuenta que en las unidades mineras o de obras de desarrollo se tienen varios frentes de trabajo, lo que indica que se requieren varios sistemas de ventilación simultáneos, lo cual representa un aumento drástico de los costos generados por consumo energético y por lo tanto la modificación implementada para generar un ahorro en este parámetro aumenta su valor agregado.

Referencias

- [1] C. Estrada, L. Villareal, E. Cruz, C.A Pérez, "La minería en México: formas de acumulación y efectos ambientales", *Caminhos de Geografia*, vol. 1, no. 1, pp. 308-337, 2017. <http://dx.doi.org/10.14393/RCG186314>
- [2] S. Hu and T. Yu, "Study on overlying rock movement and mine pressure behavior in shallow-buried close coal multi-seam mining" *Alexandria Engineering Journal*, vol. 105, no. 1, pp. 578-587, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.08.041>
- [3] A. Gholami, B. Tokac, Zhang Q. "Knowledge synthesis on the mine life cycle and the mining value chain to address climate change " *Resources Policy*, vol. 95, no. 1, pp. 105183, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105183>
- [4] E. Angeles, M. Balci, M. Kumral, L. Sushama. "Quantification of relationship between greenhouse gas emissions and equipment management in mineral industries" *Process Integration and Optimization for Sustainability*, vol. 6, no 3, pp. 669-679, 2022. <https://doi.org/10.1007/s41660-022-00239-1>
- [5] C. Baah, D. Opoku-Agyeman, I.S.K. Acquah, Y. Agyabeng-Mensah, E. Afum, D. Faibil, F.A.M. Abdoulaye, " Examining the correlations between stakeholder pressures, green production practices, firm reputation, environmental and financial performance: evidence from manufacturing SMEs" *Sustainable Production and Consumption*, vol. 27, no 1, pp. 100-114, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.015>.
- [6] C. Quevedo " Sistema de ventilación de diez kilometros del túnel de conducción de la Central Hidroeléctrica Huanza " *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, vol. 1, no 1, pp. 25-29, 2014. <https://es.scribd.com/document/416112260/Quevedo-Chaname-Carlos-Manuel-2013-converted-docx>
- [7] E.T. Asr, R. Kakaie, M. Ataei, M.R.T. Mohammadi, " A review of studies on sustainable development in mining life cycle" *Journal of Cleaner Production*, vol 229, no 1, pp. 213-321, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.029>
- [8] L. Cabernard, S. Pfister, S. Hellweg, " A new method for analyzing sustainability performance of global supply chains and its application to material resources" *Science of The Total Environment*, vol 681, no 1, pp. 164-177. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.434>
- [9] E. Vargas, "Ventilacion de Minas" *Servivio Nacional de Geología y Minería*, vol. 1, no 1, pp. 1-36. https://issuu.com/isemvirtual/docs/_16__ventilaci_n_en_minas_subterr_n/1
- [10] NORMA Oficial Mexicana NOM-023-STPS-2012, "Minas subterráneas y minas a cielo abierto" 2012, https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5272056&fecha=11/10/2012
- [11] Manual de minería, estudios mineros del Peru, "Mineria a cielo abierto" 2018. https://issuu.com/isemvirtual/docs/_3__manual_de_miner__a__estudios_mi

COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS DE CAPTURA DE HUELLAS DE EDIFICIOS PARA EL ANÁLISIS DE LA MOVILIDAD HUMANA EN CONTEXTOS URBANOS

Estévez Dorantes Thelma Leonor¹, Panzi Utrera Manuel², Vázquez Trujillo Cesar Roberto³ Venegas García José Alberto⁴, Colohua Castillo Cutberto⁵,

¹TecNM/ITOrizaba thelma.ed@orizaba.tecn.mx ²TecNM/ITOrizaba manuel.pu@orizaba.tecn.mx

³TecNM/ITOrizaba cesar.vt@orizaba.tecnm.mx ⁴TecNM/ITOrizaba jose.vg@orizaba.tecn.mx

⁵TecNM/ITOrizaba L19020397@orizaba.tecn.mx

Área de participación: **Sistemas Computacionales**

Resumen

La investigación analiza tecnologías para la generación de información sobre huellas de edificios y movilidad humana en la planificación urbana. Emplea un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para evaluar tecnologías como SIG, IoT, imágenes satelitales, big data, Inteligencia Artificial y ML. El objetivo es comparar la efectividad de estas tecnologías y su impacto en la toma de decisiones urbanas, respondiendo a la necesidad de herramientas precisas para una mejor gestión. urbana.

Palabras clave: *Huellas de edificios, SIG (Sistemas de Información Geográfica), Planificación urbana, Estudio de movilidad*

Abstract

The research examines technologies for generating information on building footprints and human mobility in urban planning. It employs a mixed-methods approach, combining qualitative and quantitative methods to evaluate technologies such as GIS, IoT, satellite imagery, big data, AI, and ML. The goal is to compare the effectiveness of these technologies and their impact on urban decision-making, addressing the need for precise tools for better urban management.

Key words: Building footprints, GIS (Geographic Information Systems), Urban planning, Mobility study

Introducción

Esta investigación emplea un enfoque mixto para evaluar tecnologías en la generación de información sobre huellas de edificios y movilidad humana. Utiliza métodos cualitativos y cuantitativos para analizar tecnologías como SIG, IoT, imágenes satelitales, big data, Inteligencia Artificial y ML. Desde el objetivo general de evaluar la efectividad de tecnologías para la información sobre huellas de edificios y movilidad humana en la planificación urbana. Para pasar específicamente al análisis de tecnologías clave y sus criterios de evaluación respondiendo a la necesidad de herramientas precisas en la planificación urbana, proporcionando una base para decisiones informadas. Desde el planteamiento de la problemática cuando el fenómeno de la urbanización

rápida exige una evaluación comparativa de tecnologías para mejorar la gestión urbana, algo que falta actualmente en la literatura.

Metodología

El enfoque de esta investigación es mixto porque combina métodos cualitativos y cuantitativos para ofrecer una evaluación integral y detallada de las tecnologías utilizadas en la generación de información sobre huellas de edificios y movilidad humana. La parte cualitativa se centra en el análisis de literatura existente sobre diversas tecnologías como SIG, IoT, imágenes satelitales, big data, INTELIGENCIA ARTIFICIAL y ML que para realizarlas implica comprensión profunda de conceptos, teorías y estudios previos, así como estudios de caso de cómo se han implementado estas tecnologías en contextos específicos a través de entrevistas y análisis de documentos. La parte cuantitativa incluye análisis donde se recopilan y analizan datos cuantitativos de múltiples estudios para identificar tendencias y resultados comunes, así como estudios de casos que incluyen datos numéricos sobre el rendimiento de tecnologías.

Objetivo General

Evaluar las tecnologías más efectivas para la generación de información utilizando la tecnología Building Footprint y la afluencia o movilidad humana para analizar cómo su uso optimiza la toma de decisiones políticas urbanas.

Objetivos Específicos

Analizar las principales tecnologías utilizadas en la generación de información sobre huellas de edificios y movilidad humana.

Producir criterios de evaluación para medir la eficacia de estas tecnologías en términos de precisión, costo, tiempo y facilidad de integración.

Explicar el impacto de la información generada por estas tecnologías en la toma de decisiones políticas urbanas.

Justificación.

La investigación propuesta es importante para abordar los problemas actuales en la planificación y gestión urbana mediante evaluación de tecnologías avanzadas como Building footprint y movilidad humana. En un contexto de rápida urbanización, las ciudades necesitan herramientas precisas y efectivas para optimizar la toma de decisiones y mejorar la calidad de vida de sus habitantes. En la actualidad la literatura carece de evaluaciones comparativas que midan la eficacia de tecnologías como SIG, IoT, imágenes satelitales, big data, INTELIGENCIA ARTIFICIAL y ML en términos de precisión, costo, tiempo y facilidad de integración, Esta investigación llenará vacíos proporcionando un análisis comparativo basado en evidencia, desarrollando bajo criterios de evaluación específicos y presentando casos reales. Los resultados permitirán a los responsables de generación de información y de planificación urbana toma de decisiones más informadas, optimizando el uso de recursos así también contribuirá al avance del conocimiento en TICs aplicadas para impactar la vida de los ciudadanos.

Planteamiento del problema.

La rápida urbanización ha generado desafíos significativos en la planificación y gestión de las ciudades, requiriendo soluciones tecnológicas avanzadas como SIG, IoT, imágenes satelitales, big data, IA y ML para mejorar la toma de decisiones políticas urbanas. Sin embargo, existe una carencia

de estudios comparativos exhaustivos que evalúen la eficacia de estas tecnologías en términos de precisión, costo, tiempo y facilidad de integración. Además, hay una falta de investigación sobre el impacto directo de la información generada por estas tecnologías en las decisiones políticas urbanas. Esta investigación busca llenar estos vacíos proporcionando una evaluación sistemática y basada en evidencia, desarrollando criterios específicos y analizando casos de estudio reales. Sin esta evaluación integral, las ciudades corren el riesgo de gestionar ineficientemente sus recursos y tomar decisiones subóptimas, afectando negativamente la calidad de vida de sus habitantes. Por lo tanto, es esencial una evaluación rigurosa para guiar la adopción efectiva de estas tecnologías en la gestión urbana.

Alcance

Roberto Hernández Sampieri define un estudio con alcance exploratorio como "Investigación exploratoria es una investigación inicial que ayuda a definir el problema y establecer una hipótesis. Se utiliza cuando el problema no está claramente definido y el investigador necesita recolectar más información. [1]"

Esta investigación tiene un alcance exploratorio ya que examina nuevas tecnologías y su potencial aplicación en la planificación urbana, especialmente con tecnologías que aún no han sido ampliamente estudiadas o utilizadas en ciertos contextos. [1]

Según García R. en su obra Métodos y técnicas de investigación en ciencias sociales "La investigación descriptiva se centra en detallar las características de un fenómeno, objeto o población, proporcionando una descripción precisa y sistemática de las variables o elementos estudiados. Su objetivo principal es presentar un retrato fiel y detallado de la realidad observada sin intervenir o manipular las variables." [2]

Hipótesis

Las métricas de evaluación desarrolladas para medir la eficacia de las tecnologías avanzadas en términos de precisión, costo, tiempo y facilidad de integración permiten identificar claramente las tecnologías más adecuadas para la planificación urbana.

Población

La población está integrada por el conjunto de conjunto de tecnologías utilizadas para la generación de información sobre huellas de edificios y movilidad humana y los proveedores que las ofrecen.

Huellas de Edificios:

Sistemas de Información Geográfica (SIG): ArcGIS (Esri), QGIS (Quantum GIS, Google® Earth Engine, MapInfo (Pitney Bowes), GeoMedia (Hexagon Geospatial) [3]

Internet de las Cosas (IoT): Cisco Kinetic, IBM Watson IoT, Microsoft® Azure IoT Suite, Google® Cloud IoT, PTC ThingWorx [4]

Imágenes Satelitales: Sentinel-2 (European Space Agency, Landsat (US Geological Survey),

WorldView-3 (DigitalGlobe), TerraSAR-X (Airbus Defence and Space), PlanetScope (Planet Labs) [5]

Big Data: Apache Hadoop, Apache Spark, Google® BigQuery, Amazon Redshift, Microsoft® Azure HDInsight [6]

Inteligencia Artificial (IA): TensorFlow (Google®), PyTorch (Facebook, IBM Watson, Microsoft® Azure AI, Google® Cloud AI [7]

Aprendizaje Automático (ML): Scikit-learn, Keras, XGBoost, H2O.ai, Amazon SageMaker [8]

Muestra

La muestra utilizada en este estudio es una muestra no probabilística dirigida [1], seleccionada específicamente para centrarse en tecnologías de acceso libre y bajo costo, ya sea total o parcial, que no generan costos adicionales a los usuarios en el aprendizaje y uso de estas tecnologías. De todas las tecnologías disponibles en la población, se han incluido en esta investigación únicamente los Sistemas de Información Geográfica (SIG) e Imágenes Satelitales, dado que son fundamentales para la creación de las huellas de edificios. Estas tecnologías fueron elegidas por su alta precisión en la captura y análisis de datos espaciales, lo que permite obtener resultados confiables y reproducibles, esenciales para los objetivos del estudio.

Se eligieron cinco proveedores principales de huellas de edificios (building footprints): Microsoft® (Azure Maps), Esri (ArcGIS), OpenStreetMap (OSM), Google® Maps Platform y Google® Open Buildings. Aunque todos ofrecen datos sobre huellas de inmuebles, cada uno emplea tecnologías y enfoques distintos. Microsoft® y Google® se centran en soluciones empresariales con integraciones en sus plataformas en la nube, mientras que Esri es líder en sistemas de información geográfica avanzados. OSM se distingue por su modelo colaborativo y abierto, ideal para aplicaciones de mapeo accesibles. Google® Open Buildings, por su parte, sobresale en la provisión de datos abiertos orientados al desarrollo sostenible en regiones en desarrollo.

Resultados y discusión

Proveedores y tecnologías de Building footprint

En esta sección se presentan las tecnologías y los proveedores clave que juegan un papel central en la generación de huellas de edificios (Building Footprints). Se analiza la variedad de enfoques tecnológicos, destacando las herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) e Imágenes Satelitales, así como las plataformas y proveedores que ofrecen estas soluciones. La comparación entre los diferentes proveedores permite identificar las fortalezas y limitaciones de cada uno, proporcionando un panorama integral de las opciones disponibles para la captura y análisis de datos espaciales en el contexto de la creación de huellas de edificios.

1. Microsoft® (Azure Maps)

Microsoft® es una de las empresas tecnológicas más grandes y diversificadas del mundo, conocida por su innovación en software, servicios en la nube y tecnologías de inteligencia artificial. Azure Maps es parte de su oferta de servicios en la nube dentro de Microsoft® Azure. Esta plataforma proporciona capacidades avanzadas de mapeo y análisis geoespacial, combinando inteligencia artificial, machine learning, y datos geoespaciales para ofrecer soluciones precisas y escalables. Azure Maps es utilizada por desarrolladores y empresas para integrar servicios de ubicación y mapeo en aplicaciones empresariales. [9]

Inteligencia Artificial (IA): Microsoft® utiliza algoritmos de machine learning para procesar imágenes satelitales y otros datos geoespaciales. Estos algoritmos identifican y extraen automáticamente los contornos de los edificios y otras características geográficas. [9]

Imágenes Satelitales: Emplea imágenes de satélites para obtener vistas detalladas del terreno y los edificios. Las imágenes de satélite se utilizan para complementar y mejorar la precisión de los datos de building footprints. [9]

Colaboración con OpenStreetMap (OSM): Azure Maps también integra datos de OpenStreetMap, una base de datos colaborativa de mapas, para mejorar la cobertura y precisión de los building footprints. Microsoft® combina estos datos con sus propios algoritmos para proporcionar un conjunto de datos más completo. [9]

Integración con Azure: La plataforma Azure Maps permite a los desarrolladores y empresas integrar los datos de building footprints en sus aplicaciones y servicios basados en la nube de Microsoft®. [9]

2. Esri (ArcGIS)

Esri (Environmental Systems Research Institute) es el líder global en software de sistemas de información geográfica (GIS) y mapeo. Fundada en 1969, Esri ha estado a la vanguardia de la tecnología GIS, proporcionando herramientas avanzadas para la captura, análisis y visualización de datos espaciales. ArcGIS es su plataforma insignia, utilizada por gobiernos, organizaciones y empresas en todo el mundo para la planificación urbana, gestión de infraestructuras, estudios ambientales y muchas otras aplicaciones geoespaciales. Esri es reconocida por su compromiso con la innovación en la ciencia de los datos geoespaciales. [10]

GIS Avanzado: Esri utiliza su plataforma de Sistemas de Información Geográfica (GIS) para capturar, almacenar, analizar y presentar datos espaciales. Los building footprints se generan a partir de datos GIS integrados con diferentes capas de información. [10]

Imágenes Aéreas y LiDAR (*Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*): LIDAR Analyst es un paquete de software de extracción de características automatizada diseñado específicamente para conjuntos de datos LiDAR. Este producto extrae edificios 3D con atributos completos y geográficamente precisos, así como tierra desnuda (terreno), vegetación, líneas de contorno, imágenes NDSM y otros productos. LIDAR Analyst también incluye un visor 3D sólido que permite la visualización de nubes de puntos y características 3D, y el visor 3D está estrechamente sincronizado con el visor ArcMap. [10]

Modelado de Datos: Utiliza técnicas avanzadas de modelado para crear representaciones precisas de los edificios y otras infraestructuras. Esto incluye la creación de modelos 3D y la integración de datos en capas geoespaciales. [10]

ArcGIS: Esri ofrece una suite completa de herramientas y aplicaciones GIS que permiten a los usuarios realizar análisis geoespaciales avanzados y visualizar datos de building footprints de manera detallada. [10]

3. OpenStreetMap (OSM)

Es un proyecto colaborativo global que proporciona datos geoespaciales abiertos y gratuitos, creada en 2004. OSM es mantenida y actualizada por una comunidad de voluntarios que mapean y editan características geográficas en todo el mundo. A diferencia de las plataformas comerciales, OSM permite a cualquier persona acceder, modificar y utilizar sus datos, lo que ha convertido a OSM en una fuente clave para proyectos de desarrollo, investigación, y aplicaciones de mapeo

personalizadas. Su enfoque en la colaboración abierta y la accesibilidad lo ha hecho popular entre desarrolladores, investigadores y planificadores urbanos. [11]

Colaboración Comunitaria: OSM se basa en la contribución de una amplia comunidad de voluntarios que aportan y actualizan datos sobre edificios y otras características geográficas. Los datos se recopilan mediante GPS, imágenes satelitales y otras fuentes. [11]

Edición por Usuarios: Los usuarios pueden editar los mapas y añadir nuevos datos sobre edificios y otras características. La plataforma permite la integración de datos de múltiples fuentes y la validación por parte de la comunidad. [11]

APIs y Comunidad: OSM proporciona APIs gratuitas que permiten a los desarrolladores acceder y utilizar los datos de building footprints en sus aplicaciones. La comunidad activa de OSM asegura un soporte continuo y la disponibilidad de datos actualizados. [11]

4. Google® Maps Platform

Google® Maps Platform es una extensión del popular servicio de mapas de Google®, ofreciendo herramientas y APIs que permiten a los desarrolladores integrar capacidades de mapeo, geolocalización y navegación en sus aplicaciones. La plataforma utiliza datos de imágenes satelitales, Google® Street View, y algoritmos de machine learning para proporcionar información geoespacial precisa y actualizada, siendo una herramienta esencial para muchas aplicaciones comerciales y de consumo. [12]

Imágenes Satelitales: Google® utiliza imágenes de satélite para capturar vistas detalladas de la superficie terrestre. Estas imágenes se procesan utilizando técnicas avanzadas para identificar y extraer la información de building footprints. [12]

Street View: Google® Street View proporciona imágenes panorámicas a nivel de calle, que se utilizan para mejorar la precisión de los datos de building footprints y detectar cambios en la infraestructura. [12]

Machine Learning: Google® emplea machine learning para analizar grandes volúmenes de datos geoespaciales y mejorar la precisión de los datos de building footprints. Los algoritmos de aprendizaje automático identifican patrones y características en las imágenes. [12]

Google® Maps Platform y GCP: Google® proporciona APIs a través de Google® Maps Platform, facilitando el acceso a datos de building footprints para desarrolladores y empresas. Además, Google® Earth Engine permite análisis avanzados de datos geoespaciales. [12]

5. Google® Open Buildings

Es una iniciativa de Google® centrada en proporcionar datos abiertos sobre la huella de los edificios en regiones en desarrollo. Este proyecto es parte del esfuerzo de Google® por utilizar su tecnología para el bien social, facilitando datos geoespaciales precisos que pueden ser utilizados para planificar mejor las respuestas humanitarias, el desarrollo urbano y la gestión de recursos en áreas necesitadas. Google® Open Buildings utiliza imágenes satelitales y machine learning para generar datos detallados que están disponibles de forma gratuita, contribuyendo al acceso abierto a la información crítica para el desarrollo sostenible. [13]

Imágenes Satelitales y Machine Learning: Google® Open Buildings utiliza imágenes satelitales y técnicas de machine learning para generar datos de building footprints. Los algoritmos analizan las imágenes para detectar y extraer las huellas de los edificios. [14]

Datos Abiertos: Los datos generados por Google® Open Buildings se proporcionan como conjuntos abiertos, lo que permite a los usuarios descargar y utilizar los datos sin costo alguno. Los conjuntos de datos están disponibles en formatos como CSV y GeoJSON. [14]

A partir de la comparación de tecnologías y proveedores para la generación de huellas de edificios, se observa una diversidad de enfoques y accesibilidades que responden a diferentes necesidades y presupuestos. Microsoft® y Esri ofrecen soluciones de alcance global, integrando tecnologías avanzadas como Inteligencia Artificial, Imágenes Satelitales, y LiDAR. Sin embargo, estas opciones son pagadas, con Microsoft® integrando sus servicios en Azure y Esri en su plataforma ArcGIS, lo que garantiza una actualización constante de datos mediante Machine Learning y fuentes geoespaciales, respectivamente.

Por otro lado, Google® se destaca con dos enfoques: su Google® Maps Platform, que utiliza Imágenes Satelitales y Machine Learning, también es una solución global con precios variables según el volumen de solicitudes; y Google® Open Buildings, enfocado en regiones específicas como África y el Sudeste Asiático, ofrece datos abiertos y gratuitos, siendo una opción accesible para proyectos en esas áreas.

OpenStreetMap, por su parte, se distingue por su modelo colaborativo, con una cobertura global y un acceso completamente gratuito, basado en la colaboración de la comunidad para la actualización de datos. Esta plataforma es una opción ideal para quienes buscan una solución de código abierto, sin costos asociados, pero con el respaldo de una comunidad activa y en constante crecimiento.

La elección del proveedor y tecnología adecuada dependerá del presupuesto, la necesidad de actualización constante de datos y el nivel de integración con otras herramientas y plataformas que el proyecto requiera..

Tabla 1 En la siguiente tabla comparativa se analizan cinco de los principales proveedores de huellas de edificios (building footprints). Esta comparación explora aspectos fundamentales como la cobertura geográfica de cada proveedor, las tecnologías avanzadas empleadas en la generación de huellas de edificios, y la accesibilidad de estos servicios.

Proveedor	Cobertura	Tecnología Utilizada	Accesibilidad
Microsoft®	Global	Inteligencia Artificial, Imágenes Satelitales, Colaboración con OSM	Pagado, Integrado con Azure
Esri	Global	GIS Avanzado, Imágenes Aéreas, LiDAR	Pagado, Suscripción a ArcGIS
OpenStreet Map	Global	Colaboración Comunitaria, Edición por Usuarios	Gratuito, Código Abierto
Google® Maps Platform	Global	Imágenes Satelitales, Street View, Machine Learning	Pagado, Integrado con Google® Maps Platform y GCP

Google® Open Buildings	Regiones específicas (principalmente África y Sudeste Asiático)	Imágenes Satelitales, Machine Learning	Gratuito, Datos abiertos
------------------------------	---	---	-----------------------------

Tabla 2 Esta tabla presenta la integración de tecnologías con otras herramientas y plataformas, así como en la frecuencia de actualización de los datos proporcionados por cada proveedor.

Proveedor	Integración y Herramientas	Actualización de Datos	Precios
Microsoft®	Azure Maps, APIs de Azure	Constante mediante Machine Learning	\$0.50 - \$5.00 por 1,000 transacciones
Esri	ArcGIS, Herramientas avanzadas de análisis GIS	Actualizaciones regulares basadas en diversas fuentes geoespaciales	Desde \$100 por usuario/año, \$700 por licencia
OpenStreet Map	APIs de OSM, Amplia comunidad de soporte	Continuo mediante contribuciones de la comunidad	Gratuito
Google® Maps Platform	Google® Maps Platform, APIs de Google® Maps, Google® Earth Engine	Constante mediante Machine Learning y contribuciones de usuarios	\$5.00 - \$17.00 por 1,000 solicitudes
Google® Open Buildings	En versión gratuita no integra herramientas.	Actualizado periódicamente	Gratuito

Trabajo a futuro

Tomando como base los resultados de la investigación se vislumbran varias líneas de investigación futuras como:

Investigar cómo las huellas de edificios podrían mejorarse en regiones menos cubiertas o en desarrollo. Esto podría incluir la integración de datos locales o la colaboración con comunidades en áreas rurales o de difícil acceso.

Realizar un análisis más profundo de la relación costo-beneficio entre las diferentes plataformas, especialmente para organizaciones con recursos limitados o en contextos de desarrollo.

Explorar la aplicación de tecnologías emergentes, como drones o sensores de bajo costo, para la captura de datos de huellas de edificios, comparando su precisión y eficiencia con las tecnologías actuales.

Investigar cómo varía la precisión de las huellas de edificios según el tipo de terreno o la densidad urbana, y si ciertas tecnologías son más adecuadas para entornos específicos.

Evaluar la integración de los datos de huellas de edificios con tecnologías de realidad aumentada (AR) para aplicaciones en urbanismo, turismo, o educación, y cómo estas herramientas pueden mejorar la interacción con los datos espaciales.

Estas propuestas buscan no solo mejorar la precisión y accesibilidad de las huellas de edificios, sino también ampliar su aplicación en iniciativas de desarrollo urbano y planificación sostenible.

Conclusiones

En este keynote se ha presentado exhaustivamente cómo los principales proveedores de huellas de edificios, como Microsoft®, Esri, OpenStreetMap, Google® Maps Platform y Google® Open Buildings, emplean diversas tecnologías para generar datos geoespaciales precisos y detallados. Estos datos son fundamentales para una amplia gama de aplicaciones, especialmente en la planificación urbana y la gestión de infraestructuras. Cada proveedor presenta enfoques y soluciones variadas, con fortalezas y limitaciones específicas que responden a diferentes necesidades y presupuestos.

El objetivo central de generar building footprints es establecer una base de datos geoespacial robusta que facilite el análisis espacial avanzado. Esto permite a urbanistas y gestores de infraestructuras comprender mejor la disposición de los edificios, optimizar la planificación de recursos y tomar decisiones informadas en el desarrollo de ciudades. En contextos de emergencia o en regiones en desarrollo, estos datos son críticos para la respuesta humanitaria y el desarrollo sostenible.

La generación de building footprints es, por tanto, un primer paso en un proceso más amplio que no solo busca mapear el entorno construido, sino también utilizar esta información para mejorar la planificación urbana, promover un crecimiento sostenible y, en última instancia, mejorar la calidad de vida en las áreas urbanas. Este análisis también abre la puerta a futuras investigaciones que podrían profundizar en aspectos como la relación costo-beneficio, la precisión en diversos entornos geográficos, y el impacto de los datos abiertos en la planificación urbana y el desarrollo sostenible. La integración de nuevas tecnologías y la exploración de sus aplicaciones en campos emergentes representa una oportunidad significativa para mejorar la calidad y accesibilidad de los datos espaciales, contribuyendo así al avance de la ciencia y la tecnología en la gestión de recursos y el desarrollo urbano.

Referencias

- [1] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, y M. P. Baptista Lucio, Metodología de la investigación, México: McGraw-Hill Education, 2014. <https://www.mdpi.com/2220-9964/9/3>
- [2] R. García, Métodos y técnicas de investigación en ciencias sociales, Madrid: Editorial Universitaria, 2022. https://www.academia.edu/71222776/Cloud_assisted_Industrial_Internet_of_Things_IIoT_Enabled_framework_for_health_monitoring

- [3] L. Deng, S. Tang, M. Ye, W. Shi, and M. Zhao, «GIS technology applications in environmental and earth sciences,» ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 9, no. 3, p137, 2020. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/2>
- [4] M. S. Hossain and G. Muhammad, «Cloud-assisted Industrial Internet of Things (IIoT) – Enabled framework for health monitoring,» Computer Networks, vol. 101, pp. 192-202, 2021. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6567202>
- [5] S. G. Ungar, «Satellite imaging advances 2020-2025,» Remote Sensing, vol. 12, n° 2, p. 45, 2020. <https://www.nature.com/articles/nature14539>
- [6] S. Sagiroglu and D. Sinanc, «Big data: A review,» 2013. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6567202>. [Último acceso: 10 agosto 2024].
- [7] LeCun, Y., Bengio, Y. & Hinton, G., «Deep learning,» Nature, vol. 521, p. 436–444, 2015. <https://www.nature.com/articles/nature14539#citeas>
- [8] J. Brownlee, Machine Learning Mastery With Python Independently published, Machine Learning Mastery, 2019.
- [9] Microsoft®, «Azure Maps,» 9 agosto 2024. [En línea]. Available: <https://azure.microsoft.com/en-us/products/azure-maps/>.
- [10] esri, «ArcGIS Overview,» 9 agosto 2024. [En línea]. Available: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/geospatial-platform/overview>.
- [11] OpenStreetMap, «OpenStreetMap Wiki,» 9 agosto 2024. [En línea]. Available: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page.
- [12] Google® Maps, «Google® Maps Platform,» 9 agosto 2024. [En línea]. Available: <https://mapsplatform.google.com/>.
- [13] Google® Research, «Open Buildings,» 9 agosto 2024. [En línea]. Available: <https://sites.research.google/open-buildings/>.
- [14] Microsoft®, «Azure Maps pricing,» 9 agosto 2024. [En línea]. Available: <https://azure.microsoft.com/en-us/pricing/details/azure-maps/>.

ANÁLISIS DE BETALAÍNAS, POLIFENOLES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN BEBIDAS DE JUGO DE PITAYA Y QUINOA FERMENTADAS CON *Lactobacillus plantarum*

Martínez-Morán, Miriam de Lourdes¹, Paz-Gamboa, Ernestina^{1*}, Vivar-Vera, María de los Angeles¹, Pérez-Silva, Araceli¹

¹Departamento de Ingeniería Bioquímica, TecNM/Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Av. Dr. Víctor Bravo Ahuja No. 561, Col. Predio el Paraíso, C.P.68350, San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México.

*ernestina.pg@tuxtepec.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería química

Resumen

En esta investigación se evaluaron los contenidos de betalaínas, polifenoles y capacidad antioxidante en bebidas a base de una mezcla de jugo de pitaya-extracto de quinoa (1:1, 2:1) y fermentadas con *Lactobacillus plantarum* (0.5, 1.0%). Las bebidas resultaron con un contenido de betalaínas de 5.94-8.38 mg/100 mL en el día 1, disminuyendo hasta un rango de 5.28-6.67 mg/100 mL al día 21. El contenido de polifenoles inicial osciló entre 36.41-47.81 mg GAE/100 mL, reduciéndose a un rango de 27.36-37.04 mg GAE/100 mL. La capacidad antioxidante determinada al finalizar el almacenamiento fue entre 131.75-186.27 μ M EqTrolox/100 mL (FRAP), 56.95-93.65 μ M EqTrolox/100 mL (ABTS \cdot +) y, 54.58-91.57 μ M EqTrolox/100 mL (DPPH+). El tratamiento T2 (2:1, 0.5%) mostró ser la mejor formulación. Este trabajo demostró que el jugo de pitaya-extracto de quinoa es una matriz efectiva para la supervivencia de *L. plantarum*, permitiendo la obtención de bebidas funcionales con características probióticas y antioxidantes.

Palabras clave: *pitaya-quinoa, betalaínas, polifenoles, capacidad antioxidante.*

Abstract

The aim of this research was to evaluate the betalain, polyphenol and antioxidant capacity contents in beverages based on a mixture of pitaya juice-quinoa aqueous extract (1:1, 2:1) and fermented with *Lactobacillus plantarum* (0.5, 1.0%). The beverages had a betalain content of 5.94-8.38 mg/100 mL on day 1, decreasing to a range of 5.28-6.67 mg/100 mL on day 21. The initial polyphenol content ranged between 36.41-47.81 mg GAE/100 mL, decreasing to a range of 27.36-37.04 mg GAE/100 mL. The antioxidant capacity determined at the end of storage was between 131.75-186.27 μ M EqTrolox/100 mL (FRAP), 56.95-93.65 μ M EqTrolox/100 mL (ABTS \cdot +) and, 54.58-91.57 μ M EqTrolox/100 mL (DPPH+). Treatment T2 (2:1, 0.5%) was shown to be the best formulation of the three treatments. This work demonstrated that pitaya juice-quinoa aqueous extract is an effective matrix for the survival of *L. plantarum*, allowing the obtaining of functional beverages with probiotic and antioxidant characteristics.

Key words: *pitaya-quinoa, betalains, polyphenols, antioxidant capacity.*

Introducción

Debido al incremento en la demanda de bebidas no lácteas de alto valor funcional, frescas y apetecibles; la tendencia actual al vegetarianismo y veganismo y la prevalencia de intolerancia a la lactosa, los jugos de frutas fermentados por bacterias ácido-lácticas constituyen una alternativa prometedora para satisfacer estas necesidades [1]. Entre los frutos adecuados para la elaboración de bebidas funcionales, destacan los frutos endémicos como la pitaya (*Stenocereus stellatus*) que es una fuente importante de betalaínas compuestos con reconocida actividad antioxidante. Aunque el consumo de pitaya se realiza principalmente en fresco, su comercialización se limita a las zonas de producción debido a la alta perecibilidad del fruto, causada en gran parte por el desarrollo de hongos [2], por lo que se hace necesario el uso de tecnologías que prolonguen su vida de anaquel. El SIAP reportó que en el año 2023 la producción de pitaya alcanzó las 5,383.71 toneladas, con un valor económico de 91,704.61 miles de pesos [3]. Por otra parte, los pseudocereales como la quinoa constituyen una excelente opción para la elaboración de bebidas funcionales, debido a su valor nutricional. La quinoa es reconocida por su elevado contenido de compuestos bioactivos y proteínas, además de ser un alimento libre de gluten, lo que la convierte en una opción ideal para una alimentación natural y saludable [4]. En el 2016, el SIAP reportó que la producción de quinoa en Aguascalientes fue de 30.8 toneladas, con un valor de 924 mil pesos. Ante la necesidad de conservar las frutas y sus jugos con una mínima alteración de sus propiedades, la fermentación láctica se presenta como una alternativa de bioconservación eficaz, siendo una de las técnicas más antiguas para extender la vida útil de los alimentos perecederos [5]. Entre las bacterias ácido-lácticas utilizadas en la fermentación de alimentos se encuentra el *Lactobacillus plantarum*, una bacteria gram positiva y heterofermentativa que facilita el equilibrio microbiano y contribuye a la estabilidad de enzimas digestivas. Algunas cepas seleccionadas de *L. plantarum* también se emplean para desarrollar bebidas funcionales [6], estos microorganismos son capaces de mejorar la digestión y neutralizar bacterias dañinas debido a la producción de bacteriocinas. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo desarrollar una bebida funcional fermentada con *Lactobacillus plantarum* a base de jugo de pitaya (*Stenocereus stellatus*) y extracto acuoso de semillas de quinoa (*Chenopodium quinoa*) y determinar su contenido de betalaínas, polifenoles y capacidad antioxidante.

Metodología

Materiales: Las pitayas (*Stenocereus stellatus*) fueron proporcionadas por los productores del municipio de Totoltepec de Guerrero, Puebla. Las semillas de quinoa originarias del estado de Aguascalientes se adquirieron de la distribuidora de productos orgánicos “Vida sustentable”. La cepa probiótica *Lactobacillus plantarum* LP115 se obtuvo de la casa Danisco Cultor.

Obtención del jugo de pitaya: Siguiendo la metodología descrita por Pérez-Loredo *et al.* [7], las pitayas recolectadas fueron desespínadas manualmente utilizando guantes de protección. Posteriormente, los frutos fueron lavados con una solución de hipoclorito de sodio al 1%. Se seleccionaron únicamente aquellos frutos que se encontraban en condiciones óptimas. Los frutos seleccionados se empacaron en bolsas para sellado al vacío y se almacenaron en refrigeración a -20 °C hasta su utilización. Para obtener el jugo de pitaya, los frutos se retiraron del congelador y se descongelaron en refrigeración a una temperatura de 4 ± 1 °C durante 12 horas, seguido de esto se obtuvo la pulpa manualmente y se filtró con prensado manual en una manta cielo obteniendo el jugo filtrado de pitaya.

Preparación del extracto acuoso de quinoa: Se siguió la metodología descrita por Chilo-Ramos [8], por cada kilogramo de quinoa, se utilizaron 3 L de agua para remojar las semillas, manteniendo una relación de 1:3 durante 24 horas, realizando un recambio de agua cada ocho horas, proceso que facilitó la eliminación de las saponinas presentes en las semillas de quinoa. Finalizando el tiempo de remojo, las semillas se lavaron con abundante agua y se escurrieron durante 10 min. Se sometieron a una precocción en una proporción 1:3 (p/v) durante 5 minutos a 70 °C, con la finalidad de ablandar las semillas y facilitar su trituración. Posteriormente, las semillas de quinoa precocidas se licuaron durante 1 min en una licuadora convencional marca Oster® y se filtraron usando una manta cielo para eliminar los residuos no solubles.

Obtención del paquete celular de *Lactobacillus plantarum*

Siguiendo la metodología de Sosa-Reyes [9] con algunas modificaciones, se procedió a la activación del *L. plantarum*. Se prepararon tubos con 9 mL de agar MRS en posición inclinada, que fueron inoculados con dos asadas de la cepa de *L. plantarum*, las asadas se distribuyeron en estrías y los tubos se incubaron a 37 °C en condiciones de anaerobiosis durante 18 h. Posteriormente, se adicionó 1 mL de agua destilada estéril a cada tubo y este volumen se transfirió a un segundo tubo que contenía 9 mL de caldo MRS, el cual se incubó durante 21 h/37 °C. Se tomó 1 mL del tubo anterior y se adicionó a otro tubo con 9 mL de caldo MRS, incubándose por 10 h/37 °C. Este proceso se repitió una vez más. Incubando el último cultivo durante 8 h/37 °C. Finalmente, se utilizó 1 mL del cultivo obtenido por cada 100 mL de caldo MRS en matraces Erlenmeyer, los cuales se incubaron a 37 °C en anaerobiosis durante 14 h. Para obtener el paquete celular, el cultivo resultante se centrifugó a 3000 rpm/20 min a una temperatura de 4 °C, utilizando una centrífuga refrigerada marca Rotina® 310. El paquete celular obtenido se lavó con una solución de peptona de caseína al 1% y se mantuvo en refrigeración hasta su uso posterior.

Elaboración de la bebida fermentada de pitaya y quínoa

Después de obtener el jugo de pitaya y extracto acuoso de quínoa, se procedió a elaborar la bebida fermentada con *Lactobacillus plantarum*. Se prepararon tres formulaciones con diferentes proporciones de jugo de pitaya-extracto acuoso de quínoa y diferentes concentraciones de *Lactobacillus plantarum*. El tratamiento T1 fue formulado en una relación 1:1 (jugo-extracto) más la adición de 0.5% de *Lactobacillus plantarum*, T2 se formuló en una relación 2:1 de jugo-extracto y se adicionó 0.5% de probiótico y finalmente T3 fue formulado en la relación 2:1 (jugo-extracto) con 1.0% de *Lactobacillus plantarum*, los tratamientos se endulzaron con 10 g/L de estevia. Las bebidas fueron pasteurizadas a 85 °C/5 min, se atemperaron a 37 °C para inocular *Lactobacillus plantarum*. Posteriormente se fermentaron a 37 °C durante 6 horas, tiempo fue considerado después de realizar cinéticas de fermentación que demostraban que a las 6 horas las bebidas mantenían cuentas arriba de 9 Log UFC/mL y un pH de 3.65 a 3.70, y no existiendo diferencia en el contenido de betalaínas a las 10 horas de fermentación que fue el tiempo donde inició la fase estacionaria de *Lactobacillus plantarum*. Una vez finalizada la fermentación, las muestras se almacenaron en refrigeración durante 21 días. También se realizaron dos controles elaborados solo con jugo de pitaya: C1 y C2 que contenían 0.5 y 1.0% de probiótico respectivamente; y dos controles elaborados solo con extracto acuoso de quínoa: C3 y C4 que contenían 0.5 y 1.0% de *Lactobacillus plantarum* respectivamente. Las muestras fueron monitoreadas: 0, 7, 14, y 21 días de almacenamiento a 4 ± 1 °C.

Obtención de extractos de las bebidas

Se siguió la metodología de Pérez-Loredo *et al.* [7] con algunas modificaciones. Se añadieron 6.2 mL de bebida en un tubo de 50 mL con tapa de rosca y se adicionaron 10 mL de agua destilada. Las mezclas se agitaron en un vortex por 1 min a velocidad máxima y se mantuvieron dentro de un ultrasonificador marca Elmasonic a una frecuencia de 37-47 KHz durante 10 minutos en oscuridad, después se centrifugaron a 3000 rpm durante 20 minutos. El sobrenadante se separó y los sólidos remanentes se usaron para una segunda extracción bajo las mismas condiciones, adicionando 5 mL de agua. Los extractos obtenidos de la primera y segunda extracción se colocaron en un matraz aforado de 25 mL y se aforó el volumen con agua destilada. Los extractos fueron utilizados para determinar betalaínas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

Contenido de betalaínas

Para determinar el contenido de betalaínas se empleó la metodología de Castellanos-Santiago y Yahia [10]. El contenido de betaxantinas y betacianinas se cuantificó midiendo la absorbancia a 483 y 538 nm, respectivamente con un espectrofotómetro (Agilent Technologies, Cary 60 UV-Vis, Estados Unidos de América). Las betaxantinas y betacianinas se calcularon con las absorbancias obtenidas multiplicadas por el peso molecular de indicaxantina y betanina, sobre el coeficiente de extinción molecular de estas mismas, las betalaínas totales se calcularon sumando las betacianinas y betaxantinas.

El análisis del contenido de polifenoles totales fue determinado empleando el método de Folin-Ciocalteu empleando la metodología de Singleton et al. [11], empleando una curva de ácido gálico como estándar, las muestras fueron leídas a 750 nm empleando un espectrofotómetro (Agilent Technologies, Cary 60 UV-Vis, Estados Unidos de América). Los resultados se expresaron en mg GAE/100 mL.

Determinación Método de capacidad antioxidante 2,2 Azino-bis-(3-etilbenzo-tiazolina-6-sulfónico) Para la ABTS.+cuantificación de la actividad antioxidante se empleó el método descrito por Re [12], se utilizó Trolox como estándar, el reactivo ABTS se activó incubando durante 16 horas, las lecturas se llevaron a cabo a 730 nm empleando un espectrofotómetro (Agilent Technologies, Cary 60 UV-Vis, Estados Unidos de América). Los resultados fueron expresados como $\mu\text{mol Eq Trolox}/100\text{ mL}$.

- **Método 2,2-difenil-1-picrilhidracilo**

Se siguió DPPH+el método de Brand-Williams et al. [13]. Se utilizó una curva estándar de Trolox, las muestras se incubaron con el reactivo durante 30 minutos en oscuridad, posteriormente las lecturas se llevaron a cabo a 515 nm. Los resultados fueron expresados como $\mu\text{mol Eq Trolox}/100\text{ mL}$.

- **Método FRAP (Poder Antioxidante/Reducción**

La cuantificación Férrica) fue determinada mediante el método propuesto por Pulido [14]. Donde el complejo TPTZ (tripiridiltriazina) con Fe (III) se reduce a la forma ferrosa, desarrollando un intenso color azul cuantificado espectrofotométricamente a 596 nm. Se utilizó una curva estándar de Trolox. Los resultados fueron expresados como $\mu\text{mol Eq Trolox}/100\text{ mL}$.

Análisis estadístico Todos los análisis fueron realizados por triplicado y expresados como la media de tres repeticiones \pm la desviación estándar, se utilizó una prueba de Fisher con un nivel de significancia del 95% utilizando el software estadístico Statistica versión 10.

La diversidad de los colores que presentan los frutos de *Stenocereus* se debe a la proporción en que se combinan las betacianinas y betaxantinas, lo que genera una gama de tonalidades que va desde el amarillo hasta el morado, pasando por el naranja y diferentes tonos de rojo [15]. La Figura 1 muestra los resultados del contenido de betalaínas en las bebidas de tres formulaciones diferentes durante 21 días de almacenamiento. En todas las muestras, las betacianinas fueron las más abundantes. El tratamiento T1 mostró un contenido de 5.94 mg/100 mL de betalaínas totales en el día 1, sin cambios significativos ($p < 0.05$) hasta el día 21 que disminuyó a 5.28 mg/100 mL. Por otro lado, los tratamientos T2 y T3 exhibieron el mayor contenido de betalaínas, encontrándose diferencias significativas ($p < 0.05$) entre ambos, lo cual podría estar relacionado con la concentración del probiótico, ya que se observó un mayor contenido en las bebidas con menor concentración de *L. plantarum*. T2 y T3 presentaron 8.57 y 8.38 mg/100 mL respectivamente en el día 1, mostrando una disminución significativa respecto al tiempo, finalizando a los 21 días con 7.11 y 6.66 mg/100 mL respectivamente. Adicionalmente, se realizaron dos formulaciones (C1 y C2) para observar el comportamiento del *L. plantarum* respecto al contenido de betalaínas en las bebidas. Los resultados indican que la concentración del probiótico afecta significativamente el contenido de betalaínas, posiblemente debido a la acidez generada por la producción de ácido láctico, lo que podría degradar a las betalaínas. Flores-Mancha [16] encontró que en un yogurt batido con jugo de betabel, las betalaínas disminuyeron durante el almacenamiento, de 209.49 mg/100 g a 191.65 mg/100 g en 7 días, lo que apoya la hipótesis de que el ambiente ácido influye en la degradación de estos compuestos. Por otro lado, Usaga et al. [17] reportó para un jugo de pitaya (*Hylocereus* sp.) fermentado con *L. casei* y *L. rhamnosus* un contenido de betalaínas para el día uno 26.58 y 31.21 $\mu\text{g}/$

no se identificaron estos compuestos. Soto Dagnino [18], reportó en jugo de pitaya (*Stenocereus stellatus*) un contenido de 1.66 mg/g.

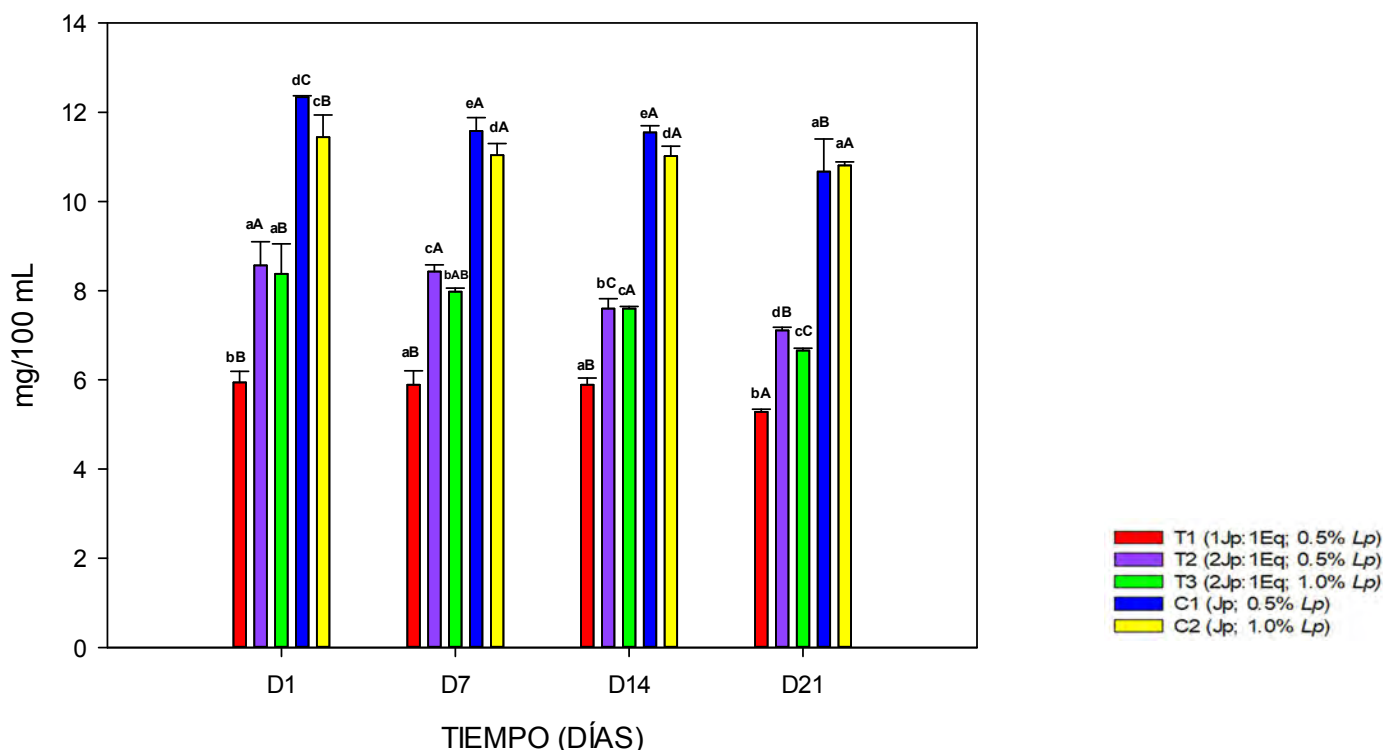


Figura 1. Contenido de betalainas en las bebidas durante su almacenamiento a $4 \pm 1^\circ\text{C}$. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, Lp=*Lactobacillus plantarum*). Letras minúsculas diferentes en el mismo día de análisis indican diferencia estadística significativa entre tratamientos y letras mayúsculas diferentes en la misma muestra indican diferencia estadística significativa respecto al tiempo mediante la prueba de Fisher ($p < 0.05$).

Contenido de polifenoles La Figura 2 muestra el contenido de polifenoles solubles en las bebidas analizadas, y de los controles. Los resultados mostraron que los tratamientos con mayor proporción de jugo de pitaya tuvieron un mayor contenido de polifenoles. El tratamiento T1 inició con 36.41 mg GAE/100 mL en el primer día de análisis y disminuyó significativamente ($p < 0.05$) hasta el día 14, finalizando con 27.36 mg GAE/100 mL al día 21. Los tratamientos T2 y T3 comenzaron con 45.45 y 47.81 mg GAE/100 mL, respectivamente, y finalizaron con 38.21 y 37.04 mg GAE/100 mL respectivamente al día 21. La fermentación láctica puede incrementar o disminuir el contenido de polifenoles totales en el jugo de fruta fermentado, dependiendo de la cepa y la matriz utilizada [1]. Los tratamientos C1 y C2 presentaron el mayor contenido de polifenoles durante el periodo de almacenamiento, finalizando con valores de 44.81 y 41.52 mg GAE/100 mL respectivamente. Mientras que los tratamientos C3 y C4 registraron los niveles más bajos, terminando con 18.02 y 15.19 mg GAE/100 mL respectivamente al día 21. Se observó una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos y respecto al tiempo ($p < 0.05$). En estudios previos, la fermentación de jugo de manzana con *L. plantarum* ATCC 14917 durante 72 horas mostró una disminución significativa (22%) en el contenido de polifenoles totales [19]. De manera similar, Cerdá

[20] elaboró una bebida de quinoa fermentada con *L. plantarum*, observando una reducción en los polifenoles totales, de 4.40 mg GAE/100 mL a 0 horas de fermentación, a 3.62 mg GAE/100 mL a las 24 horas. Cerdá sugiere que esta disminución podría deberse a la utilización metabólica por parte de *L. plantarum*, lo cual indica un posible efecto prebiótico de estos compuestos sobre el microorganismo. Por su parte Fernández Huazo [21], encontró en una bebida a base de guanábana, suero de leche e inulina fermentada con *L. acidophilus*, un contenido de 643.55 mg GAE/100 mL en el día cero de análisis, mientras que en el día 20 exhibió un contenido de 440.00 mg GAE/100 mL de estos puestas.

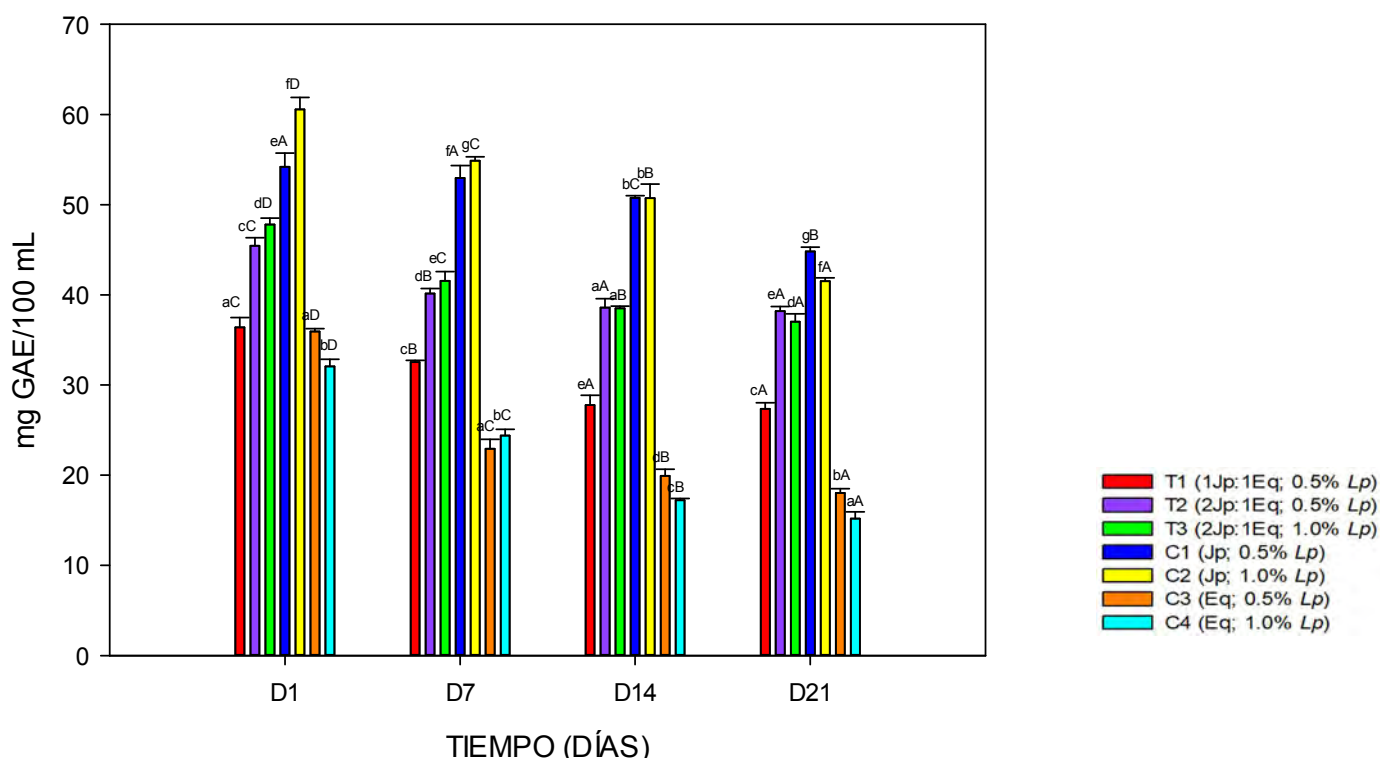


Figura 2. Contenido de polifenoles solubles en las bebidas durante su almacenamiento a $4 \pm 1^\circ\text{C}$. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, Lp=*Lactobacillus plantarum*). Letras minúsculas diferentes en el mismo día de análisis indican diferencia estadística significativa entre tratamientos y letras mayúsculas diferentes en la misma muestra indican diferencia estadística significativa respecto al tiempo mediante la prueba de Fisher ($p < 0.05$).

Capacidad antioxidante 2,2 Azino-bis-(3-etilbenzo-tiazolina-6-sulfónico) ABTS-+

Este método se basa en la transferencia de electrones, donde los antioxidantes presentes en los extractos donan uno o dos electrones para reducir el radical catión. La Figura 3 muestra la cuantificación de capacidad antioxidante solo de las bebidas seleccionadas. En el primer día de análisis, los tratamientos presentaron actividades antioxidantes de 84.18, 121.88 y 128.56 $\mu\text{mol EqTrolox}/100\text{ mL}$ para T1, T2 y T3 respectivamente. T1 y T3 mostraron una disminución significativa de la capacidad antioxidante en el día 7, manteniéndose estables hasta el día 14; en el día 21 disminuyeron significativamente finalizando con 56.95 y 93.65 $\mu\text{mol EqTrolox}/100\text{ mL}$ respectivamente. T2 mostró una reducción significativa en la capacidad antioxidante durante el tiempo de almacenamiento, finalizando con 90.36 $\mu\text{mol EqTrolox}/100\text{ mL}$. No existió diferencia significativa ($p < 0.05$) entre T2 y T3 durante el análisis. Estos resultados sugieren que la formulación y los ingredientes de las bebidas tienen un impacto significativo en la capacidad antioxidante durante el tiempo de almacenamiento. La pérdida de

actividad antioxidante en algunos tratamientos puede deberse a la degradación de los compuestos bioactivos durante el almacenamiento, un fenómeno que ha sido documentado en otros estudios sobre bebidas fermentadas y antioxidantes naturales. No se ha determinado la actividad antioxidante en estudios anteriores, particularmente del jugo de *Stenocereus stellatus* fermentado con probióticos. Cervantes-Arista *et al.* [22], reportaron una capacidad antioxidante de *Stenocereus stellatus* de 22.68 mg EqTrolox/g de fruto fresco, una actividad antioxidante mayor que los reportados en esta investigación, esto debido a que en este trabajo solo se utilizó el jugo del fruto, reteniéndose la mayoría de compuestos antioxidantes en la pulpa y semillas.

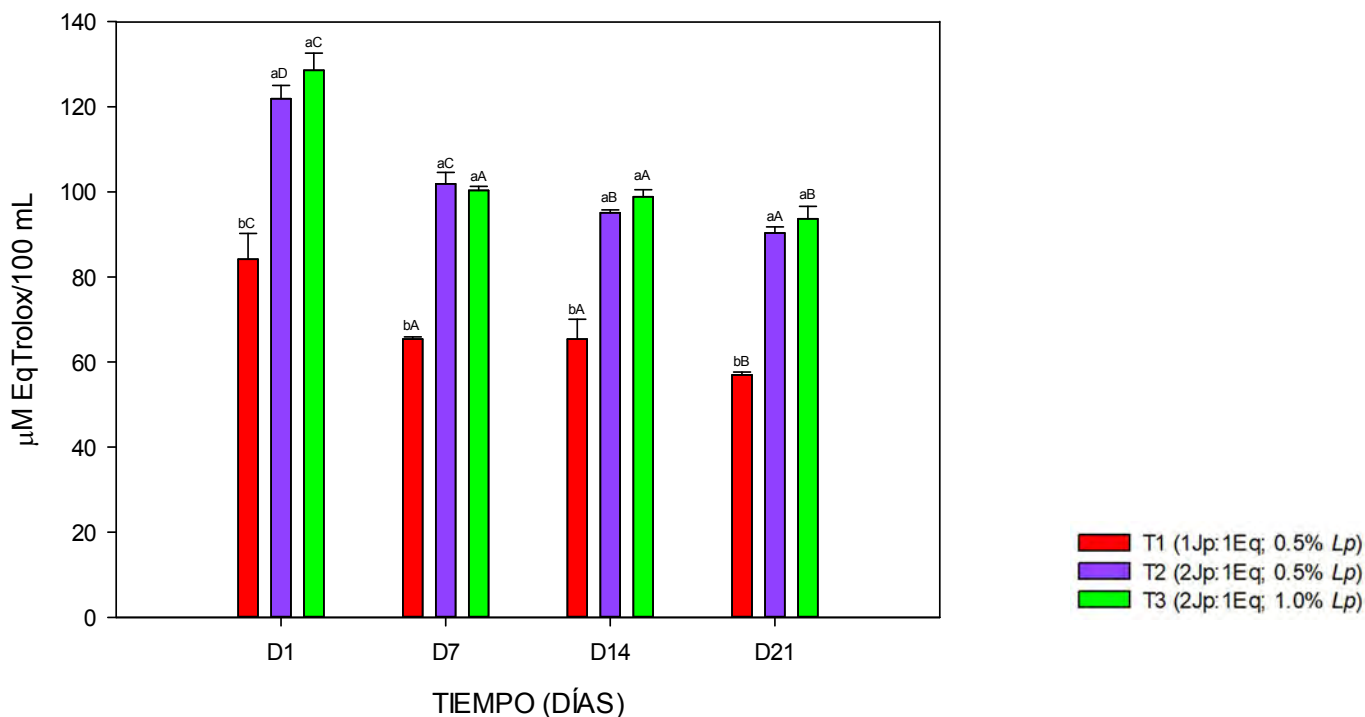


Figura 3. Actividad antioxidante por el método ABTS+ en las bebidas durante su almacenamiento a $4 \pm 1^\circ\text{C}$. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, Lp=*Lactobacillus plantarum*). Letras minúsculas diferentes en el mismo día de análisis indican diferencia estadística significativa entre tratamientos y letras mayúsculas diferentes en la misma muestra indican diferencia estadística significativa respecto al tiempo mediante la prueba de Fisher ($p < 0.05$).

Capacidad antioxidante 2,2-difenil-1-picrilhidracilo DPPH+

El método DPPH determina la actividad de captura de material radicalario en presencia de una sustancia antioxidante, midiendo el potencial de inactivación de dicho radical en un medio acuoso. La Figura 4 muestra el comportamiento de la capacidad antioxidante de los extractos de las bebidas analizadas, donde se observa una disminución en el poder antioxidante. Esta reducción podría atribuirse a la degradación de los compuestos antioxidantes debido a la acidez de la bebida y al metabolismo inducido por el probiótico. En el primer día de análisis, los tratamientos T1, T2 y T3 reportaron 131.43, 170.08 y 159.37 $\mu\text{mol EqTrolox}/100 \text{ mL}$ respectivamente, existiendo diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos. Tanto T1 como T3 presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$) respecto al tiempo durante los 21 días de almacenamiento, disminuyendo a 54.58 y 91.57 $\mu\text{mol EqTrolox}/100 \text{ mL}$ respectivamente. El tratamiento T2 mostró una reducción significativa en la capacidad antioxidante hasta el día 14, manteniéndose sin diferencia significativa para el día 21, con un valor final de 98.45 $\mu\text{mol EqTrolox}/100 \text{ mL}$. Estos resultados sugieren que la proporción de ciertos componentes, como el

pitaya y los extractos utilizados, influyen significativamente en la estabilidad de la capacidad antioxidante durante el almacenamiento. Soto-Dagnino [18], reportó una capacidad antioxidante de *Stenocereus stellatus* de 139.98 $\mu\text{mol EqTrolox}/100\text{ g}$ en el fruto seco.

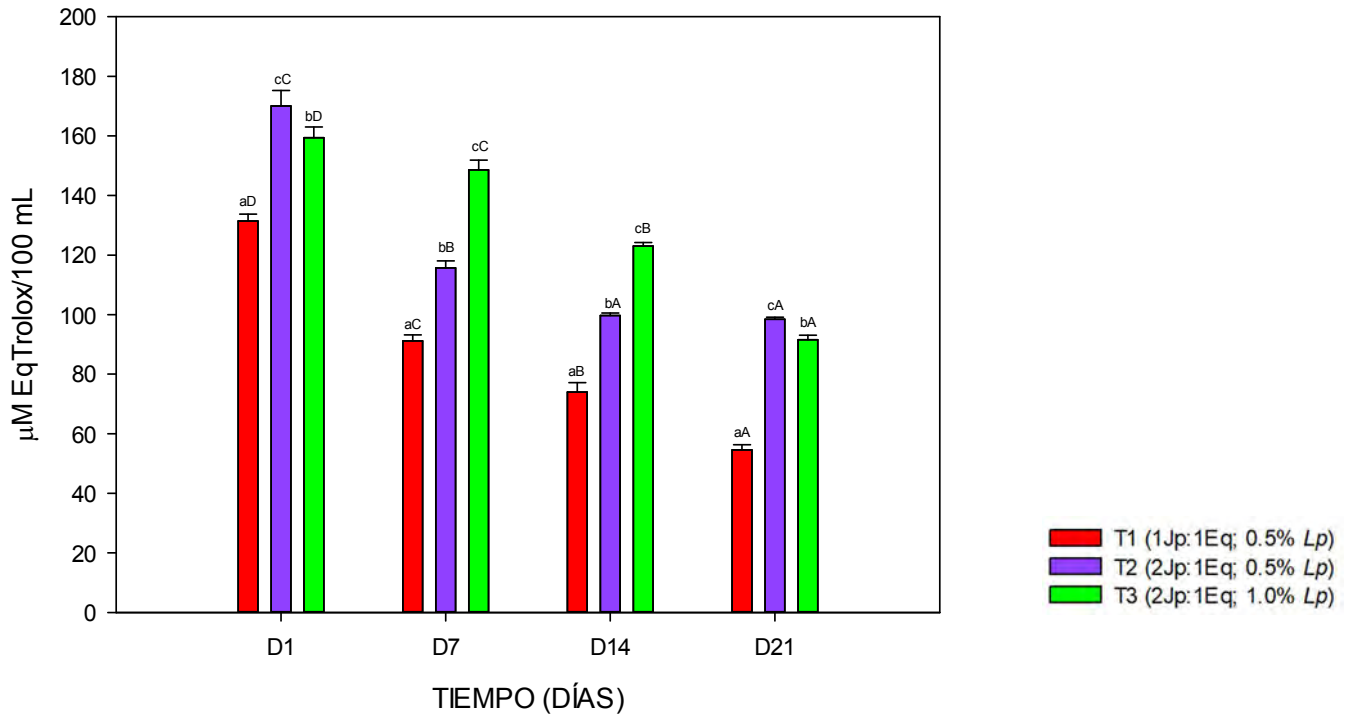


Figura 4. Actividad antioxidante por el método DPPH+ en las bebidas durante su almacenamiento a $4 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, Lp=*Lactobacillus plantarum*). Letras minúsculas diferentes en el mismo día de análisis indican diferencia estadística significativa entre tratamientos y letras mayúsculas diferentes en la misma muestra indican diferencia estadística significativa respecto al tiempo mediante la prueba de Fisher ($p < 0.05$).

Capacidad antioxidante FRAP (Poder Antioxidante/Reducción Férrica)

El método FRAP se basa en el principio de que los antioxidantes son sustancias capaces de reducir el ion férrico al estado ferroso. La Figura 5 muestra el poder antioxidante/reducción férrica de los diferentes tratamientos analizados. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos y respecto al tiempo de almacenamiento. En el día 1 los tratamientos T1, T2 y T3 presentaron una capacidad antioxidante de 166.36, 222.75 y 238.31 $\mu\text{mol EqTrolox}/100\text{ mL}$, respectivamente. Para el día 21, estos valores disminuyeron a 131.75, 197.40 y 186.27 $\mu\text{mol EqTrolox}/100\text{ mL}$ respectivamente. La disminución de la capacidad antioxidante podría atribuirse a la degradación de los compuestos fenólicos y de las betalainas presentes en las bebidas. Noriega Juárez [23], reportó una capacidad antioxidante en jugo de *Stenocereus griseus* de 142.85 $\text{mg EqTrolox}/100\text{ g}$, cabe señalar que el jugo analizado por este autor, no fue fermentado con bacterias ácido lácticas. Por otro lado, Antezana *et al.* [24], reportaron en una bebida no láctea a base de quinoa una capacidad antioxidante de 232.8 $\mu\text{mol EqTrolox}/\text{L}$. La degradación de los compuestos fenólicos y betalainas durante el almacenamiento podría explicar la disminución de la capacidad antioxidante de las bebidas. Sin embargo, los resultados indican que, durante el almacenamiento, las bebidas fermentadas siguen siendo una fuente de antioxidantes, lo que podría tener beneficios para la salud del consumidor.

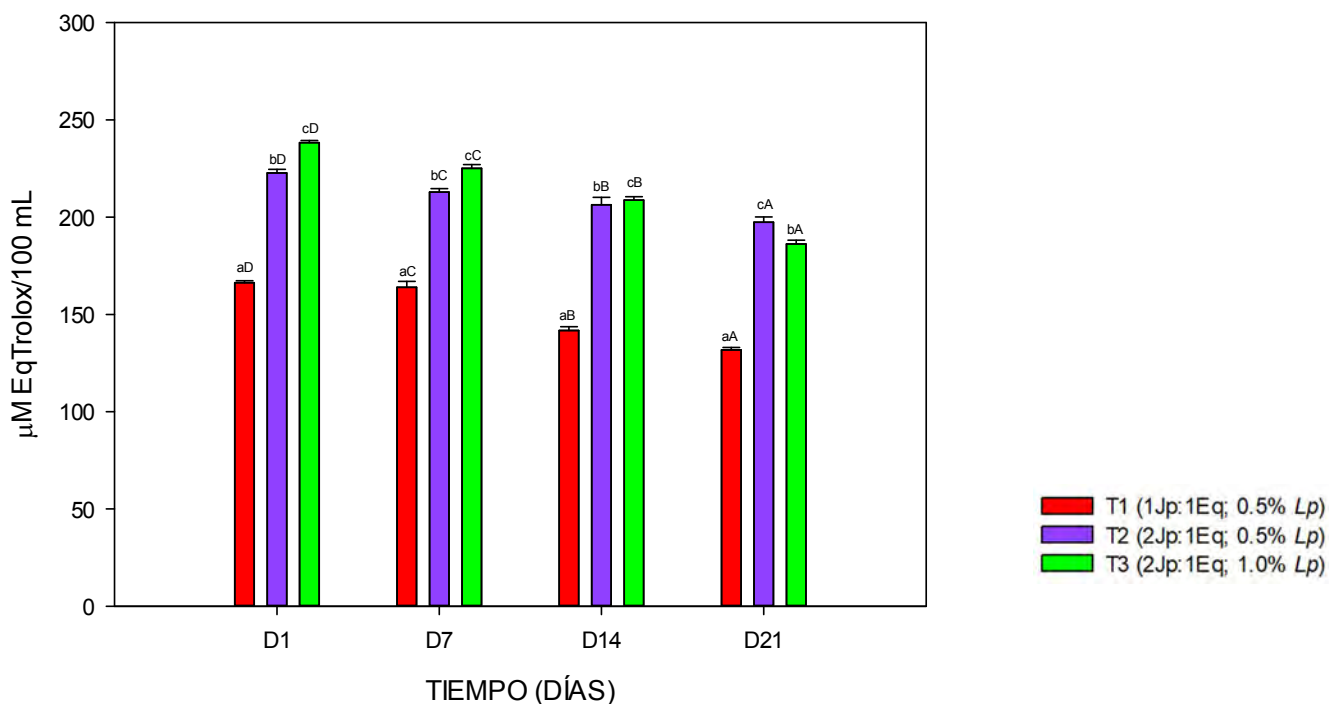


Figura 5. Actividad antioxidante por el método FRAP en las bebidas durante su almacenamiento a $4 \pm 1^\circ\text{C}$. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, Lp=*Lactobacillus plantarum*). Letras minúsculas diferentes en el mismo día de análisis indican diferencia estadística significativa entre tratamientos y letras mayúsculas diferentes en la misma muestra indican diferencia estadística significativa respecto al tiempo mediante la prueba de Fisher ($p < 0.05$).

Conclusiones

No se observaron diferencias significativas en la degradación de las betalaínas con respecto al tiempo, lo cual podría estar relacionado con la metodología utilizada. Esto sugiere la necesidad de implementar técnicas de cuantificación más sensibles, como HPLC. El contenido de polifenoles fue favorecido por la concentración de jugo de pitaya y *Lactobacillus plantarum*. Durante el almacenamiento, se registró una disminución en la capacidad antioxidante, posiblemente influenciada por factores como el pH, la acidez y el metabolismo de *Lactobacillus plantarum*. A pesar de estos cambios, los resultados indican que las bebidas siguen siendo una fuente rica en probióticos y proporcionan compuestos antioxidantes benéficos para el consumidor siendo que el tratamiento T2 (2:1, 0.5%) mostró ser la mejor formulación ya que mostró el mayor contenido de betalaínas y capacidad antioxidante durante el almacenamiento.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) y al Instituto Tecnológico de Tuxtepec, por su apoyo para la realización de este proyecto de investigación

Referencias

- [1] L. G. Ruiz Rodríguez, L. M. Mendoza, C. P. Van Nieuwenhove, M. Pescuma and F. B. Mozzi, "Fermentación de jugos y bebidas a base de frutas," 2020.
- [2] L. García Cruz, "Conservación postcosecha y aprovechamiento de compuestos bioactivos de frutos de pitaya (*Stenocereus* sp.)," *Doctoral dissertation, Universidad Autónoma Chapingo*, 2021.
- [3] S. SIAP, *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*, 2023.
- [4] C. Martínez-Villaluenga, E. Peñas, and B. Hernández-Ledesma, "Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods," *Food and Chemical Toxicology*, 137, 111-178, 2020.
- [5] M. Andreu and C. Saavedra-Coutado, "El rol de los fermentos en la sostenibilidad alimentaria," *Nutricion hospitalaria*, 39(SPE3), 56-59, 2022.
- [6] I. Salmerón, T. Keith, and P. Severino. "Effect of potentially probiotic lactic acid bacteria on the physicochemical composition and acceptance of fermented cereal beverages." *Journal of Functional Foods*, 15, 106-115, 2015.
- [7] M. G. Pérez-Loredo, H. D. Jesús, and B. E. Barragán-Huerta, "Extracción de compuestos bioactivos de pitaya roja (*Stenocereus stellatus*) aplicando pretratamientos de microondas, ultrasonido y enzimáticos," *Agrociencia*, 51 (2), 135-151, 2017.
- [8] D. L. Chilo Ramos, "Evaluación de las condiciones de proceso para la elaboración de una bebida fermentada de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) con inclusión de bacterias ácido lácticas," 2020.
- [9] M. F. Sosa-Reyes, "Desarrollo y caracterización de una bebida láctea con pitaya (*Stenocereus stellatus*) probiótico y proteína vegetal," *Desarrollo de nuevos productos del Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Tuxtepec, Oaxaca, México*, 2018.
- [10] E. Castellanos-Santiago and E. M. Yahia, "Identificación y cuantificación de betalaínas de frutos de 10 cultivares mexicanos de tuna mediante cromatografía líquida de alta resolución y espectrometría de masas por ionización por electrospray," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (14), 5758-5764, 2008.
- [11] V. L. Singleton, R. Orthofer and R. M. Lamuela-Raventós, "Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent," *In Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press, 1999.
- [12] R. Re, N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans, "Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay," *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231-1237, 1999.
- [13] W. Brand-Williams, M. E. Cuvelier and CL. WT. Berset, "Uso de un método de radicales libres para evaluar la actividad antioxidante," *LWT-Food science and Technology*, 28 (1), 25-30, 1995.
- [14] R. Pulido, L. Bravo and F. Saura-Calixto, "Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 3396-3402, 2000.
- [15] J. H. Gómez and M. D. M. Rangel, "Caracterización fisicoquímica y compuestos bioactivos en los frutos de pitaya (*Stenocereus thurberi*) de cuatro colores," *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 26, 1-9, 2023.
- [16] M. A. Flores Mancha, "Efecto de la adición de extracto de betabel (*Beta vulgaris*) liofilizado sobre las características fisicoquímicas, actividad antioxidante, contenido y estabilidad de betalaínas y polifenoles en yogurt batido," *Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Chihuahua*, 2020.
- [17] J. Usaga, D. Barahona, L. Arroyo and P. Esquivel "Probiotics survival and betalains stability in purple pitaya (*Hylocereus* sp.) juice," *NFS Journal*, 27, 47-53, 2022.
- [18] M. Soto Dagnino, "Encapsulación de jugo de pitaya (*Stenocereus stellatus*) empleando mezclas de polisacáridos y proteína como materiales de pared: optimización de factores y propiedades fisicoquímicas," (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Chihuahua), 2020.
- [19] Z. Li, J. Teng, Y. Lyu, X. Hu, Y. Zhao and M. Wang, "Actividad antioxidante mejorada para jugo de manzana fermentado con *Lactobacillus plantarum* ATCC14917," *Molecules*, 24 (1), 51, 2018.
- [20] D. Cerdá Bernad, "Influencia del tiempo de fermentación en la viabilidad de *Lactobacillus plantarum* y *Bifidobacterium longum* en bebidas de quinua roja," 2019.

- [21] S. Fernández Huazo, "Desarrollo de una bebida fermentada a base de guanábana (*Annona muricata* L.), suero de leche, *Lactobacillus acidophilus* e inulina," 2024.
- [22] C. Cervantes-Arista, A. Roman-Guerrero, V. Oidor-Chan, F. Díaz de León-Sánchez, E. Álvarez-Ramírez, C. Pelayo-Zaldívar, E. Sierra-Palacios, J. Mendoza-Espinoza, "Chemical characterization, antioxidant capacity, and anti-hyperglycemic effect of *Stenocereus stellatus* fruits from the arid Mixteca Baja region of Mexico," *Food Chemistry*. Volume 328, 2020.
- [23] A. Noriega Juárez, "Caracterización funcional antioxidante y fisicoquímica del jugo fermentado y sin fermentar de pitaya de mayo *Stenocereus griseus*," 2021.
- [24] A. Antezana, B. Vizaluque, E. Aliaga-Rossel, L. Tejeda, O. Book, P. Mollinedo, J. Peñarrieta, "Determinación de la capacidad antioxidante total, fenoles totales, y la actividad enzimática en una bebida no láctea en base a granos de chenopodium quinoa," *Revista boliviana de Química*, 35(5), 168-176, 2018.

IMPLEMENTACIÓN DE IIOT Y TELEMETRÍA PARA EL SEGUIMIENTO DE VARIABLES DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL EN LA INDUSTRIA EMPLEANDO UNA APLICACIÓN MÓVIL

Jurado Bichir Lorena^{1}, Ojeda Nuñez Iveth², Ramírez Sánchez Victor³, Gutierrez Montoya Eduardo⁴, Carreón Guevara Manuel⁵*

¹Universidad Autónoma de Coahuila ljuradobichir@uadec.edu.mx, ²Universidad Autónoma de Coahuila m.ojeda@uadec.edu.mx, ³Universidad Autónoma de Coahuila victorramirez@uadec.edu.mx, ⁴Universidad Autónoma de Coahuila jose_gutierrez@uadec.edu.mx, ⁵Universidad Iberoamericana manuel.carreon@ibero-torreon.edu.mx

Área de participación: **Sistemas Computacionales**

Resumen

El presente artículo describe la telemetría de variables de suministro de gas natural; su flujo y presión en una red de distribución industrial. El objetivo es conocer en tiempo real el funcionamiento, estado y fallas mediante el uso de una aplicación móvil. Para la telemetría se empleó un microcontrolador de prototipado Particle Electron, Internet Industrial de las Cosas y una aplicación móvil sobre la plataforma Blynk; en donde se muestran los valores de operación, alertas y tendencias del funcionamiento de la red de distribución. El resultado es una herramienta que facilita el seguimiento de las fallas durante el suministro de gas, ya que el monitoreo de las variables permite conocer en tiempo real el abastecimiento, las interrupciones programadas y las interrupciones no programadas de los procesos productivos. Al tener el conocimiento del suministro de gas en tiempo real, se interviene de manera inmediata para dar solución a los desperfectos.

Palabras clave: *App, IIoT, Gas natural, Telemetría.*

Abstract

This article describes the telemetry of natural gas supply variables, its flow and pressure in an industrial distribution network. The objective is to know in real time the operation, status, and failures through the use of a mobile app. For telemetry was used a Particle Electron prototyping microcontroller, Industrial Internet of Things, and a mobile application over the Blynk platform; it's displayed operating values, alerts, and operating trends of the distribution network. The result is a tool that makes bug tracking easier during the gas supply, the monitoring of the variables in real time allows us to know supply, scheduled interruptions, and unscheduled interruptions of the productive processes. By having knowledge of the gas supply in real time, we intervene immediately to solve the damage.

Key words: *App, IIoT, Natural gas, Telemetry.*

Introducción

Actualmente el uso de Internet se ha convertido en parte del día a día de las personas, existen sistemas automatizados con los que es posible interactuar para mejorar los estilos de vida, reducir el esfuerzo y aumentar el confort, así como simplificar tareas y procesos en diferentes áreas. Todo esto es posible a través de avances e innovaciones tecnológicas como el Internet de las cosas (IoT). [1]

IoT permite la conexión a internet de millones de dispositivos inteligentes y sensores, lo que facilita la recopilación y el intercambio de información, esta tecnología es usada en las organizaciones para facilitar los procesos industriales y obtener múltiples beneficios en su operación, al aplicar el IoT en la industria recibe el nombre de Internet Industrial de las Cosas (IIoT). [2] El IIoT es una tecnología que permite la integración de dispositivos como equipos de cómputo, redes y objetos físicos usados en la industria y conectados en una red con la finalidad de detectar, monitorizar y tener un control del mundo físico, lo cual permite impulsar el progreso de los negocios. [3]

En los últimos años los líderes empresariales consideran al IIoT como un soporte de mejora en los momentos en los que se presenta una crisis, específicamente para la crisis del COVID-19 las organizaciones iniciaron con esta tecnología sin la necesidad de tener grandes inversiones tecnológicas ya que las soluciones de conectividad se pudieron implementar fácilmente lo cual logró ser fundamental para garantizar la continuidad de los negocios. [4]

El IIoT en las organizaciones permite el monitoreo de sus procesos de manera eficiente y precisa, predecir y detectar en tiempo real la ocurrencia de fallos en equipos o maquinaria; además de mejorar su competitividad en el mercado. [5] Esta mejora en el desempeño de las organizaciones implica la interconexión de dispositivos, recolección y almacenamiento de datos y su procesamiento; con lo cual es posible supervisar plantas industriales desde cualquier ubicación en el planeta mediante aplicaciones móviles instaladas en dispositivos inteligentes. [6]

Existe una estrecha relación entre el IIoT y el uso de sensores, los cuales son usados para la recopilación de datos permitiendo cerrar la brecha entre el mundo físico y el mundo digital. Los sensores miden diversas variables como flujo, nivel, temperatura, presión, humedad, entre otras; la información recolectada por dichas variables forma parte de la materia prima del IIoT. [5] Para esta recolección y transmisión de datos a distancia se implementa la telemetría; la cual es un sistema de comunicación automatizado que permite la recepción, medición y procesamiento de datos a distancia, en donde la información recolectada por los sensores y usada por el IIoT es transmitida mediante telemetría para posteriormente almacenarla y procesarla en plataformas tecnológicas. [7]

Existen empresas en otros países que están en esta transición de automatización y control de forma remota usando telemetría. [8] Actualmente se aplica en los procesos productivos industriales con la finalidad de monitorear variables en tiempo real; los responsables de las actividades en una empresa logran detectar fallas y analizar los datos sin importar el lugar en donde se ubiquen y aplicar acciones inmediatas que ayuden a la compañía a mejorar su competitividad. [9]

El análisis de los datos recopilados por medio de IIoT se realiza en plataformas tecnológicas en las cuales se almacena y procesa la información y su uso es fundamental para gestionar y conectar dispositivos inteligentes eficientemente. Dichas plataformas son entornos digitales que ofrecen herramientas y servicios para que los usuarios puedan interactuar, construir y usar aplicaciones como soluciones tecnológicas que facilitan la interconectividad de los dispositivos. [10]

El presente trabajo se efectuó en una empresa de la industria metalúrgica, la cual en su planta de producción usa el gas natural como combustible en sus procesos pirometalúrgicos para la obtención y refinado de metales mediante calor en su proceso de fundición. [11] La fundición de metales es esencial en la operación por lo que el suministro de gas natural debe estar disponible durante todo el año y en todo momento, en caso de una falla en el abasto, tiene como consecuencias pérdidas económicas para la empresa y más aún si el conocimiento del desabasto es tardío.

Metodología

En la figura 1 se muestra la interconexión de los dispositivos usados para la solución propuesta del presente trabajo, la metodología consiste en una investigación aplicada basada en IIoT donde en conjunto con el uso de sensores, telemetría, un microcontrolador y una Aplicación móvil (App móvil) se monitorean los datos de presión y flujo para conocer en tiempo real el abastecimiento del gas natural y a través de un dispositivo inteligente con la App móvil instalada se visualiza una gráfica y se reciben alertas del monitoreo de dichas variables.



Figura 1. Diagrama de conexiones. Adaptado de [12].

A continuación, se presentan los conceptos generales usados para el desarrollo de esta investigación:

Transmisor: son dispositivos utilizados en la industria que tienen la función de monitorear y medir las variables físicas de gases o líquidos en un sistema en tiempo real, además de garantizar la seguridad y precisión en los datos que proporciona para la operatividad y control del proceso. [13]

Placa de circuito impreso: Son circuitos impresos o llamados también Printed Circuit Board (PCB) y es un componente fundamental en la electrónica, se usa para soportar y proporcionar una base física para conectar componentes electrónicos. [14]

Plataforma Blynk: Plataforma tecnológica de IoT que facilita el desarrollo de aplicaciones móviles que interactúan con microcontroladores y sensores para controlar y monitorear dispositivos de manera remota. [15]

Microcontrolador de prototipado: circuito integrado que se utiliza para controlar otros dispositivos o sistemas; está diseñado para el desarrollo y prueba rápida de prototipos electrónicos, son parte de plataformas de desarrollo que incluyen el hardware y el software necesario para programar y probar el microcontrolador. [16]

Presión: Magnitud derivada de la fuerza aplicada a un fluido sobre una superficie sin depender de su velocidad. [17]

Pound per-Square Inch (PSI): Libras por pulgada cuadrada es una unidad de medida de presión que define la cantidad de fuerza en libras que se ejerce sobre un área de una pulgada cuadrada. [18]

Miliamperios (mA): unidad de medida de corriente eléctrica, que es la milésima parte de un amperio (A); es la unidad básica de corriente eléctrica equivalente a $1A = 1000mA$. [19]

Voltage of Continuos Current (Vcc): o Voltaje de corriente directa (Vcd) es un tipo de corriente eléctrica que fluye en una sola dirección, es la unidad de medida para el potencial eléctrico. [20]

Flujo o caudal: se refiere al movimiento de un fluido (líquido o gas) a través de una superficie o conducto y se expresa en unidades de volumen sobre tiempo. [21]

Medición física de presión y flujo

Para medir las variables de presión y flujo en las líneas de suministro de gas se usaron transmisores con salida análoga de 4-20mA; dichas señales análogas son para transmitir la información del proceso con un lazo de corriente de 4-20mA el cual es el estándar dominante en la industria. [22] La función de los transmisores es convertir la señal física de presión y flujo del gas a una señal eléctrica, usando el rango de 4-20mA escalado; dependiendo de las características del transmisor la escala es a PSI para la presión y metros cúbicos para el flujo. Para el transmisor de presión se considera un rango de trabajo de 0-100 PSI escalado a un lazo de corriente de 4-20mA, cuando el transmisor mida 0 PSI su salida de corriente será a 4mA y cuando mida 100 PSI su salida será a 20mA. [23]

En la figura 2a se muestra el transmisor de presión de la marca Rosemount modelo 3051T en línea usado para medir la variable presión del gas natural. Para el transmisor de flujo se considera un rango de trabajo de 0-10,000 metros cúbicos por hora (m^3/hr) escalado a un lazo de corriente de 4-20mA, cuando el transmisor mida $0m^3/hr$ su salida de corriente será de 4mA y cuando mida $10,000m^3/hr$ su salida será de 20mA. En la figura 2b se muestra el transmisor de flujo de la marca Micro Motion modelo 5700 usado para medir la variable de flujo del gas natural.



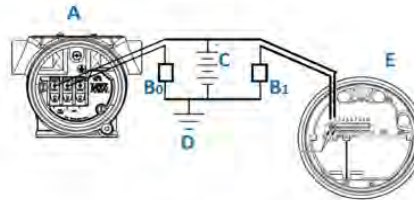
Figura 2. (a) Transmisor Rosemount 3051T para la medición de presión. Tomado de [24].
(b) Transmisor Micro Motion 5700 para la medición de flujo. Tomado de [24].

Estructura del microcontrolador de prototipado y su funcionamiento en una Placa de Circuito Impreso (PCB)

El microcontrolador utilizado es de la marca Particle del modelo Electron para prototipado con una plataforma para proyectos de IoT con conectividad a celular del modelo ARM Cortex alimentado con una fuente de salida de 250mA a 5Vcd y la conectividad a internet fue a través de una tarjeta SIM de una compañía telefónica con un plan de datos. [25]

Tanto el transmisor de presión como el de flujo son alimentados por una fuente de voltaje de 24Vcd para su funcionamiento. Posteriormente las señales análogas de 4-20 mA se conectan en la entrada 0(A0) y en la entrada 1(A1) de la tarjeta PCB para las variables de presión y flujo respectivamente. La

tarjeta PCB se diseñó con un convertidor de señal interno para convertir la señal de 4-20mA a una señal de 0 a 3.3Vcd, estos valores son los adecuados para ser leídos por el microcontrolador Particle Electron. En la figura 4 se muestra el diagrama de conexión de los transmisores a la PCB.



- A. Transmisor de presión Rosemount 3051T
- B0. Entrada analógica A0 de la PCB
- B1. Entrada analógica A1 de la PCB
- C. Fuente de alimentación de 24 Vcd
- D. Conexión a Tierra
- E. Transmisor de flujo Micro Motion 5700

Figura 4. Diagrama de conexión de transmisores a PCB. Adaptado de [26].

A nivel de software, cada entrada analógica del microcontrolador se interpreta con un valor digital que va de 0 a 4095 bits. Es decir, 0Vcd equivale a 0 bits y 3.3Vcd equivale a 4095 bits. En la tabla 1 se muestra los escalamientos utilizados.

Tabla 1. Escalamientos de variables físicas, eléctricas y de software. Adaptado de [27].

Variables físicas		Variables eléctricas		Variables en software
Presión	Flujo	Salida Transmisor	Salida de convertidor en PCB y entrada analógica Particle Electron	Valores en Particle Electron
PSI	m ³ /hr	mA	Vcd	Bits
0	0	4	0	0
25	2500	8	0.825	1024
50	5000	12	1.65	2048
75	7500	16	2.475	3072
100	10,000	20	3.3	4095

La señal en Vcd es posteriormente tratada dentro del microcontrolador con el convertidor analógico-digital interno y enviada mediante una variable hacia la plataforma Blynk para su procesamiento.

Para la programación del microcontrolador se usó la plataforma Web IDE (Entorno de Desarrollo Integrado Web) la cual es una herramienta en línea que brinda la propia marca Particle y que permite programar y probar el microcontrolador Electron. [25] Se estableció conexión y se accedió desde un navegador web a dicha plataforma en donde se cargaron las librerías de la plataforma Blynk y se definió la función de Escalamiento(). En la figura 5 se muestra el fragmento de la programación en lenguaje C++ definido para el escalamiento de las variables.

```

61
62 void Escalamiento()
63 {
64     int Entrada0 = analogRead(A0);
65     PGN = map(Entrada0,0,4095,0,100);
66     Blynk.virtualWrite(V0,PGN);
67
68     int Entrada1 = analogRead(A1);
69     FGN = map(Entrada1,0,4095,0,10000);
70     Blynk.virtualWrite(V1,FGN);

```

Figura 5. Escalamiento de señales en Web IDE. Adaptado de [27].

Las variables Entrada0 y Entrada1 almacenan los valores de las entradas análogas A0 y A1, presión y el flujo respectivamente. En la variable PresionGasNatural (PGN) se guarda el valor escalado de la entrada análoga A0 donde 0 PSI es a 0 bits y 100 PSI es a 4095 bits. Para la variable FlujoGasNatural (FGN) se guarda el valor escalado de la entrada análoga A1 donde 0 m³/hr es a 0 bits y 1,000 m³/hr es a 4095 bits. Posteriormente los valores de PGN y FGN se envían a variables virtuales definidas en Blynk.

En la plataforma Blynk se creó un nuevo proyecto para el monitoreo del gas natural, se seleccionó el microcontrolador Particle Electron y se definió la conexión Celular para posteriormente generar automáticamente el AuthToken (Token de autenticación) que sirve para establecer una comunicación segura entre el microcontrolador y la plataforma.

Plataforma Blynk

La plataforma Blynk cuenta con diversas herramientas entre las cuales está la creación de App móviles (Blynk.apps) para controlar dispositivos de manera remota, una consola (Blynk.console) la cual es una aplicación web para conectar, supervisar, analizar y controlar los dispositivos físicos, además de infraestructura de almacenamiento en la nube (Blynk.cloud) que facilita el monitoreo de datos en tiempo real y brinda seguridad en la gestión de la información. Para la creación y el funcionamiento de la App se empleó el almacenamiento de la propia plataforma Blynk, se creó una cuenta de usuario y una plantilla llamada Telemetría 2023. Una plantilla es un conjunto de elementos en donde se almacenan las configuraciones de los dispositivos físicos basados en IoT, cada plantilla permite configurar flujos de datos, interfaz del usuario y se configura en modo desarrollador. [28]

En la figura 6 se muestra el entorno de desarrollo de la plataforma Blynk para crear las App móviles mediante plantillas, en la sección Datastream permite ver el flujo de datos mediante “pines virtuales” los cuales son utilizados para simplificar la comunicación entre la aplicación Blynk y el hardware conectado; con la finalidad de acceder a las variables previamente programadas en el microcontrolador y tener conectividad se creó el pin virtual V0 para PGN y V1 para FGN. La creación de los dichos pines virtuales V0 y V1 se escriben por medio de la función Blynk.virtualWrite() con los datos recibidos desde las variables definidas en el microcontrolador.

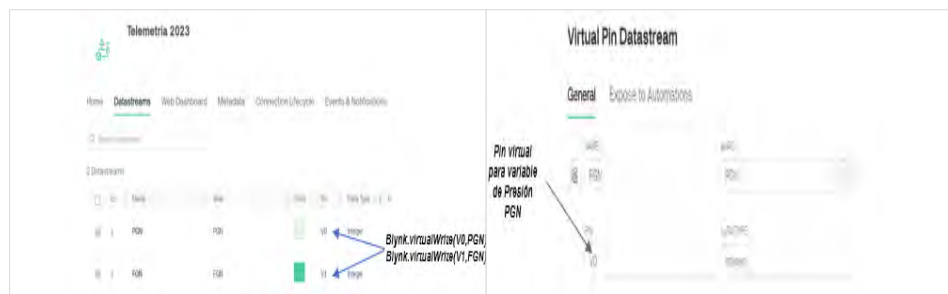


Figura 6. Consola Blynk: Creación de pin virtual. Adaptado de [29].

La consola de Blynk tiene un Panel web (Web Dashboard) en el cual se visualizan los datos y se tiene el control de los dispositivos conectados, en este apartado se proporcionan Widgets los cuales son elementos de control, visualización y notificaciones como botones, gráficos, leds, terminales, display de valor, entre otros y permite seleccionar según las necesidades del monitoreo; estos tienen la finalidad de mostrar a los usuarios los valores obtenidos desde los dispositivos de medición con los que se está interactuando mediante IoT. [30] En la figura 7 se muestra el Panel web para el microcontrolador Particle y los datos de PGN y FGN en donde se visualiza la medición en tiempo real de dichas variables, además de dos gráficas que muestran las estadísticas de los últimos tres meses de consumo mediante la etiqueta “Flujo GN” en m³/hr y “Presión GN” en PSI.



Figura 7. Panel web en Blynk para Telemetría de Gas Natural. Adaptado de [31]

Interfaz de aplicación móvil para telemetría del gas natural

Blynk.app es la aplicación móvil de Blynk y cuenta con una interfaz gráfica con las modalidades de desarrollador y usuario, en el modo desarrollador permite ver las plantillas previamente diseñadas además de controlar los dispositivos y sensores conectados, está basada en widgets que permiten a los usuarios arrastrar y soltar elementos como gráficas, botones para personalizar dicha interfaz, los widgets permiten ser configurados para interactuar con pines virtuales y físicos. También permite configurar notificaciones y alertas para que los usuarios puedan conocer en tiempo real el estado de sus dispositivos. [28]

En la figura 8a se muestra la imagen del modo desarrollador de la aplicación móvil en Blynk para las variables del gas natural en donde se configuraron los Widgets Label, Gauge y Superchart para mostrar los datos en tiempo real de las variables V1 y V0. El Widget Label muestra en formato de texto el flujo en m^3/hr , el Widget Gauge de manera gráfica y similar a un manómetro muestra la presión general en PSI y el Widget SuperChart para visualizar los datos históricos y en tiempo real en forma de gráfica, con la finalidad de monitorear y conocer las tendencias del abastecimiento de la presión y el flujo.

En la figura 8b se muestra la imagen de la configuración de las notificaciones definidas en Blynk, las cuales cuentan con un switch que permite activar o desactivar los eventos cuando el desarrollador lo considere conveniente. Los eventos se programan como elementos de control que se usan para informar lo que sucede en el dispositivo. El evento usado es el personalizado, se programaron dos eventos como notificaciones para informar al usuario final cuando el flujo y/o la presión del gas natural están fuera de rango, el mensaje definido es "Presión GN fuera de rango" y "Flujo GN fuera de rango".



Figura 8. (a) Blynk.app: configuraciones en modo desarrollador, (b) Blynk.app: configuración de notificaciones y alertas. Adaptado de [31].

Resultados y discusión

Seguimiento del gas natural mediante la App móvil

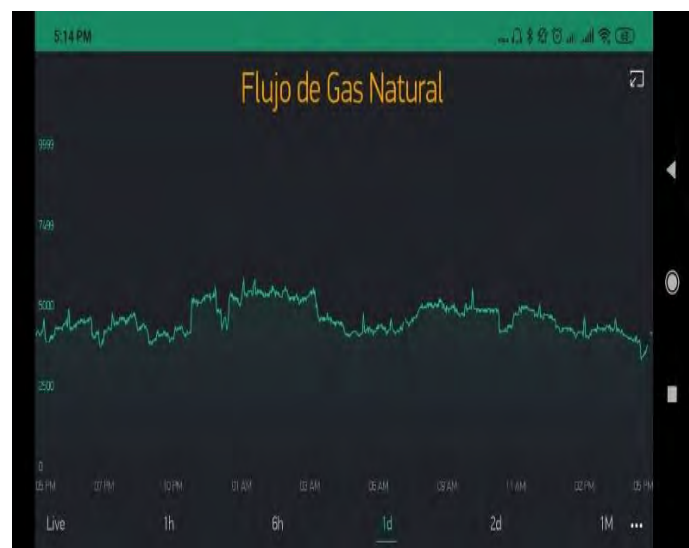
El usuario final es quien monitorea el proceso de suministro de gas natural desde su dispositivo inteligente, la instalación de la App móvil basada en Blynk se hace por medio de un correo electrónico en donde se le proporciona una dirección de acceso para validar el usuario y que pueda realizar la instalación en primera instancia de la App Blynk en su dispositivo, posteriormente se autoriza su acceso a la interfaz final de monitoreo previamente diseñada para que pueda visualizar la pantalla de la telemetría de gas natural que se está suministrando.

En la figura 9a se muestra una impresión de pantalla de lo que visualiza el usuario final en su dispositivo móvil una vez que tiene acceso al monitoreo. En la interfaz final se muestran los valores de las variables del suministro de gas natural en tiempo real capturados mediante telemetría y el uso de sensores de presión y flujo, en la parte superior izquierda de la pantalla se muestra la leyenda de Telemetría, seguido de la palabra GAS para indicar mediante una etiqueta el Flujo de Gas Natural en m^3/hr . En seguida se muestran los valores de presión en PSI en un rango de 0-200, además un indicador que muestra la presión general en línea del dispositivo, así como las tendencias históricas de ambas variables.

En la figura 9b muestra la gráfica del flujo de gas natural con el horario por día con un intervalo de tres horas, lo que permite monitorear y analizar las tendencias y observar cómo cambian los valores de las variables del gas a lo largo del tiempo. Las gráficas de la aplicación permiten usar el cursor y posicionarlo en algún punto para conocer un momento exacto del día, mostrando los valores de presión y flujo que se midieron y que están almacenados como datos, puede visualizarse hora, día, semana y hasta tres meses.



(a)



(b)

Figura 9. (a) Blynk.apps: configuraciones en modo usuario, (b) Gráfica de flujo de gas natural con intervalo de tiempo. Adaptado de [28].

Las alertas de los mínimos permitidos para el suministro del gas natural llegan a un dispositivo inteligente previamente configurado con la App móvil y el perfil del usuario. En la figura 10 se muestra una la imagen con las alertas recibidas.



Figura 10. Alertas en dispositivo inteligente. Adaptado de [28].

Mediante la implementación de IIoT, telemetría y el uso de microcontroladores y sensores, se logró realizar el seguimiento exitoso en tiempo real de las variables de gas y presión en el suministro de gas natural de una empresa metalúrgica. Los datos recopilados permiten visualizar, a través de una aplicación móvil, los niveles de abastecimiento del recurso en tiempo real y alertar a los trabajadores cuando el suministro cae por debajo de lo necesario para los procesos. Este proyecto tiene un impacto significativo en las áreas de operación y mantenimiento de la empresa, ya que facilita la toma de decisiones de manera rápida e informada en caso de interrupciones en el suministro. Además, el monitoreo constante permite la detección y predicción temprana de fallas, reduciendo así el tiempo de inactividad.

Trabajo a futuro

Para el enfoque a futuro se tiene como objetivo buscar la mejora de los sensores y microcontroladores a los que se usan actualmente con la finalidad de hacerlo más compacto, sin comprometer su funcionalidad y rendimiento; lo que permitirá que sea más portátil y adaptable. Adicionalmente, desarrollar una interfaz propia para la App móvil que sustituya el uso de las plantillas que proporciona Blynk, con una interfaz personalizada se pretende tener mayor control sobre las funciones y características de la App con la posibilidad de diseñarla en base a necesidades específicas de los usuarios.

Conclusiones

Como conclusión, un sistema de monitoreo mediante una App móvil y el uso de IIoT es una buena herramienta en la gestión y supervisión de procesos industriales, la visualización en tiempo real del flujo y la presión en el gas natural mejoró significativamente la detección de problemas en el suministro y le permitió al usuario tomar decisiones informadas y de manera rápida, logrando reducir los tiempos de inactividad. Dentro de la misma interfaz de monitoreo de la aplicación es posible agregar otras variables que estén relacionadas con las medidas actualmente, como por ejemplo la temperatura de los equipos; así como también el análisis de los datos almacenados en el Panel web para conocer y comparar los tiempos de respuesta a las fallas en el suministro del gas natural con la finalidad de tener datos históricos y saber la eficiencia del sistema de monitoreo con respecto a la mano de obra que se está destinando en la solución de los problemas en el proceso.

Referencias

- [1] Y. D. S. Anaya, D. G. G. Rodríguez, I. G. Prince, & J. A. O. Sakanassi, "El impacto del internet de todas las cosas (IoT) en la vida cotidiana". *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), 1369-1378. 2022.
- [2] M. G. Munguía, H. D. M. Ruíz, M. C. Velázquez, S. S. M. Gutiérrez & J. L. A. Reséndiz. "Internet de las cosas". *Tepexi Boletín Científico De La Escuela Superior Tepeji Del Río*, 7(14), 46-51. 2020.
- [3] T. Qiu, Wu. D. Oliver, P. Pathi. "Introduction to the special section in software architecture and to model Industrial Internet of Things" *Elsevier*. 2017.
- [4] S. Fahrni, C. Jansen, M. John, T. Kasah, B. Körber, & N. Mohr. "Coronavirus: Industrial IoT in challenging times". *McKinsey & Company*, 22. 2020.
- [5] K. A. Yague Zapata, J. E. Hernandez Alvarado, C. F. Trujillo & D. R. Delgado. "Internet industrial de las cosas, evolución y desafíos", Tesis, Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia. 2020.
- [6] A. Toro, G. Sánchez, M. Strefezza & E. Granada. "IIoT y sistemas de control: oportunidades, desafíos y arquitecturas", *Ciencia e Ingeniería*, 38(3), 209-214. 2017.
- [7] E. R. Cáceres Alvarado. "Desarrollo de una plataforma basada en telemetría e IOT para el monitoreo remoto del consumo e indicadores de energía de una planta industrial", Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2022.
- [8] S. Atehortúa. "Sistema de monitoreo de variables físicas en tanques en un entorno IoT para la empresa Distrifull", Tesis, Universidad de Antioquia, Ecuador. 2022.
- [9] L. F. H. Quintero. "Telemetría y telegestión en procesos industriales mediante canales inalámbricos Wi Fi utilizando instrumentación virtual y dispositivos PDA (Personal Digital Assitant)", *Desarrollo de Grandes Aplicaciones de Red*. III Jornadas, JDARE. 2006.
- [10] T. D. Fernández. "Plataformas IIoT con potencial aplicación en el contexto industrial cubano", *Revista cubana de transformación digital*, 3(2), e175-e175. 2022.
- [11] G. Brito Armas. "Estudio de viabilidad técnica y económica de una planta para la recuperación de metales preciosos a partir de residuos tecnológicos", Tesis, Universidad de la Laguna. España. 2017.
- [12] A. R. Alpizar. "Instalando Blynk Server localmente". *Sysadmins de cuba*. <https://www.sysadminsdecuba.com/2020/04/instalando-blynk-server-localmente/>. (Junio,10, 2024).
- [13] W. A. Chafía Bustamante & N. S. Alava Rosado. "Automatización de un horno industrial a gas con PLC y su monitoreo a distancia", Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. 2024.
- [14] J. A. B. Pacheco. "Fundamentos de Placas de Circuito Impreso". *Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria*. No. 4, 11(22), 15-17. 2023.
- [15] Blynk. "Blynk: a low-code IoT software platform for businesses and developers". <https://blynk.io/developers>. (Marzo, 12, 2024).
- [16] F. Valdés & R. P. Areny. "Microcontroladores fundamentos y aplicaciones con PIC", (Vol. 1149). *Marcombo*. 2007.
- [17] Y. A. Barón Diseño prototipo banco de pruebas de presión de 0 a 100 Psig para transmisores de presión con salida analógica 4 a 20 mA para la empresa Hidrocasanare. [online]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/28467>.
- [18] J. A. Sánchez. Instrumentación y control básico de procesos. Ediciones Díaz de Santos. 2013.
- [19] Real Academia Española: *Diccionario de la lengua española*, 23.ª ed., [versión 23.7 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [14/07/2024].
- [20] R. M. Castro. Electrónica. Grupo Editorial Patria, 2014.
- [21] R. Salcedo Díaz. Operaciones de Flujo de Fluidos. Tema 6: Flujo externo. Operaciones de Flujo de Fluidos, 2011.
- [22] Precision digital. "Los fundamentos de los lazos de corriente de 4-20 mA". *Predig*. <https://www.predig.com/whitepaper/de-regreso-lo-b%C3%A1sico-los-fundamentos-de-los-lazos-de-corriente-de-4-20-ma>. (Julio, 20, 2024).
- [23] WIKA Instrument Corporation. (2024). "WIKA Handbook Pressure & Temperature Measurement[Manual de WIKA Medición de presión y temperatura]", Lawrenceville, USA: WIKA Instrument Corporation. www.wika.com.mx. (Abril, 10, 2024)
- [24] Emerson Electric Co. "Industrias". Emerson. <https://www.emerson.com/es-mx/automation>(Mayo,20,2024)
- [25] Particle. "Particle Electron: Cellular", Particle Docs. <https://docs.particle.io/electron/> (Noviembre, 22, 2023).
- [26] Rosemount. "Transmisor de presión Rosemount 3051", Emerson Process Management. <https://www.emerson.com/documents/automation/manual-rosemount-3051-transmisor-de-presi%F3n-con-protocolo-hart-es-es-78704.pdf> (Enero, 28, 2012).
- [27] J.C. Padilla. "Escalas de medición", *Paradigma*, vol. 2, 104-125. Julio,2007.
- [28] Blynk. "Blynk.Documentation", Widgets (app). <https://docs.blynk.io/en/blynk.apps/widgets-app>. (Julio, 2024).
- [29] Events | Blynk Documentation. (s. f.). <https://docs.blynk.io/en/getting-started/events-tutorial>. (Mayo,7, 2024).
- [30] P. Seneviratne. "Hands-On Internet of Things with Blynk: Build on the power of Blynk to configure smart devices and build exciting IOT projects". *Packt Publishing Ltd*. 2018.
- [31] Blink. "Components of the Blynk IoT Platform". Blynk.Documentation. <https://docs.blynk.io/en> (25, Marzo, 2024)

BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS CON HIDROCARBURO Y PRODUCCIÓN DE VOLTAJE EN DISPOSITIVO BIOELECTROQUÍMICO

Oliva Campos Andy D.¹, Córdova-Bautista Yolanda^{1*}, Ojeda Morales Marcia E¹, Díaz Flores Laura L¹,
López Lázaro Jose D. S.¹

¹Laboratorio de Biotecnología, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán-Jalpa Km 1. Colonia La Esmeralda CP 86400 Cunduacán, México.

*yolanda.cordova@ujat.mx

Área de participación: **Ingeniería Química**

Resumen

La celda de combustible microbiana (CCM) es un dispositivo electroquímico donde la energía química de la materia orgánica puede ser transformada en electricidad. En la cámara anódica la remoción del hidrocarburo y la simultánea generación de voltaje dependen de la concentración del inóculo. Con un inóculo inicial de $34 \times 10^4 \pm 3$ unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/mL), a los 100 días se alcanzó a generar un voltaje de ~ 400 mV con una población de $50 \times 10^5 \pm 3$ UFC/mL. El microorganismo electrógeno *B. altitudinis* en la cámara anódica toleró hasta 20000 ppm de hidrocarburos y en la CCM logró degradar hasta el 70% del petróleo inicial. Y mediante la voltamperometría cíclica se evidenció la existencia de compuestos redox generados por *B. altitudinis* durante el consumo del petróleo como única fuente de carbono. El uso de *B. altitudinis* para la remoción de hidrocarburos en aguas y producción simultánea de energía mediante CCMs puede ser una alternativa a las tecnologías convencionales.

Palabras clave: *Electrógeno, Dispositivo electroquímico, B. altitudinis, Remoción*

Abstract

The microbial fuel cell (MFC) is an electrochemical device where the chemical energy of organic matter can be converted into electricity. In the anode chamber the removal of hydrocarbon and the simultaneous generation of voltage depend on the inoculum concentration. With an initial inoculum of $34 \times 10^4 \pm 3$ colony forming units per milliliter (CFU/mL), a voltage of ~ 400 mV was achieved after 100 days with a population of $50 \times 10^5 \pm 3$ UFC/mL. The electrogenic microorganism *B. altitudinis* used in the anode chamber tolerated up to 20,000 ppm of hydrocarbons and in the MFC it was able to degrade up to 70% of the initial oil. Cyclic voltammetry showed the existence of redox compounds generated by *B. altitudinis* during the consumption of oil as the only carbon source. The use of *B. altitudinis* for the removal of hydrocarbons in water and the simultaneous production of energy by means of MFCs can be an alternative to conventional technologies.

Key words: *Electrogen, Electrochemical device, B. altitudinis, Removal*

Introducción

Más del 95% de la energía utilizada en México se obtiene de combustibles fósiles ya que esta es esencial para mantener la economía del país [1]. Entre los más graves desastres ambientales que atentan contra biodiversidad se encuentran los derrames de petróleo. El petróleo crudo es una mezcla compleja de varios componentes formados por carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y azufre que en conjunto se denominan hidrocarburos del petróleo. Estos incluyen alcanos lineales, ramificados y cíclicos, alquenos insaturados, alquinos, alquil aromáticos de bajo peso molecular, monoaromáticos (benceno, tolueno y xileno), poliaromáticos (hidrocarburos aromáticos policíclicos, o HAP, como el naftaleno), asfaltenos (fenoles, ácidos grasos, cetonas, ésteres y porfirinas) y resinas (piridinas, quinolinas, cardaxoles, sulfonatos y amidas), además de ceras y alquitranes. La contaminación por esta mezcla químicamente tóxica puede causar un grave deterioro medioambiental que, con el tiempo, altera profundamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo o el agua y la salud humana [2]. Una de las principales fuentes de contaminación por hidrocarburos son los derrames o vertidos accidentales. Las cifras de derrames van en aumento, Pemex de 2018 a 2021 reportó a través del Centro de Coordinación y Apoyo a Emergencias (CCA) 176 derrames. Siendo 34 derrames en 2018 y 57 en 2019 [3]. Por ejemplo, la explosión en 2010 de la plataforma petrolífera Deepwater Horizon en el Golfo de México que liberó más de cuatro millones de barriles de petróleo [4, 5]. Sin embargo, existen otras fuentes de contaminación de ecosistemas acuáticos como los efluentes locales e industriales, las instalaciones de almacenamiento de petróleo marítimas y costeras. En Tabasco, desde el año 2018 hasta el 2023, Petróleos Mexicanos ha reportado 1,622 accidentes entre fugas y derrames [6]. Aun así, el petróleo sigue siendo la principal fuente de energía mundial para muchas actividades humanas. Sin embargo, debido a su alta toxicidad los hidrocarburos derramados alteran la estructura y dinámica de los ecosistemas. Los incidentes seguirán ocurriendo y es por ello que se deben buscar alternativas prometedoras sustentables para subsanar el daño al medio ambiente. Los sistemas bioelectroquímicos, en particular las celdas de combustible microbianas (CCM) son dispositivos capaces de producir energía a partir de la degradación de material orgánico o inorgánico mediante el metabolismo microbiano de bacterias electrogénicas [7, 8]. Las bacterias electrogénicas en el ambiente anaerobio descomponen la materia orgánica y los electrones resultantes se transfieren a la región catódica a través del circuito externo para generar corriente. Las CCM están teniendo gradualmente algunas aplicaciones en la mejora del tratamiento de aguas residuales y la producción de energía. Por ejemplo Zhiyuan y col. [9] reportan una remoción del 99% de nitrógeno total en aguas municipales con una densidad de potencia de 1.41 W/m^3 utilizando celdas de combustible microbianas. Yang y col. [10] reportan una remoción del 88.5% de demanda química de oxígeno en vinazas con una producción de voltaje de 535 mV con bacterias del género *Azospirillum* como electroógenos. En este trabajo se pretenden biorremediar aguas con petróleo utilizando celdas de combustible microbianas de doble cámara. En este proceso simultáneamente se producirá energía a partir de la degradación de los hidrocarburos. La cepa bacteriana *B. altitudinis* aislada de recortes de perforación será el microorganismo electroógeno utilizado en la biorremediación.

Metodología

Reactivación de bacteria electrogénica

La cepa *B. altitudinis* fue aislada de recortes de perforación de pozos petroleros ubicados en el Golfo de México en abril del 2019. Esta cepa fue identificada mediante pruebas bioquímicas API 50CH y se cultivó en medio líquido LB que contiene 5 g L^{-1} de Extracto de levadura, 10 g L^{-1} de Triptona, 10 g L^{-1} y 1000 mL de agua destilada [11, 12].

Eficiencia en la utilización de hidrocarburos

En tubos estériles de 10 mL se adicionaron 5 mL de medio mineral (g/L: 10 NaCl, 1.5 NH₄NO₃, 0.5 K₂HPO₄, 0.5H₂O₄, 0.02 FeSO₄, 0.1 MgSO₄, 0.1 CaCl₂, 0.0005 MnSO₄, 0.00064 g/L de ZnCl₂) con hidrocarburos al 0, 5, 10, 15 y 20% más 0.5 mL de inoculo de *B. altitudinis* (OD₆₀₀ ~0.7). Los tubos se incubaron por 30 días. Después, se determinó el hidrocarburo residual por gravimetría [13]. 5 mL de n-hexano se adicionaron a cada tubo y se agito durante 3 minutos hasta formar dos fases. La fase superior fue la que contenía al solvente y al hidrocarburo, esta se adiciono a un tubo previamente pesado. Después se llevaron a calentamiento a 60 °C en horno (ECOSHEL Modela 9023A USA). durante dos días hasta la evaporación total del solvente. Una vez fríos los tubos fueron pesados y con la diferencia de pesos (tubo vacío y con muestra) se determinó el por ciento de degradación del hidrocarburo con la ecuación 1. Aunado a la determinación de la degradación de HTP, se determinó la población de *B. altitudinis* a través del método de sembrado en placa por diluciones seriadas [12]. Los datos obtenidos se analizaron por un ANOVA con prueba de medias Tukey a un nivel de confianza al 95%. Una vez identificada la prueba donde hubo mayor crecimiento y a la vez degradación de hidrocarburo se procedio al experimento en la CCM.

$$\% \text{ Remoción} = 1 - \frac{HTP_{Residual}}{HTP_{Inicio}} * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde, HTP_{Inicio} es el peso en g del tratamiento control y $HTP_{Residual}$ es el peso en g de los tratamientos con petróleo.

Construcción de la celda de combustible microbiana

De acrílico Plexiglas de 3mm de espesor se construyo una CCM de doble cámara que consistió en dos cámaras cilíndricas horizontales de 10 cm de largo por 10 cm de diámetro (Figura 1) [8]. Por cada cámara el volumen de trabajo fue de 700 mL. Las cámaras estuvieron separadas a una distancia de 0.5 cm por una membrana intercambiadora de protones Nafion 117, película de 183 µm previamente activada. Laminas de neopreno fueron usadas con el fin de evitar fugas de los electrolitos. En la parte superior de la cámara anódica se colocó una toma de muestra utilizando pipetas Pasteur adaptadas con venoclisis y jeringa de 5 mL. La cámara catódica se mantuvo aireada continuamente a través de un compresor. Y para evitar contaminación por microorganismos en la cámara catódica, el compresor fue conectado a un filtro microporo de 0.22 µm [14]. La cámara anódica contenía medio mineral (10 g/L de NaCl, 1.5 NH₄NO₃, 0.5 K₂HPO₄, 0.5KH₂PO₄, 0.02 FeSO₄, 0.1 MgSO₄, 0.1 CaCl₂, 0.0005 MnSO₄, 0.00064 g/L de ZnCl₂) con petróleo al 20% más 150 mL de una solución búfer a 52 mM (K₂HPO₄, 5.4 g/L y KH₂PO₄, 2.6 g/L; pH 7). La cámara catódica contuvo 700 mL de una solución búfer a 82 mM (K₂HPO₄, 8.8 g/L y KH₂PO₄, 4.3 g/L; pH 6) [15]. El ánodo fue un cepillo de fibra de carbono de 2 x 8 x 12 cm (Fuel cell, inc. USA) y el cátodo fue de tela de carbón de 5 x 5 cm (40% Pt, 0.3 mg/cm²) (Fuel Cell, Inc., USA). Para eliminar las impurezas los electrodos se mantuvieron sumergidos por 24 horas en una solución 1 M de H₂SO₄ y después en una solución 1M de NaOH. Los electrodos se conectaron mediante un alambre de aleación cobre aluminio y se recubrió con resina epóxica no conductiva para evitar corrosión.

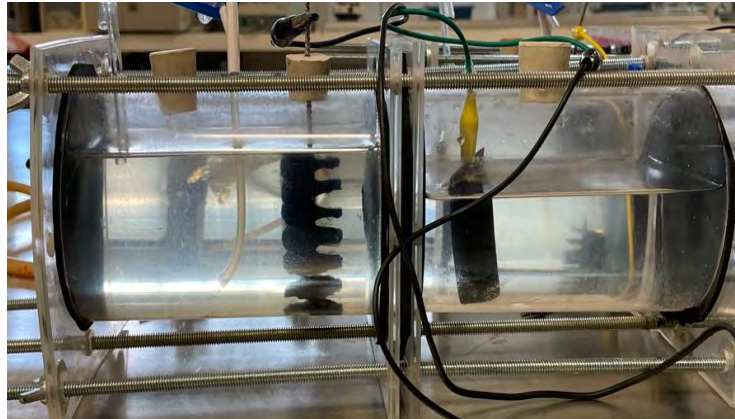


Figura 1. Configuración celda de combustible microbiana de doble cámara utilizada en este trabajo

Diseño experimental con CCMs

Para el bioensayo se estableció un diseño experimental completamente al azar. Las variables dependientes fueron: la eficiencia en la degradación del hidrocarburo (Y1) y la resistencia interna (Y2). La variable independiente o factor, fue la concentración del inóculo de *B. altitudinis* (Tabla 1). Los datos fueron evaluados mediante un análisis de varianza y prueba de medias Tukey al 95% de límite de confianza.

Tabla 1. Diseño experimental unifactorial para evaluar la biorremediación en CCM

Factor fijo	Concentración de bacterias en inóculo (UFC/mL)	Repeticiones
B. Altitudinis	34x10 ⁴ ±3	R1, R2, R3
	25x10 ⁴ ±3	R1, R2, R3
	15x10 ⁴ ±2	R1, R2, R3

El análisis de los datos obtenidos se realizó mediante el modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \epsilon_{ji} \quad i = 1, 2, 3... \quad t \quad j = 1, 2, 3... \quad r \quad \dots \quad (\text{Ec. 2})$$

donde: Y_{ij} es la variable respuesta en tratamiento i , repetición j , μ es media general, ϵ_{ji} es efecto del tratamiento i , $\epsilon_{ji} \sim N(0, \sigma^2)$. Los datos obtenidos fueron analizados en el software Rstudio-2024.04.0-735.

Cálculos y mediciones analíticas

Determinación de la población de *B. Altitudinis*

El voltaje se midió continuamente mediante un multímetro (Adir 441) y con base en la curva de polarización la resistencia interna (R_i) se estimó mediante la ecuación 3 obtenida del ajuste lineal de las pérdidas óhmicas [8]. La eficiencia en la degradación de hidrocarburos se determinó por gravimetría y se calculó el porcentaje de degradación con la ecuación 1 [13]. La determinación de fracciones de hidrocarburos se realizó por análisis SARA de acuerdo con la norma ASMT D 2007-11 [17]. La fracción de hidrocarburos recuperada se calculó con las ecuaciones 4, 5 y 6. Y, la cuantificación de la población de *B. Altitudinis* se realizó por el método de siembra por extensión en placa en medio LB [14]. La voltamperometría cíclica (VC) fue utilizada para estudiar el modo de transferencia de

electrones en el ánodo. La VC se midió a una velocidad de barrido de 50 mV/s en el intervalo de -1 a 1 (vs Ag/AgCl). El contra electrodo fue un alambre de platino de 5 cm de largo, el electrodo de trabajo fue una barra de grafito de 5 cm de largo por 5 mm de diámetro y el electrodo de referencia de Ag/AgCl [19].

$$V_{CCM} = V_{VCA} - IR_i \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde, V_{VCA} es voltaje a circuito abierto e I es la intensidad de corriente obtenida bajo la resistencia externa aplicada.

$$\text{Saturados } \%masa \frac{S}{C} * 100 \quad \text{Ec. 4}$$

$$\text{Aromáticos } \%masa \frac{A}{C} * 100 \quad \text{Ec. 5}$$

$$\text{Resinas } \%masa \frac{A}{C} * 100 \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde C son los gramos de la muestra, S son los gramos saturados obtenidos del frasco, A son los gramos de aromáticos obtenidos del frasco y R son los gramos obtenidos del frasco.

Resultados y discusión

Caracterización bioquímica y fisiológica

B. altitudinis mostró resultados positivos a tinción de Gram, actividad catalasa positiva, actividad a lipasas, reducción de nitratos, utilización de citrato, fermentación de glucosa, mannososa, sucrosa y ramnosa. Y, negativa a fermentación de fructosa, maltosa, D-xilosa y trealosa. Así como negativa a oxidasa y ureasa (tabla 1). Estos resultados se compararon con los reportados por Boone y col. [19] del Manual de bacteriología Sistemática de Bergey's. E, indicaron que las colonias de *B. altitudinis* son irregulares con bordes ondulados y planas. Además en cuanto a las reacciones bioquímicas son Gram+ y positivas a: catalasa, nitratos, citratos, fermentación de de glucosa, mannososa, sucrosa y ramnosa.

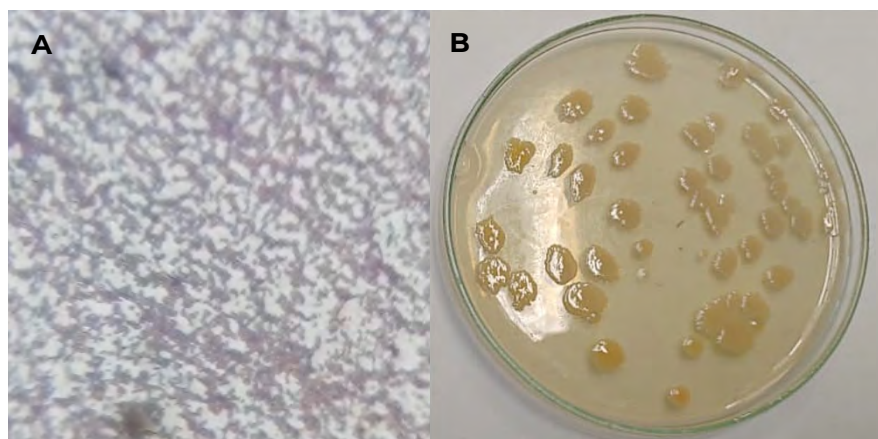


Figura 1. Tinción de Gram+ y colonias de *B. Altitudinis* en la caja petri con medio LB

Tolerancia de utilización de hidrocarburo por *B. altitudinis*

La tolerancia y utilización del hidrocarburo como única fuente de carbono se midió en medio mineral líquido hasta los 30 días. En la figura 2 se muestra que a la concentración de 20000 ppm *B. altitudinis* removió un 45%. Es importante mencionar que en todas las concentraciones se utilizó la misma cantidad de inóculo de *B. altitudinis*. Así que la cepa bacteriana toleró hasta las 20000 ppm que se establecieron en este estudio. Estudios reportados por Liu y col. [20] encontraron que *B. altitudinis* removió 20% de hidrocarburos en un bioreactor para tratamiento de aguas residuales de refinería y Zhao y col. [21] mencionan que las cepas de *Bacillus* como *subtilis* y *altitudinis* se caracterizan por usar el hidrocarburo como fuente de carbono debido a su catabolismo.

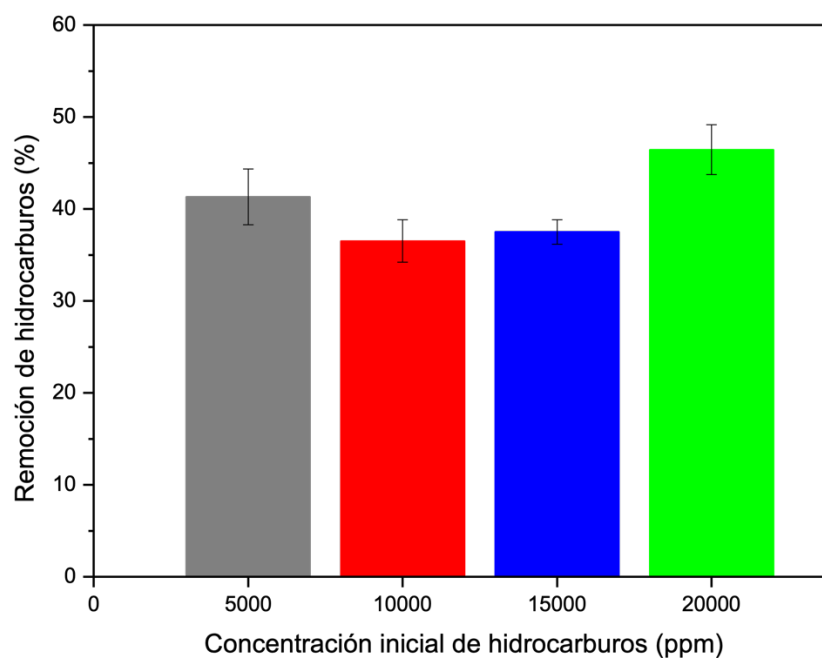


Figura 2. Prueba de tolerancia a la utilización de hidrocarburos en cinco concentraciones con 30 días de incubación

Producción de voltaje en celdas y biomasa electrógena

El crecimiento de los microorganismos en el ánodo es uno de los parámetros cruciales para la estabilización de los compuestos orgánicos y la generación de la electricidad en las CCM. Esto se debe a que el microorganismo forma una biopelícula sobre el ánodo quien capura parte de los electrones generados en el consumo de la fuente de carbono. La figura 3 muestra que la producción de voltaje fue diferente en los tres tratamientos de CCM, alcanzando un voltaje más alto en la CCM_1 con ~ 400 mV con $50 \times 10^5 \pm 3$ UFC/mL con una remoción de hidrocarburos totales del 70%, una remoción de saturados del 69%, 70% de aromáticos y 17% de resinas (Tabla 2). Este comportamiento se debió a la concentración inicial del inóculo en los tratamientos que se relacionó directamente con la producción de voltaje. Al respecto Mohanakrishna y col. [22] reporta voltajes similares (450 a 500 mV) en CCM estimulada para aumentar la eficiencia en la generación de voltaje y por ende la remoción de la materia orgánica que depende de la afinidad del microorganismo por el sustrato.

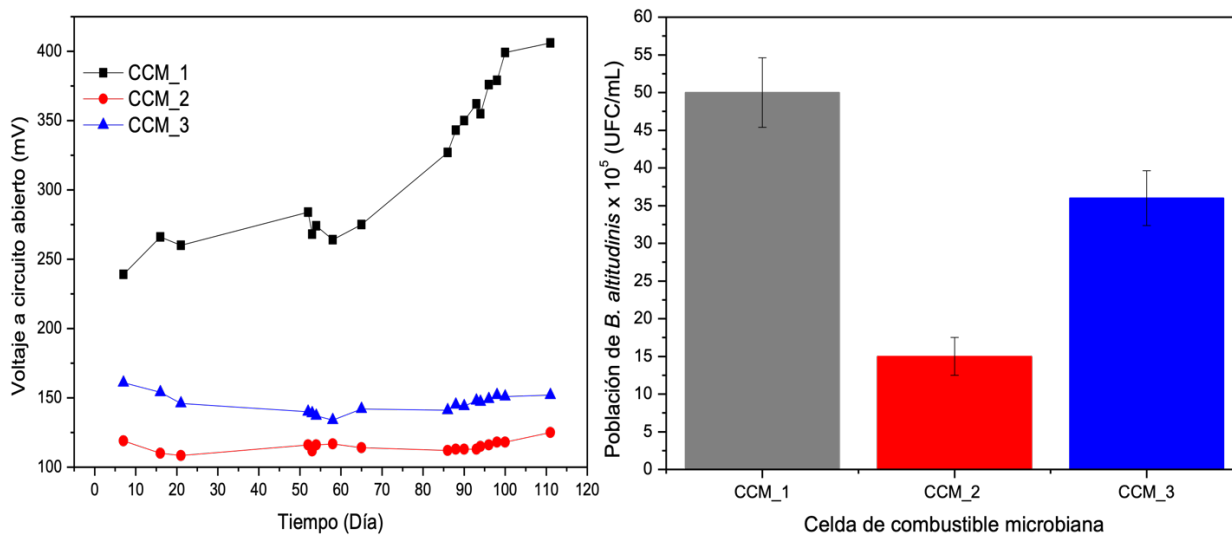


Figura 3. a) Comportamiento del voltaje en celdas de combustible a través del tiempo y b) Población de *B. altitudinis* en día de máximo voltaje

Tabla 2. Concentración inicial y final de hidrocarburos en CCM_1 y porcentaje de remoción de a los 100 días

Concentración inicial	Concentración final	% remoción	Fracción SARA (%)	
			Inicial	Final
20000	57143	70	Saturados: 55.8 Aromáticos: 14.25 Resinas: 0.575 Asfaltenos: 29.1	Saturados: 38.83 Aromáticos: 9.93 Resinas: 0.099 Asfaltenos: 51.14

Resistencia interna de la CCM

La curva de polarización describe el voltaje en función de la corriente y permite estimar la resistencia interna de una CCM. De acuerdo con la ley de Jacobi, la importancia radica en que al combinar la resistencia interna con la resistencia externa se puede lograr la transferencia máxima de potencia de la CCM. La figura 4 muestra que la resistencia interna de la CCM_1 fue de 1511 Ω . Esto indica que es necesario hacer mejoras ya sea en la configuración de la CCM, el material utilizado e incluso el tamaño del inóculo u otras condiciones de operación [23].

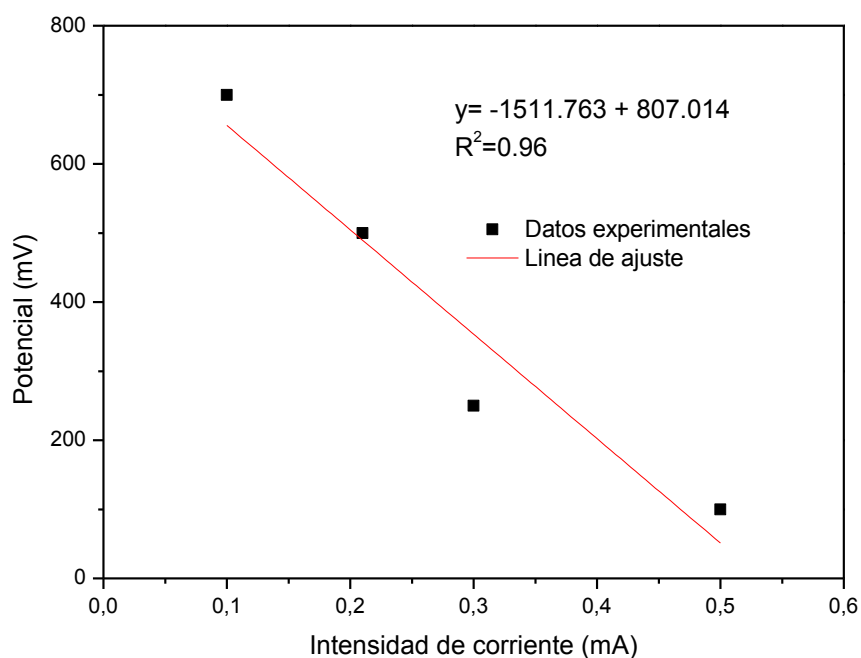


Figura 4. Comportamiento del voltaje en celdas de combustible a través del tiempo

Análisis voltamperométrico

Un voltamperograma cíclico suele contener un barrido inverso y otro directo, que corresponden a las reacciones de reducción y oxidación, respectivamente. En la figura 5 se muestra el rango de potencial aplicado de -1 a 1 V para los tres medios. Los ánodos con biomasa y sobrenadante sin biomasa generaron mayor corriente (5.5 y 4×10^{-4} A, respectivamente) comparado con el voltamperograma del medio fresco esterilizado de 2.2×10^{-4} A. Esto indica la existencia de actividad catalítica redox y la transferencia de electrones hacia el ánodo a través de mediadores o transportadores de electrones. Al respecto, Shen y col. [18] mencionan que las bacterias gram positivas pueden generar metabolitos como surfactantes y enzimas que funcionan como transportadores de electrones.

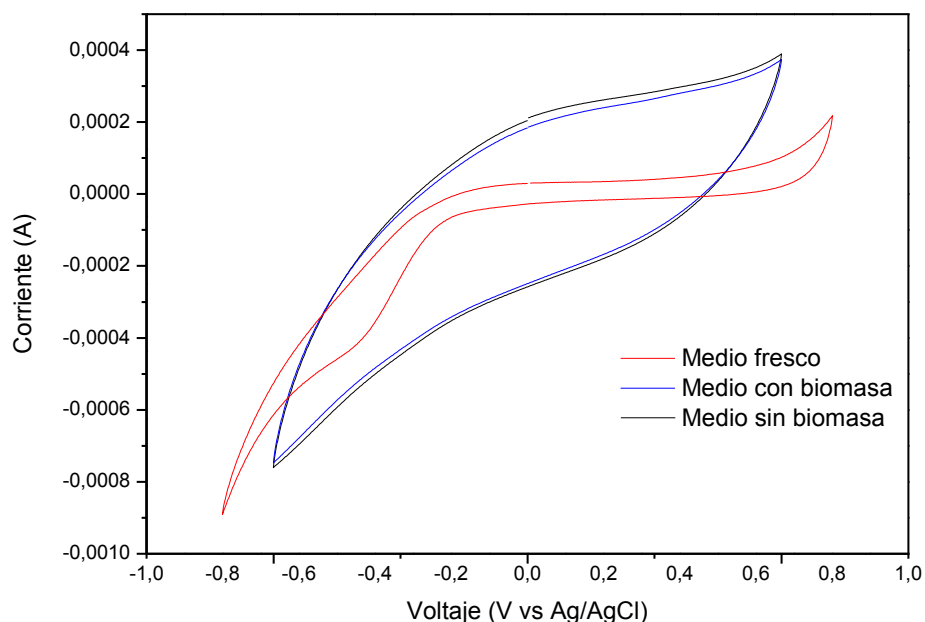


Figura 5. Voltamperograma cíclico de la celda CCM_1

Trabajo a futuro

Mejorar el rendimiento mediante la reducción la resistencia interna de la celda considerando los materiales de electrodos, así como estudiar la cinética del crecimiento de *B. altitudinis* y elucidar que compuestos redox se están produciendo.

Conclusiones

B. altitudinis tiene el potencial electrógeno para remover hidrocarburos saturados, aromáticos y resinas además de generar simultáneamente voltaje utilizando celdas de combustible microbiana de doble cámara. La producción de voltaje depende del tamaño del inóculo y se recomienda adicionar medio fresco para mantener la activa población del electrógeno. Mediante la voltamperométría cíclica se encontró que *B. altitudinis* genera compuestos redox que funcionan como mediadores de electrones.

Agradecimientos

Externo mi agradecimiento por apoyo en diferentes maneras, aunque igualmente apreciado, a mi familia, a la Dr. Yolanda Córdova y a los compañeros del laboratorio de biotecnología.

Referencias

- [1] Y. Cancino-Solórzano, J. P. Paredes-Sánchez, A. J. Gutiérrez-Trashorras, y J. Xiberta-Bernat, «The development of renewable energy resources in the State of Veracruz, Mexico», *Utilities Policy*, vol. 39, pp. 1-4, abr. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2024.136538>.
- [2] T. W. Sleight, C. N. Sexton, G. Mpourmpakis, L. M. Gilbertson, y C. A. Ng, «A Classification Model to Identify Direct-Acting Mutagenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Transformation Products», *Chemical Research In Toxicology*, vol. 34, n.o 11, pp. 2273-2286, oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.1c00187>.
- [3] Ramírez, P. Pemex registra 176 derrames y fugas de alto impacto ambiental de 2018 a 2021, *Causa Natura*. 2021. Recuperado de: <https://causanaturamedia.com/periodismo-cn/pemexregistra-176-derrames-y-fugas-de-alto-impacto-ambiental-de-2018-a-2021> Consultado 15 de octubre de 2024.
- [4] A. V. Botello, L. A. Soto, G. Ponce-Vélez, y S. V. F., «Baseline for PAHs and metals in NW Gulf of Mexico related to the Deepwater Horizon oil spill», *Estuarine, Coastal And Shelf Science*, vol. 156, pp. 124-133, abr. 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.11.010>.
- [5] Z. Liu, J. Liu, Q. Zhu, and W. Wu, "The weathering of oil after the Deepwater Horizon oil spill: insights from the chemical composition of the oil from the sea surface, salt marshes and sediments," *Environmental Research Letters*, vol. 7, no. 3, p. 035302, Sep. 2012, doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/035302>.
- [6] Petróleos Mexicanos (PEMEX), 2023. Unidad de Transparencia. Versión electrónica de los derrames de crudo y fuga de gas en Tabasco durante el periodo de 2013 al 2023.
- [7] C. Munoz-Cupa, Y. Hu, C. Xu, y A. Bassi, «An overview of microbial fuel cell usage in wastewater treatment, resource recovery and energy production», *Science Of The Total Environment*, vol. 754, p. 142429, feb. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142429>.
- [8] B. E. Logan et al., «Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology», *Environmental Science & Technology*, vol. 40, n.o 17, pp. 5181-5192, jul. 2006, doi: <https://doi.org/10.1021/es0605016>.
- [9] K. Zhiyuan, Z. Yongheng, F. Zhimin, Z. Yuancan, Y. Rong, "Mechanism of stable power generation and nitrogen removal in the ANAMMOX-MFC treating low C/N wastewater," *Chemosphere*, vol. 296, p. 133937, June 2022, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133937>
- [10] J. Yang, X. Cao, Y. Sun, G. Yang, W. Yi, "Recovery of microbial fuel cells with high COD molasses wastewater and analysis of the microbial community," *Biomass and Bioenergy*, vol. 161, p. 106450, June 2022, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106450>
- [11] X. Hou et al., "An insight into algicidal characteristics of *Bacillus altitudinis* G3 from dysfunctional photosystem and overproduction of reactive oxygen species," *Chemosphere*, vol. 310, p. 136767, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136767>.
- [12] B. Li et al., "Bacillus altitudinis strain AMCC 101304: a novel potential biocontrol agent for potato common scab," *Biocontrol Science and Technology*, vol. 29, no. 10, pp. 1009-1022, Jul. 2019, doi: <https://doi.org/10.1080/09583157.2019.1641791>.

- [13] E. Farid, E. A. Kamoun, T. H. Taha, A. El-Dissouky, and T. E. Khalil, "Eco-friendly Biodegradation of Hydrocarbons Compounds from Crude Oily Wastewater Using PVA/Alginate/Clay Composite Hydrogels," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 32, no. 1, pp. 225–245, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s10924-023-02991-y>.
- [14] M. T. Madigan, J. M. Martinko, K. S. Bender, D. H. Buckley, y D. A. Stahl, *Brock Biología de los Microorganismos*, 14a ed., Madrid, España: Pearson, 2015.
- [15] Y. Córdova-Bautista, E. Ramírez-Morales, B. Pérez-Hernández, M. E. Ojeda-Morales, J. S. López- Lázaro, and G. Martínez-Pereyra, "Electricity Production and Bioremediation from Synthetic Sugar Industry Wastewater by Using Microbial Isolate in Microbial Fuel Cell," *Sugar Tech*, vol. 22, no. 5, pp. 820–829, May 2020, doi: <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00830-1>.
- [16] S. Madani, R. Gheshlaghi, M. A. Mahdavi, M. Sobhani, and A. Elkamel, "Optimization of the performance of a double-chamber microbial fuel cell through factorial design of experiments and response surface methodology," *Fuel*, vol. 150, pp. 434–440, Jun. 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.02.039>.
- [17] ASTM International, "Standard Test Method for Characteristic Groups in Rubber Extender and Processing Oils and Other Petroleum-Derived Oils by the Clay-Gel Absorption Chromatographic Method," ASTM D2007-11, 2011.
- [18] W. Shen et al., "Improving the power generation performances of Gram-positive electricigens by regulating the peptidoglycan layer with lysozyme," *Environmental Research*, vol. 185, p. 109463, Jun. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109463>.
- [19] D. R. Boone and G. Garrity, *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology: Volume 3: The Firmicutes*. Springer Science & Business Media, 2001.
- [20] B. Liu et al., "Polyurethane nanofiber membranes immobilized with *Bacillus altitudinis* LS-1 for bioremediation of diesel-contaminated wastewater," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 180, pp. 883–892, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.10.060>.
- [21] F. Zhao, H. Zhu, Q. Cui, B. Wang, H. Su, and Y. Zhang, "Anaerobic production of surfactin by a new *Bacillus subtilis* isolate and the in situ emulsification and viscosity reduction effect towards enhanced oil recovery applications," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 201, p. 108508, Jun. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.108508>.
- [22] G. Mohanakrishna, I. M. Abu-Reesh, S. Kondaveeti, R. I. Al-Raoush, and Z. He, "Enhanced treatment of petroleum refinery wastewater by short-term applied voltage in single chamber microbial fuel cell," *Bioresource Technology*, vol. 253, pp. 16–21, Apr. 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.005>.
- [23] K. Lawson, R. Rossi, J. M. Regan, and B. E. Logan, "Impact of cathodic electron acceptor on microbial fuel cell internal resistance," *Bioresource Technology*, vol. 316, p. 123919, Nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123919>.

ANÁLISIS DE DATOS MEDIANTE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA CAMPAÑAS DIGITALES DE UNA COMPAÑÍA INMOBILIARIA

Mireles Jiménez Gilberto^{1*}, Escalante Euán Jesús Francisco¹, Chan Pavón Miriam Victoria¹, Santos Flores Jorge¹ ¹ Universidad Autónoma de Yucatán, www.fiq@correo.uady.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

En esta investigación se implementó una selección de herramientas estadísticas avanzadas con el fin de identificar los perfiles de clientes potenciales de una compañía inmobiliaria. Se empleó el enfoque CRISP-DM junto con modelos de regresión y técnicas de agrupamiento para modelar y predecir el comportamiento de los clientes, considerando un conjunto de variables de interés. Los resultados obtenidos revelan evidencia significativa respecto a las contribuciones iniciales en el proceso de compra-venta. Esto permite establecer estrategias para personalizar campañas publicitarias y mejorar la toma de decisiones.

Palabras clave: *Análisis de Datos, Perfiles de Clientes, CRISP-DM, Segmentación de Mercado.*

Abstract

This research implemented a selection of advanced statistical tools to identify potential customer profiles for a real estate company. The CRISP-DM approach was employed along with regression models and clustering techniques to model and predict customer behavior, based on a set of relevant variables. The results obtained reveal significant evidence regarding initial contributions in the buying-selling process. This allows for the establishment of strategies to personalize advertising campaigns and enhance decision-making.

Key words: *Data Analysis, Customer Profiling, CRISP-DM, Market Segmentation.*

Introducción

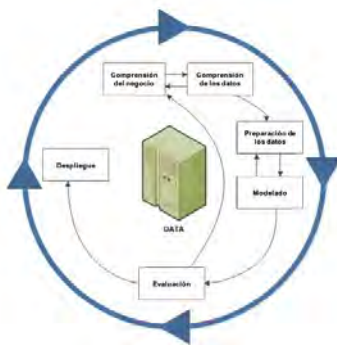
En la era actual, caracterizada por la digitalización y la acumulación masiva de datos, las empresas inmobiliarias enfrentan el desafío de adaptarse a las dinámicas cambiantes del mercado y a las expectativas de los consumidores. El análisis de datos se ha convertido en una herramienta indispensable, permitiendo una mejor comprensión de las necesidades y comportamientos de los clientes y optimizando las estrategias de marketing digital. Estudios recientes demuestran que la adopción de Big Data Analytics impacta de manera positiva en el rendimiento empresarial y en el conocimiento del comportamiento del consumidor, facilitando una toma de decisiones estratégica y bien informada, especialmente en pequeñas y medianas empresas [1]. Este estudio se centra en la aplicación de técnicas avanzadas de análisis de datos para identificar perfiles de clientes potenciales en una compañía inmobiliaria, empleando el modelo CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining). Este modelo, según la documentación de IBM, ofrece un ciclo estructurado de minería de datos, favoreciendo la extracción de conocimiento a partir de grandes volúmenes de datos. A través de esta metodología, se busca mejorar la efectividad de las campañas de marketing y contribuir al desarrollo de estrategias comerciales más eficientes y personalizadas, promoviendo la satisfacción y fidelidad del cliente.

Metodología

El análisis sigue la metodología CRISP-DM, ampliamente reconocida como estándar en proyectos de minería de datos, la cual se compone de seis fases críticas: entendimiento del negocio, entendimiento de los datos,

preparación de los datos, modelado, evaluación y despliegue. Este enfoque, según la documentación de IBM, proporciona un marco estructurado y eficaz para la minería de datos [2]. Además, investigaciones como la de Montalvo García han demostrado que CRISP-DM puede adaptarse a diferentes sectores, incluyendo pequeñas y medianas empresas, a través de variantes como CRISP-DM/SMEs, que ofrecen simplicidad, flexibilidad y bajo costo de implementación, lo que valida aún más su aplicabilidad en el sector inmobiliario [3]. Las herramientas tecnológicas avanzadas, como el software R, se emplearon para el análisis y procesamiento de datos estadísticos. Las técnicas de modelado predictivo y clustering permitieron la identificación de patrones y segmentos de clientes, mientras que las visualizaciones gráficas facilitaron la interpretación de los resultados, ayudando en la comprensión de tendencias y relaciones complejas entre las variables.

Minería de datos (Modelo CRISP-DM)



(IBM, 2021)

Preparación

Los datos fueron limpiados y preprocesados para garantizar su calidad y precisión, un paso crucial según Espinosa-Zúñiga (2020) en la aplicación de la metodología CRISP-DM para la segmentación geográfica de datos. Este proceso incluyó la eliminación de registros duplicados o incompletos y la normalización de las variables para facilitar la comparación y análisis, además de la transformación de datos categóricos en formatos numéricos adecuados para los análisis posteriores [4].

Desarrollo

La recolección de datos se realizó a través de fuentes internas de la empresa, incluyendo bases de datos de ventas y marketing, y registros de interacciones con clientes. Los datos recolectados abarcaron variables como enganches, mensualidades, tiempo de inversión, conocimiento de Yucatán y propósitos de compra de propiedad. La preparación de los datos implicó la limpieza de datos incompletos o incorrectos, la transformación de variables para su análisis y la normalización de datos para facilitar las comparaciones y el análisis. Se aseguró la calidad y la relevancia de los datos mediante la verificación de su precisión y la actualización periódica de los mismos.

El análisis de correlación se utilizó para identificar y evaluar las relaciones entre las variables financieras significativas, como el enganche, la mensualidad y el tiempo de inversión, tal como sugiere Cheng y Chen (2009) en su estudio sobre la segmentación del valor del cliente. Mediante el uso de gráficos de correlación y cálculos de coeficientes de correlación de Pearson, se determinó la fuerza y dirección de estas relaciones, proporcionando una base sólida para el modelado predictivo posterior. Los resultados del análisis mostraron correlaciones positivas entre el enganche y la mensualidad, sugiriendo que mayores enganches están asociados con mayores mensualidades, lo cual es consistente con las expectativas del mercado inmobiliario [5].

Justificación de la Selección de Variables

Para garantizar la relevancia y la significancia de las variables incluidas en el modelo de regresión utilizado en este análisis, se implementaron métodos estadísticos rigurosos. El principal método utilizado fue el Análisis de Varianza (ANOVA), que permitió evaluar la contribución de cada variable al modelo en relación con la variable dependiente 'Mensualidad'.

El resultado del análisis ANOVA reveló que la variable 'Enganche' es estadísticamente significativa con un valor F de 69.3953 y un p-valor menor a 0.001, indicando una fuerte influencia en la predicción de la mensualidad (ver Tabla 1). Las variables 'Tiempo_inversion' y 'Tiempo_Construir_Vivir', aunque no alcanzaron significancia estadística en este modelo, fueron consideradas en el análisis debido a su relevancia conceptual y la presencia de una correlación positiva moderada entre ellas, como se observa en la matriz de correlación, lo que sugiere una interacción posible que podría ser crucial en un contexto más amplio del comportamiento del consumidor.

```
> print(anova_result)
Analysis of Variance Table

Response: Mensualidad
Df      Sum Sq   Mean Sq F value Pr(>F)
Enganche      1 1.7734e+10 1.7734e+10 69.3953 4.756e-16 ***
Tiempo_inversion      1 8.7294e+07 8.7294e+07  0.3416  0.5591
Tiempo_Construir_Vivir      1 1.5244e+08 1.5244e+08  0.5965  0.4402
Residuals      652 1.6662e+11 2.5555e+08
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla 1. Tabla de Análisis de Varianza

La matriz de correlación proporciona una visualización clara de las relaciones entre las variables analizadas. Este análisis destaca la asociación significativa entre 'Enganche' y 'Mensualidad', junto con otras interacciones potenciales que podrían influir en decisiones de inversión y preferencias de los clientes.

La combinación de estos enfoques cuantitativos robustece el proceso de selección de variables, asegurando que las decisiones basadas en estos datos reflejan con precisión las dinámicas del mercado y son apoyadas por una metodología estadísticamente validada.

1.1 MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

Se desarrolló un modelo de regresión lineal múltiple con el objetivo de predecir la mensualidad en función de variables independientes significativas identificadas previamente en el análisis de correlación. El modelo incorpora términos de interacción para evaluar efectos combinados, como los del conocimiento sobre Yucatán y el enganche inicial. La evaluación del modelo incluyó la interpretación de coeficientes, análisis de significancia estadística y diagnóstico de residuos, confirmando la adecuación del modelo. Este modelo reveló cómo distintos factores influyen en la mensualidad, facilitando decisiones informadas en estrategias de precios y marketing.

Detalles del Modelo de Regresión Lineal Múltiple y sus Coeficientes

El modelo de regresión lineal múltiple que se empleó en este análisis busca predecir la variable 'Mensualidad' en función de diversas variables independientes. La ecuación del modelo se representa de la siguiente manera utilizando el editor de ecuaciones:

$$\text{Mensualidad} = \beta_0 + \beta_1(\text{Enganche}) + \beta_2(\text{Tiempo de inversión}) + \beta_3(\text{Tiempo para Construir o Vivir}) + \epsilon$$

donde β_0 es el intercepto, β_1, β_2 , y β_3 son los coeficientes de las variables independientes, y ϵ es el término de error.

Este modelo incorpora:

- **Intercepto (β_0):** Representa la mensualidad base cuando todas las variables independientes son cero.
- **Enganche (β_1):** Este coeficiente muestra un impacto directamente proporcional sobre la mensualidad, sugiriendo que un mayor enganche se asocia con una mayor mensualidad.
- **Tiempo de Inversión (β_2) y Tiempo para Construir o Vivir (β_3):** Aunque sus coeficientes son menores, proporcionan información valiosa sobre cómo los tiempos relacionados con la inversión afectan las decisiones financieras.

Para asegurar la validez del modelo, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) que confirmó que el Enganche es una variable predictor significativa, mientras que las otras variables requieren una revisión más detallada o la recolección de más datos para establecer efectos claros.

1.2 ANÁLISIS DE CLUSTERING

Utilizando técnicas de clustering, específicamente el método K-means, se segmentaron los clientes en grupos distintos basados en sus características financieras y preferencias de inversión. La elección del método K-means se fundamenta en su eficacia reconocida para identificar agrupaciones naturales dentro de grandes conjuntos de datos, según se discute en la obra de Kaufman y Rousseeuw [6]. Se determinó el número óptimo de clusters a través del método del codo y se analizaron los centroides de cada cluster para entender las características comunes dentro de cada grupo. Este análisis ayudó a identificar segmentos de clientes con necesidades y comportamientos similares, lo que permitirá a la empresa dirigir sus esfuerzos de marketing de manera más efectiva y personalizada hacia cada segmento.

Conexión entre el Modelo de Regresión y el Análisis de Clustering

El análisis de clustering se utilizó para identificar grupos homogéneos de clientes basándose en características similares, incluyendo las variables utilizadas en el modelo de regresión. Esta segmentación permitió entender mejor cómo las características de los clientes influyen en la mensualidad y ofreció una validación práctica de los perfiles de clientes identificados a través del modelo de regresión.

- Cada cluster identificado posee características únicas que se alinean con patrones específicos en las predicciones del modelo de regresión. Por ejemplo, clusters con altos valores de enganche generalmente mostraron mayores mensualidades, corroborando la relación establecida por el modelo de regresión.
- La integración de estos métodos proporciona una comprensión más rica y matizada de cómo diferentes segmentos de clientes interactúan con las variables financieras, lo que permite una planificación y targeting más efectivo en campañas y productos.

Este enfoque metodológico dual, combinando regresión y clustering, no solo refuerza la robustez de nuestros hallazgos, sino que también mejora la capacidad de la empresa para implementar estrategias diferenciadas basadas en datos concretos y análisis estadístico riguroso.

Resultados y discusión

El análisis de los datos reveló hallazgos clave sobre el comportamiento de los clientes y las dinámicas del mercado inmobiliario. En el análisis de correlación, se confirmó una correlación positiva entre el enganche y la mensualidad, sugiriendo que los clientes dispuestos a realizar un enganche elevado también tienden a aceptar mensualidades más altas, lo cual puede estar relacionado con un interés en propiedades de mayor valor. Asimismo, el modelo

de regresión lineal múltiple proporcionó una herramienta predictiva robusta, identificando el enganche y el conocimiento sobre Yucatán como factores influyentes en las decisiones de compra. La segmentación de clientes, lograda mediante el análisis de clustering, permitió identificar cuatro perfiles diferenciados de clientes, cada uno con características y necesidades financieras particulares, lo que facilita la creación de ofertas personalizadas y comunicaciones dirigidas.

Diversas visualizaciones gráficas facilitaron la interpretación de los resultados. Entre estas, los mapas de calor de correlación resaltaron las interrelaciones significativas entre las variables, permitiendo una evaluación detallada de las dinámicas entre el enganche, la mensualidad y otras variables demográficas y financieras. Los gráficos de dispersión con líneas de regresión y los diagramas de caja también contribuyeron a clarificar la relación entre variables como el enganche y la mensualidad, proporcionando una representación visual clara de la distribución y las tendencias.

Mapas de calor de correlación: que destacan las fuertes interrelaciones entre las variables consideradas.

Los mapas de calor de correlación, como el que se muestra en el Gráfico 1, son herramientas visuales cruciales para identificar y evaluar las interrelaciones entre diversas variables financieras y demográficas en nuestro estudio. En este gráfico específico, se destaca la matriz de correlación que exhibe las interacciones entre variables como el 'Enganche', la 'Mensualidad', 'Tiempo_inversion', y 'X.Conoces.Yucatán.', entre otras.

El valor de correlación de 0.33 entre 'Tiempo_inversion' y 'Tiempo_Construir_Vivir' sugiere una relación moderadamente positiva, indicando que a medida que el tiempo de inversión aumenta, también lo hace el tiempo estimado para construir o vivir, lo cual puede reflejar la planificación a largo plazo de los inversores en propiedades. Por otro lado, una correlación positiva de 0.17 entre 'Enganche' y 'Mensualidad' demuestra que los clientes que optan por un enganche más alto tienden a aceptar una mayor mensualidad, lo que podría indicar una disposición a invertir en propiedades de mayor valor.

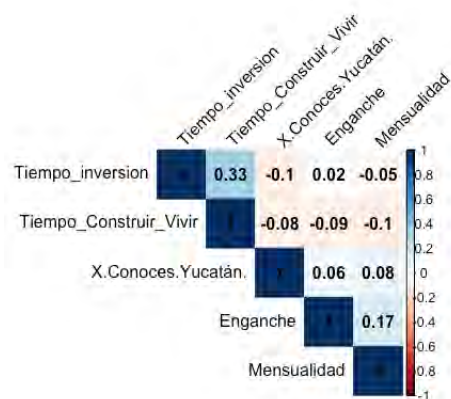


Gráfico 1. Matriz de Correlación que muestra la relación entre 'Enganche' y 'Mensualidad'.

Correlaciones Observadas:

- *Tiempo_inversion* y *Tiempo_Construir_Vivir*
Correlación positiva (0.33)
- *Enganche* y *Mensualidad*
Correlación positiva (0.17)

El análisis reveló que variables como el enganche y el conocimiento sobre Yucatán influyen significativamente en las decisiones de compra. Esto concuerda con hallazgos previos, como los de Chacaltana Espinoza, quien identifica que ciertos atributos, en particular la sostenibilidad y eficiencia en el uso de recursos, son prioritarios para los clientes y determinan su interés en productos inmobiliarios. Esta relación directa entre atributos específicos y la decisión de compra destaca la importancia de comprender los factores que los clientes valoran más en el mercado inmobiliario [7]. De manera similar, este estudio identifica variables clave que pueden guiar la segmentación y personalización de campañas en el sector inmobiliario.

Boxplot de Variable Mensualidad por variable “¿Conoces Yucatán?”

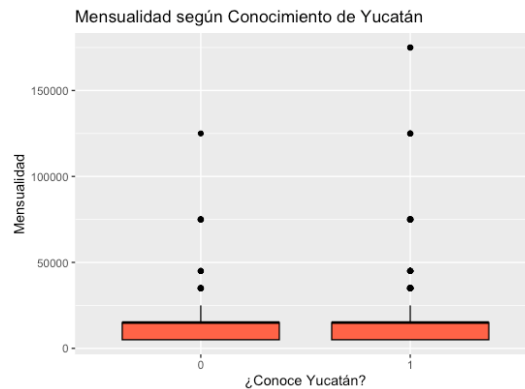


Gráfico 2. Boxplot de Variable Mensualidad por variable “Conoces Yucatán”

El presente gráfico nos ayuda a entender si el conocimiento regional puede ser un factor para considerar en campañas de marketing o estrategias de venta.

Gráficos de dispersión con líneas de regresión: que muestran la relación lineal entre variables como el enganche y la mensualidad.

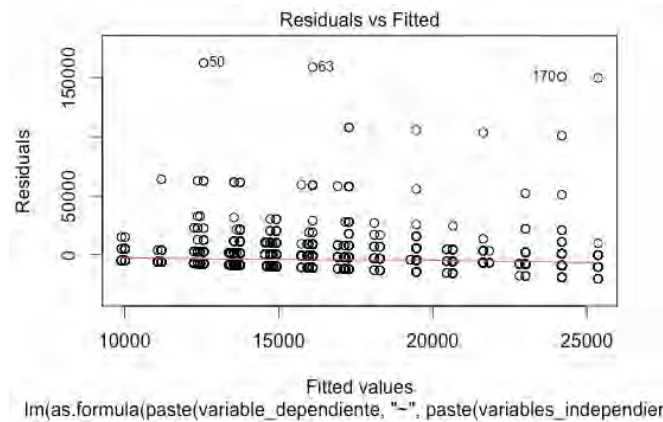


Gráfico 3. Gráfico de Coeficientes de Residuales

En este gráfico, se observa que la mayoría de los residuales están agrupados alrededor de cero y no muestran patrones claros de curvatura o agrupamiento, lo cual es un buen indicativo de que el modelo generalmente se ajusta bien a los datos.

El gráfico de residuos muestra una leve tendencia de mayor dispersión en valores ajustados altos (mayores a 15,000), lo cual podría sugerir que el modelo no ajusta adecuadamente los valores más elevados o que existe heterocedasticidad (varianza no constante de los errores). Este hallazgo resalta la importancia de considerar una transformación de los datos o el uso de un modelo robusto en investigaciones futuras para mejorar la adecuación del modelo.

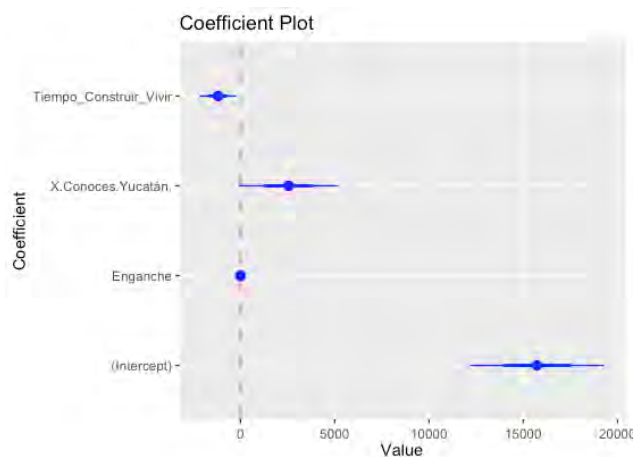


Gráfico 4. Gráfico de Coeficientes del modelo

El "Gráfico de Coeficientes" muestra la magnitud y la incertidumbre asociada a los coeficientes del modelo de regresión lineal utilizado para predecir la mensualidad en función de diferentes variables.

Histogramas y diagramas de caja: que ofrecen una vista detallada de la distribución de las variables y los clusters de clientes.

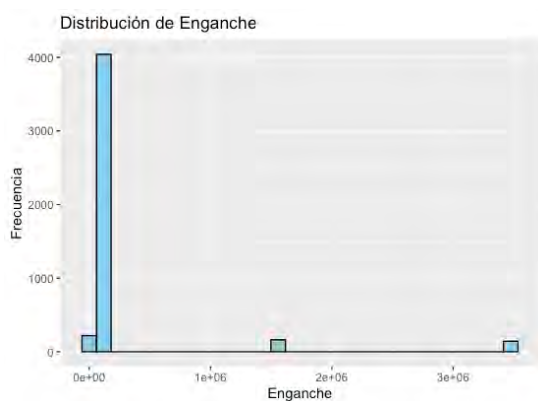


Gráfico 5. Histograma de Distribución de Enganche

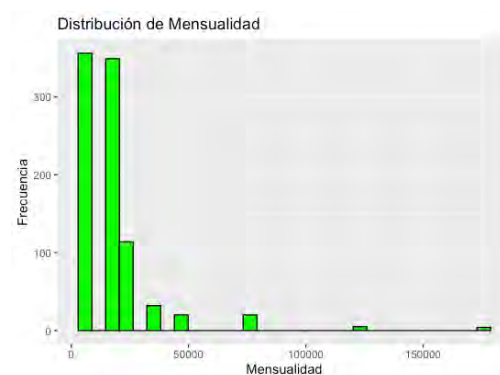


Gráfico 6. Histograma de Distribución de Mensualidad

La segmentación de clientes mediante análisis de clustering permitió identificar cuatro perfiles diferenciados, cada uno con características y necesidades financieras particulares. Estos segmentos facilitan la creación de ofertas personalizadas y comunicaciones dirigidas. La literatura apoya esta metodología; Benslama y Jallouli destacan cómo el clustering, aplicado a datos no estructurados de redes sociales, proporciona una clasificación efectiva que apoya la toma de decisiones en marketing y permite extraer conocimientos útiles de grandes volúmenes de datos [8].

Tabla de descripción de Clusters

Variables	Cluster 1 (Inversores Moderados)	Cluster 2 (Altos Inversores Inmobiliarios)	Cluster 3 (Inversores Premium)	Cluster 4 (Inversores Iniciales)
Miembros	389	161	137	213
Enganche promedio	\$75,000	\$1,500,000	\$3,500,000	\$25,000
Mensualidad promedio	\$18,136	\$17,049	\$23,394	\$8,000
Tiempo de inversión promedio	4.5 meses	4.7 meses	4.5 meses	4.4 meses
Conocimiento de Yucatán	69% conocen Yucatán	71% conocen Yucatán	74% conocen Yucatán	60% conocen Yucatán
Tiempo estimado para construir o vivir	2.6 años	2.6 años	2.4 años	2.9 años
Características Principales	Este cluster agrupa a clientes con inversiones moderadas y un conocimiento considerable sobre Yucatán, preferentemente para proyectos a mediano plazo.	Este grupo se caracteriza por altos montos de enganche, indicando un segmento de mercado de alto valor con una estabilidad financiera significativa y una rápida rotación de inversión.	Este es el cluster con los enganches y mensualidades más altas, reflejando un segmento de mercado exclusivo interesado en propiedades de lujo y/o inversiones rápidas.	Representa a los clientes con el enganche más bajo y la mensualidad más baja, ideal para aquellos que buscan opciones de inversión accesibles o son nuevos en el mercado inmobiliario.

Tabla 2. Tabla de descripción de clusters

De manera similar, Piedra Paravicino muestra que el clustering permite no solo la creación de perfiles únicos, sino también la personalización de estrategias en el sector inmobiliario, adaptando la comunicación y las ofertas a las necesidades de cada grupo [9]. Este enfoque permite a las empresas inmobiliarias optimizar sus campañas y mejorar la efectividad en la captación de clientes, alineándose con las necesidades particulares de cada segmento identificado en este estudio.

Diagrama de Cajas

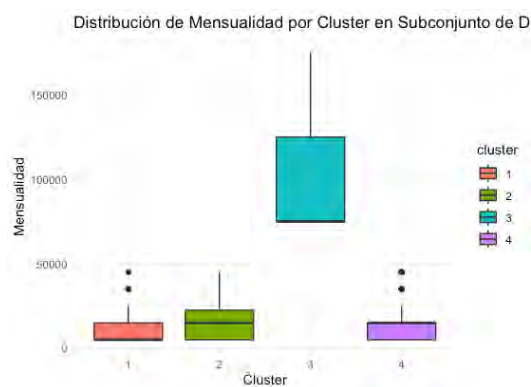


Gráfico 7. Diagrama de cajas de distribución de mensualidad por cluster

Según RPubS, esta gráfica muestra cómo la mensualidad varía entre los diferentes clusters identificados en el análisis. Cada caja representa la distribución de la mensualidad dentro de un cluster, proporcionando una visualización clara de la mediana, los cuartiles y los valores atípicos [10].

Estas visualizaciones no solo complementan la discusión textual de los resultados sino que también proporcionan una forma clara y concisa de demostrar las tendencias, patrones y anomalías en los datos.

Trabajo a futuro

Es esencial continuar con la investigación para integrar modelos predictivos más complejos y explorar el impacto de nuevas variables que podrían influir en la dinámica del mercado, como las tendencias económicas globales o los cambios demográficos. El futuro del análisis de datos en el sector inmobiliario promete ser aún más integral, combinando métodos tradicionales con innovaciones tecnológicas como el aprendizaje automático y la inteligencia artificial para refinar aún más las estrategias de negocio y marketing.

Conclusiones

El análisis realizado identifica relaciones significativas entre variables financieras y preferencias de clientes en el sector inmobiliario. Tanto el enganche como la mensualidad se confirmaron como predictores relevantes de interés en propiedades, mientras que el análisis de clustering logró segmentar a los clientes en grupos con diferentes capacidades y preferencias financieras. Estos hallazgos validan el uso de técnicas de minería de datos para una comprensión más profunda del comportamiento del cliente en el mercado inmobiliario.

Con base en los resultados, se recomienda a la compañía inmobiliaria:

- Implementar estrategias de marketing diferenciadas para cada cluster identificado, maximizando la relevancia de las comunicaciones y ofertas.
- Ajustar las condiciones de financiamiento y los precios de las propiedades en función de las capacidades financieras y preferencias de cada segmento, mejorando la tasa de conversión.
- Utilizar los resultados del modelo de regresión para anticipar la demanda de propiedades según las condiciones financieras del mercado, ajustando las estrategias operativas y comerciales en consecuencia.

Referencias

[1] L. M. H. Pérez y J. M. Pérez, "Adopción de Big Data Analytics en las PyMEs," *Investigación Administrativa*, vol. 53, no. 134, pp. 1-21, 2024.

[2] IBM Documentation, "CRISP-DM Help Overview," IBM, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=dm-crisp-help-overview>.

[3] J. F. Montalvo García, "CRISP-DM/SMES: una metodología de proyectos de analítica de datos para las PYME," *Revista de Ciencia y Tecnología*, 2021.

[4] Espinosa-Zúñiga, J. J. (2020). Aplicación de metodología CRISP-DM para segmentación geográfica de una base de datos pública. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 21.

[5] Cheng, C.-H, y Chen, Y.-S, "Classifying the segmentation of customer value via RFM model and RS theory," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 3, pp. 4176-4184, 2009, doi:10.1016/j.eswa.2008.04.003.

[6] Kaufman, L., y Rousseeuw, P. J., "Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis," John Wiley & Sons, 2009.

- [7] I. G. Chacaltana Espinoza, "Identificación de atributos del producto inmobiliario que influyen en la decisión de compra de vivienda en Lima Metropolitana: aplicación de la herramienta a un caso," Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12404/9279>
- [8] T. Benslama y R. Jallouli, "Clustering of Social Media Data and Marketing Decisions," en Digital Economy. Emerging Technologies and Business Innovation, ICDEc 2020, Lecture Notes in Business Information Processing, vol. 395, pp. 53–65, dic. 2020.
- [9] C. A. Piedra Paravicino, "Segmentación de clientes potenciales del sector inmobiliario en Lima Metropolitana," Pontificia Universidad Católica del Perú, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12404/11783>
- [10] R. Delgado, "Introducción a los Modelos de Agrupamiento en R," RPubS, s.f.-b. [En línea]. Disponible en: <https://rpubs.com/rdelgado/399475>.

RESTAURACIÓN BIOLÓGICA DE UN SUELO CONTAMINADO CON PETRÓLEO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN HONGO PETROFÍLICO PRODUCTORES DE BIOSURFACTANTE

López-Pérez, Perla¹, Ojeda-Morales, Marcia E.^{1*}, Hernández-Rivera, Miguel A.¹, Gómez-Jiménez, Sulma G.¹, Córdova-Bautista, Yolanda¹

¹División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Laboratorio de Biotecnología, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez Kilómetro 1, La Esmeralda, C. P. 86690, Cunduacán, Tabasco, México

*marcia.ojeda@ujat.mx

Área de participación: **Ingeniería Química**

Resumen

El petróleo es la base de la economía de numerosos países, su producción se localiza principalmente en el Golfo de México, siendo el territorio tabasqueño el más importante. Aunado a su producción están los siniestros ambientales. Para minimizar su impacto se han realizado estudios con base en microorganismos petrofílicos, siendo las cepas fúngicas los menos estudiados. Por lo tanto, en esta investigación fue evaluado un hongo petrofílico, con la facultad de sintetizar biosurfactantes para optimizar una biorremediación. En condiciones *in-vitro*, se caracterizó un petróleo de la región con base en NOM-016-CRE-2016, y mediante una batería de técnicas analíticas como: método de agar base-sangre, gota colapsada, índice y capacidad de emulsión, se evaluó la producción de biosurfactantes. Los resultados evidenciaron que el *Aspergillus sp* degradó el 61% del petróleo en un suelo vertisol durante 9 semanas, mientras que, la máxima producción de biosurfactante fue al tercer día de establecer el experimento.

Palabras clave: *Aspergillus*, biorremediación, biosurfactante, petróleo.

Abstract

Oil is the basis of the economy of many countries, its production is mainly located in the Gulf of Mexico, with the Tabasco territory being the most important. In addition to its production, there are environmental disasters. To minimize its impact, studies have been carried out based on petrophilic microorganisms, with fungal strains being the least studied. Therefore, in this research, a petrophilic fungus was evaluated, with the ability to synthesize surfactants to optimize bioremediation. Under *in-vitro* conditions, an oil from the region based on NOM-016-CRE-2016 was characterized, and by means of a battery of analytical techniques such as: blood-based agar method, collapsed drop, index and emulsion capacity, the production of biosurfactants was evaluated. The results showed that *Aspergillus sp* degraded 61% of the oil in a vertisol soil for 9 weeks, while the maximum production of biosurfactant was on the third day of establishing the experiment.

Key words: *Aspergillus*, bioremediation, biosurfactant, petroleum.

Introducción

Los estados de Tabasco y Campeche se convirtieron en importantes productores de petróleo en México, en los cuales se descubrieron grandes yacimientos de crudo que fortalecieron la producción de petróleo de la empresa paraestatal Petróleos Mexicanos (PEMEX), convirtiendo temporalmente

al territorio mexicano en uno de los mayores productores y exportadores a nivel mundial entre los años 60´s y 80´s [1].

Los campos petroleros con mayor capacidad de producción se localizan en el Golfo de México y en parte del litoral. Sin embargo, en tierra, las principales zonas productoras se encuentran ubicadas en el sureste del país, especialmente en territorio tabasqueño [2]. Derivado de la explotación, transporte y procesamiento del petróleo y sus derivados, las actividades de este sector se encuentran relacionadas con impactos negativos sobre el medio ambiente, y esto ha provocado contaminación en cuerpos de agua y en suelos [3]. Así como, la salud y la economía de los campesinos y agricultores que viven de estas actividades primarias [4].

Debido a los daños que provoca la contaminación del petróleo, se han desarrollado diversos métodos para tratar estos contaminantes, los cuales pueden ser físicos, químicos, fisicoquímicos y biológicos [5] [2]. Los tratamientos biológicos se basan en el uso de ciertos microorganismos (bacterias y hongos) capaces de degradar al petróleo, al utilizarlos como fuente de energía [6], muchas veces el petróleo no se encuentra biodisponible, para facilitar la disponibilidad del petróleo entrampado entre los microporos del suelo, es necesario investigar microorganismos capaces de producir sustancias biosurfactantes, que reduzcan la tensión superficial y modifiquen la mojabilidad del suelo facilitando su separación. Los biosurfactantes son compuestos no tóxicos y amigables con el medioambiente, dado que, son compuestos biodegradables [7]. La elección del biosurfactante para la biorremediación de suelos contaminados con petróleo debe tener en cuenta las características del suelo a tratar, las propiedades del propio biosurfactante, así como también, a los microorganismos degradadores de petróleo [8]. Se ha reportado [9] que ciertos hongos, como los hongos del género *Aspergillus sp* y *Monocillium sp* poseen la capacidad de degradar hidrocarburos del petróleo en suelos y agua [10] e incluso que remedian un suelo contaminado con petróleo hasta un 80% más rápido y moléculas más pesadas (C₂₀≥), por lo que, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la producción de un biosurfactante producido por una cepa fúngica petrofílica con potencial aplicación en la remediación de suelos contaminados con petróleo.

Metodología

Obtención de la muestra

El petróleo crudo se obtuvo de la batería de separación del Campo Giraldas, propiedad de Petróleos Mexicanos (PEMEX), y ubicada en el poblado San Manuel, Huimanguillo, Tabasco.

Caracterización del petróleo crudo

Las propiedades determinadas fueron con base en [11]. Densidad API y gravedad específica (método ASTM D5002-19) empleando un densímetro digital de tubo oscilante DMA 4100M, marca Anton Paar, mientras que, para la determinación del azufre total se aplicó el método ASTM 5453-19a mediante un espectrómetro fluorescente con analizador automático para análisis de azufre total modelo NSX-2100V (Configuración de azufre con detector SD-210) marca Mitsubishi Chemical Analytech.

Etapas 1. Aislamiento de cepas fúngicas

Para la reproducción y crecimiento de hongos filamentosos presentes en el petróleo, una muestra de 100 µL se colocó en cajas de Petri con agar papa dextrosa (PDA) previamente esterilizado (16 psig, 15 min) [12]. El petróleo fue extendido por toda la placa en condiciones axénicas con apoyo de un asa drigalski; las cajas de Petri inoculadas se depositaron en una estufa de cultivo marca Thermo scientific a 60 °C durante 5 d hasta la expresión de las colonias fúngicas.

Etapas 2. Identificación de hongos petrofilicos

Para comprobar que los hongos expresados en PDA eran capaces de degradar petróleo, se utilizaron dos técnicas a) Método de papel filtro impregnado con petróleo. Para esto, se preparó un volumen de 250 mL de agar-agar, y se esterilizó en calor húmedo (16 psig, 15 min). El medio estéril fue vertido en cajas Petri, y una vez solidificado; en el centro de la caja se colocó un cuadrado de 2x2 cm de papel filtro poro medio e impregnado con petróleo crudo estéril. Posteriormente, con ayuda de un sacabocado, se extrajo una rodaja (1 ± 0.1 cm) de cada hongo en el PDA, y se colocó en el centro del papel filtro [13]. Las cajas Petri fueron llevadas a incubación en una estufa de cultivo marca Thermo scientific [14] hasta la expresión los posibles hongos petrofilicos. b) Degradación de petróleo en suelo. Para cuantificar el hidrocarburo degradado, y en condiciones de laboratorio; un suelo tipo vertisol [15] se procesó de acuerdo con [3] y contaminó a 50,000 ppm con petróleo crudo (Tabla 1). Posteriormente, en condiciones estériles, las unidades experimentales fueron inoculadas con caldo que contenía las cepas fúngicas seleccionadas del método del papel filtro. Una muestra de 20 g del suelo contaminado fue sustraída cada 72 h y analizada con base en [16]; esto con el objetivo de determinar la remoción de hidrocarburos de fracción pesada (HFP). El bioensayo se estableció por 6 d.

Evaluación de características microscópicas y macroscópicas de las UFC fúngicas

Tinción de cepas fúngicas.

La técnica de microcultivo se utilizó para la identificación de las estructuras filamentosas de las UFC sobrevivientes de la etapa 1. El procedimiento utilizado fue con base en lo reportado por [12]. En condiciones estériles, en una placa de Petri vacía se colocó una varilla de vidrio en U, y sobre ella un portaobjeto. Posteriormente, un fragmento de medio de cultivo sólido de PDA estéril (0.5 x 0.5 cm) fue extraído, y colocado en el centro de la superficie del portaobjetos. Por otra parte, las esporas de la cepa fúngica desarrollada fueron obtenidas con ayuda de un asa de inoculación, y se depositaron en los bordes del fragmento de PDA estéril [14]. Posteriormente, un cubreobjeto estéril se colocó sobre el fragmento inoculado con las esporas del hongo, y se añadió de 1-2 mL de agua glicerinada (agua:glicerina, 1:1 v/v) estéril en el fondo de la placa para mantener humedad. La caja Petri con el microcultivo se cerró y llevó a incubación en una estufa de cultivo Thermo scientific durante 72 h. Las cepas fúngicas petrofilicas fueron analizadas en un microscopio electrónico de barrido (MEB) marca JEOL modelo JSM-6010LA, con la finalidad de observar el aparato reproductor.

Batería de técnicas analíticas para inferir cualitativamente la presencia de biosurfactante sintetizados por hongos filamentosos

Para determinar el tiempo de máxima producción de biosurfactantes y disminuir los costos de producción, se estableció en condiciones *in vitro*, un bioensayo que constaba de una jarra kettler con el caldo productor de biosurfactantes (agua destilada:nitrofoska; 1:1) (Figura 1). El caldo con masa fúngica fue muestreado para separar la biomasa y el sobrenadante, libre de células, se sometió a ensayos analíticos e inferir el tiempo en el que se registrara la mayor producción de biosurfactantes. Las técnicas analíticas fueron: a) *Obtención del caldo libre de células para determinación de propiedades biotensioactivas.* Se obtuvieron muestras de 10 mL cada 24 h desde el tiempo 0 hasta 120 h, las cuales fueron centrifugadas a 5,000 rpm por 40 min a $28\pm 1^\circ\text{C}$, con el fin de precipitar las células microbianas, y generar así un caldo crudo que contuviera los biosurfactantes (entre otros productos metabólicos). El sobrenadante fue extraído y almacenado

punto, se preparó el agar base sangre de acuerdo con [13], con ayuda de un sacabocado (1 cm²) se

extrajo una porción del agar, dejando un agujero en forma de pozo. El número de cavidades fue en función de los tiempos de toma de muestra. Cada uno de estos pozos fueron inundados completamente con el caldo crudo libre de células (1 ± 0.1 mL). Como control se usó medio de cultivo sin cultivar; después de 72 h de incubación a 29 ± 1 °C se observaron las cajas Petri, y se registró la hemólisis por pozo con base en la formación de un halo, y cuya área fue medida por técnicas de fotogrametría. Para la obtención imágenes se utilizó la técnica de fotogrametría, con ayuda del software FIJI de ImageJ win-32, versión 1.44°. c) *Gota colapsada*. Para esta prueba se colocaron 40 mL de caldo libre de células en una superficie hidrofóbica de papel parafilm, observando la forma de la gota en los diferentes tiempos de muestreo, y midiéndose el diámetro de la gota. Como control se empleó el biosurfactante con base en alfa-limoneno, con nombre comercial de Ecoterra BS. d) *Índice de emulsión (IE_{24})*. En un tubo de ensayo de (10 x 1.5 cm), se mezclaron 2 mL de caldo libre de hongos y 2 mL de petróleo tipo istmo, y con ayuda de un vórtex se mezclaron los volúmenes por 2 min. Posteriormente, la emulsión se dejó en reposo por 24 h evitando su exposición directa a la luz solar. El cálculo % (porcentaje) fue el resultado de la división de la altura de la emulsión entre la altura total de la mezcla, multiplicado por 100 [13]. Como sistema control se usó caldo libre de células sin cultivar. d) *Capacidad de emulsión*. Este parámetro se determinó a 30 ± 1 °C, y fue una modificación del método propuesto por [17]. Para determinar la capacidad de emulsión, se prepararon diferentes concentraciones de soluciones acuosas de NaCl (%) (1, 3, 6, 9, 12 y 15); 1 mL de cada solución se agregó a un tubo de ensayo que contenía 2.0 mL de biosurfactante, en un sistema cerrado y presión atmosférica ($14.7 \text{ lb} \cdot \text{ing}^{-2}$); el contenido se agitó vigorosamente durante 30 s y 500 rpm en un mezclador vórtex modelo Barnstead marca Thermolyne. Luego, se añadieron diferentes volúmenes (mL) de petróleo a cada tubo de ensayo: 0.2 (10 % de capacidad de emulsión), 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0 (100 %) y se agitó nuevamente. Se añadió petróleo a cada tubo hasta que se observó una fracción de petróleo en la capa superior del líquido. El volumen total de aceite usado se dividió por el volumen de la fase acuosa y se multiplicó por 100, y el resultado se informó como el porcentaje de capacidad emulsionante. Todas las mediciones se repitieron tres veces para obtener el valor promedio.

Evaluación de la degradación de petróleo y reproducción microbiana petrofílica

La extracción de la fracción pesada de petróleo en un suelo contaminado a 50,000 ppm se llevó a cabo por gravimetría (método establecido en la [18]). En una balanza semi-analítica (VE-300, Velab) se pesaron 10 g de suelo contaminado, adicionando 15 g de Na_2SO_4 anhidro A.C.S. La mezcla se trituró hasta estar homogénea; entonces, la mezcla se colocó en un matraz Erlenmeyer (250 mL, CIVEQ) y se le añadieron 30 mL de hexano A.C.S. A continuación, el matraz se introdujo en un baño ultrasónico (LUC-405, Labtech) para un tiempo de sonicación de 20 min, procedimiento de acuerdo a la EPA 3550c. El muestreo se llevó a cabo cada 48 h durante 30 d. Posteriormente, los cálculos para determinar los hidrocarburos de fracción pesada fueron con base en [16].

La cuantificación de las UFC se realizó con base en la [19]. En condiciones asépticas, una muestra de 1 mL fue transferida del biorreactor a un tubo de ensayo (20 x 150 mm, marca KIMAX) con 9 mL de agua destilada estéril, y se rotuló como "dilución 10^{-1} "; a partir de esta dilución el método se continuó hasta llegar a la dilución 10^{-4} . Posteriormente, un inóculo de 0.1 mL de cada dilución fue transferido a cinco cajas de Petri con medio de cultivo agar dextrosa y papa, y con un asa de digralsky se dispersó uniformemente sobre la superficie del medio hasta sequedad. Las cajas fueron colocadas en bolsas de plástico previamente desinfectadas con alcohol etílico al 70 %, y preservadas en una incubadora biológica a 28 °C por 72 h.

Resultados y discusión

Obtención y caracterización de la muestra de petróleo

Las coordenadas terrestres son 17°39´25´´N 93°21´48´´W. La caracterización de la muestra de petróleo (Tabla 1) proveniente de la batería de separación del Campo Girdaldas 1.

Tabla 1. Caracterización del petróleo de la batería del Campo Girdaldas a 20 °C

Parámetros	Método	Resultados
Gravedad específica (g.cm ⁻³)	ASTM D5002-19	0.8354
Gravedad API 20 °C	ASTM D5002-19	38.02
Azufre total (ppm)	ASTM -5453-19 ^a	8 900.16

La clasificación del petróleo lo coloca como tipo Istmo, con base en la nomenclatura del American Petroleum Institute (API).

Aislamiento de cepas fúngicas

La siembra por extensión en placa de la muestra de petróleo en agar papa dextrosa, permitió el desarrollo de 3 cepas de hongos filamentosos, las cuales fueron catalogadas como: HP1, HP2 y HP3 (Figura 1).

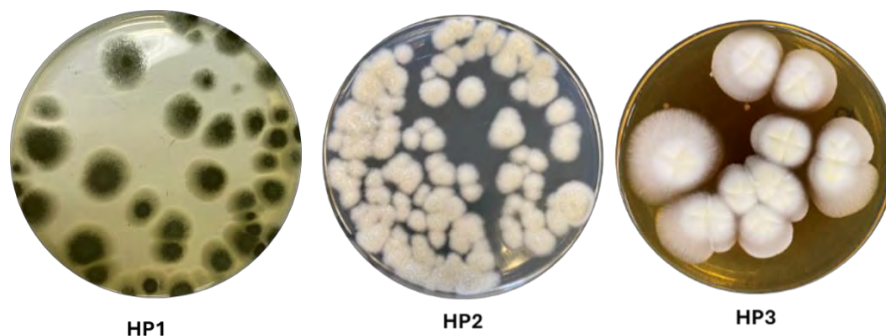


Figura 1. Cepas de hongos filamentosos aislados de la muestra de petróleo crudo procedente del Campo Girdaldas, Reforma, Chiapas.

Identificación de hongos petrofilicos

a) *Identificación de cepas fúngicas que registraron sobrevivencia en el método de papel filtro impregnado con petróleo.* Las cepas fúngicas que registraron sobrevivencia al método fueron HP1 y HP3, las cuales se infiere tienen la capacidad de utilizar al petróleo como única de fuente de carbono. Las cepas fúngicas se clasificaron como HP1 y HP3.

El registro del crecimiento radial de las cepas fúngicas durante 48 h se reporta en la Tabla 2.

Tabla 2. Radio de las cepas fúngicas sobrevivientes a la técnica del papel filtro.

Cepa fúngica	Radio (cm) inicial	Radio (cm) 24 h	Radio (cm) 48 h
HP1	0.7	1.4	2.1
HP2	0.5	Sin desarrollo	Sin desarrollo
HP3	0.3	0.5	0.5

b) *Verificación de la cepa HP1 como petrofilica.* Para esto, se estableció un experimento con un suelo vertisol contaminado a 50,000 ppm con petróleo, con una medida inicial (0 h) y otra final (504 h). Al suelo en estudio se le inoculó la cepa HP1 para verificar su poder de degradación. Los hidrocarburos de fracción pesada (HFP) se presentan en la Figura 2, donde se puede visualizar la relación que existe entre la población microbiana petrofilica HP1 y la degradación de petróleo, a partir de este experimento la cepa HP1 fue caracterizada como petrofilica, al reducir un 15% del petróleo inicial en tres semanas. La cepa HP3 fue desechada debido débil desarrollo en petróleo crudo.

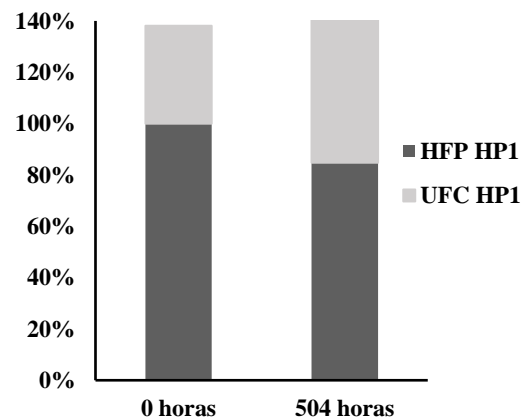


Figura 2. Relación del crecimiento microbiano y la degradación de petróleo crudo en un suelo vertisol a 50,000 ppm de la cepa HP1. Bioensayo establecido por 504 h.

Identificación del género de los hongos petrofilicos

La cepa fúngica petrofilica HP1 pertenece al género *Aspergillus sp* [14], como se muestra en la Figura 3.

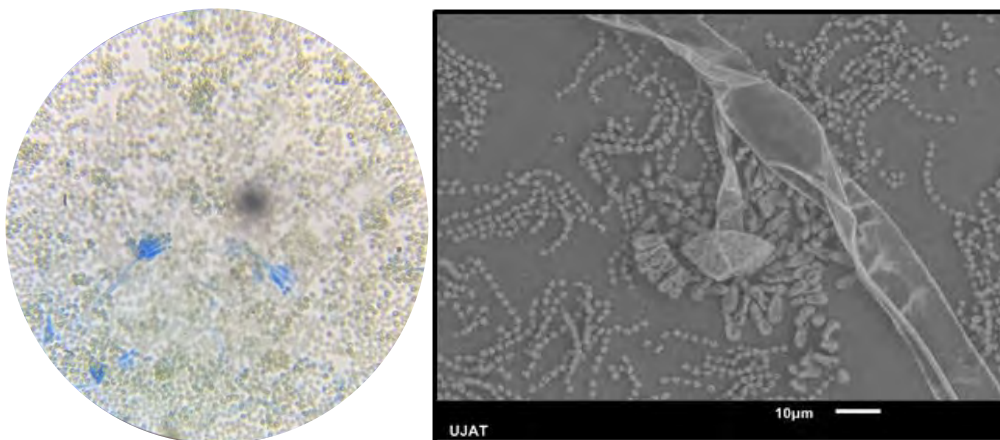


Figura 3. Cepa fúngica perteneciente al género *Aspergillus sp*; a) Fotografía en microscopio óptico
b) Fotografía en microscopio eléctrico de barrido (MEB).

La cepa *Aspergillus* evaluada en esta investigación concuerda con [20], quienes reportaron que las especies del género *Aspergillus* son capaces de utilizar las diversas fracciones del petróleo (desde los hidrocarburos totales del petróleo hasta las fracciones de resinas y asfaltenos). Además, constituye un complejo de especies de las cuales se ha probado sus propiedades para utilizar petróleo como fuente de carbono. Este género es común encontrarlo en aguas congénitas [21] y ha reportado la degradación de compuestos derivados del petróleo como diésel, gasolina y kerosén. De la misma manera, un estudio realizado por [20] demostró que una cepa de *Aspergillus flavus* fue capaz de degradar cerca del 80 % del petróleo crudo midiendo espectrofotométricamente las tasas de degradación en el medio selectivo bushnell-haas.

Técnicas analíticas para determinar la presencia de biosurfactante de hongos filamentosos

En la Tabla 3 se muestra los resultados al aplicar una serie de técnicas analíticas al caldo de cultivo productor de biosurfactante (nitrofoska $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} + 1 \text{ mL}$ de petróleo crudo estéril) en diversos tiempos.

Tabla 3. Comportamiento de propiedades del caldo con HPI *Aspergillus sp*, y presencia de biosurfactantes. Los promedios son resultados de tres réplicas de un muestreo obtenido cada 24 h durante 5 d.

Tiempo (h)	Gota colapsada (tamaño de la gota en cm)	Dispersión de aceite (zona de aclaramiento en cm)	Índice de emulsión (IE_{24h}, %)	Capacidad de emulsión %
0	1.65 ± 0.01	1.02 ± 0.03	0 ± 0	0
24	3.22 ± 0.01	5.78 ± 0.01	45 ± 1.5	20

En la prueba de dispersión de aceite, la cepa de *Aspergillus sp*, registró la formación del halo sobre la capa de petróleo, mostrando la presencia de biotensioactivos. De acuerdo a [22] [23] también reportaron la formación del halo con la cepa *Aspergillus sp*, mencionando que esta se da cuando una molécula anfipática, como los biotensioactivos, entran en contacto con la interfase petróleo y reduce la tensión interfacial, logrando que el petróleo se fragmente en partículas más pequeñas y se solubilice con el agua, dando así la formación de halos en el petróleo. Los resultados concuerdan con un tiempo en que la gota colapsada presenta diámetro máximo de contacto (4.52 ± 0.02), la zona de aclaramiento de petróleo ($11.01 \pm 0.04 \text{ cm}$), el índice de emulsión de petróleo (86 %) y la capacidad máxima de emulsión (80%).

Por lo que se infiere que a un tiempo de 72 h se tiene la máxima producción de biosurfactante en un medio con nitrofoska e inoculado con la cepa *Aspergillus sp*.

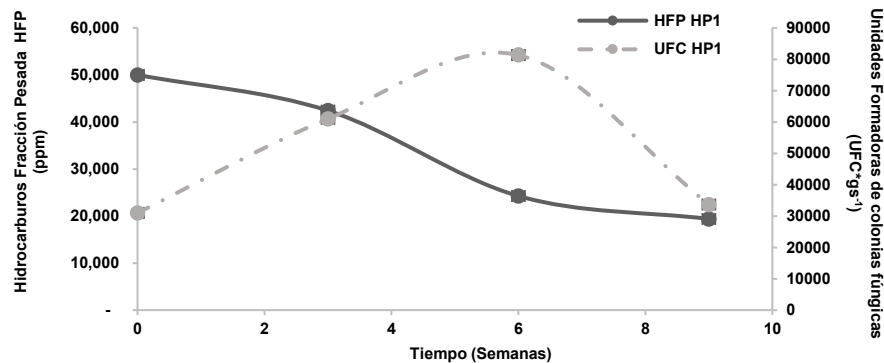


Figura 4. Gráfica representativa del crecimiento poblacional de *Aspergillus ps*, en unidades formadoras de colonia por gramo de suelo (UFC*gs⁻¹), contra la degradación de Hidrocarburos de Fracción Pesada (HFP). Las barras de error representan el promedio de 3 repeticiones por medición.

Evaluación de la degradación de petróleo y reproducción de población microbiana petrolílica

El hongo HP1 (*Aspergillus sp*) presentó una degradación del 61 % de petróleo en un lapso de 9 semanas, en un suelo vertisol con 50,000 ppm, mientras tanto, el crecimiento poblacional fúngico fue desde 30,667 hasta 81,333 de Unidades Formadoras de Colonias (UFC*gs⁻¹), reflejando un 99 % de crecimiento. Los hongos filamentosos aislados en el suelo vertisol contaminado con petróleo, son considerados heterótrofos tolerantes al petróleo. Los hongos aislados se identificaron fenotípicamente con base en la morfología de la colonia, micelio y estructuras reproductivas, coincidiendo con [14] [20]. Los hongos del género *Aspergillus* son seleccionados para procesos de biorremediación por alcanzar la mayor concentración en biomasa y la mayor degradación de aceite, además de su baja toxicidad. El aumento de los hongos en el proceso de biodegradación se atribuye a que el hidrocarburo como fuente de carbono puede sostener la población microbiana, entonces, está considerado en el grupo de los hongos con mayor capacidad para reducir los niveles de petróleo en derrames de petróleo.

Trabajo a futuro

En el tiempo donde se registró el mayor diámetro de gota colapsada, dispersión de aceite y capacidad de emulsión (72 h de haber establecido el experimento), el biosurfactante producido por *Aspergillus sp* deberá ser extraído y purificado del caldo para caracterizarlo. Es decir, determinar propiedades físicas (densidad), químicas (pH, peso molecular), reológicas (tensión superficial, concentración micelar crítica) y toxicidad (CL₅₀), además del Balance Lipofílico e Hidrofílico (HLB) para predecir potenciales aplicaciones en diversas industrias como: la farmacéutica, petrolera, textil, cosmética, entre otras.

Conclusiones

El hongo *Aspergillus sp* tiene el potencial de realizar una biorremediación de petróleo en un suelo tipo vertisol contaminado con 50,000 ppm de petróleo crudo tipo istmo.

La mayor concentración de biosurfactante que se puede obtener en una medio de cultivo nitrofoska:petróleo, 1:1 (m:v) es a las 72 h de haber inoculado *Aspergillus sp* debido a que fue el tiempo en que se registró el mayor diámetro de gota colapsada, dispersión de aceite y capacidad de emulsión en el caldo microbiano.

Referencias

- [1] Á. V. Rabelo Avalos, D. E. Ramos Muñoz, M. Á. Díaz Perera y M. A. Mesa Jurado, «El petróleo en Tabasco: propuesta para una periodización,» *Scielo*, vol. 83, n° 1, pp. 129-155, 2021, doi: <https://doi.org/10.22201/iis.01882503p.2021.1.60025>.
- [2] M. d. R. Cantañeda-Chávez, E. Díaz-Torres, J. V. Megchún-García y A. García-Saldaña, «Hydrocarbons and heavy metals in Macuspana, Tabasco, Mexico: key stakeholders,» *Research in Agricultural & Applied Economics*, vol. 14, n° 5, pp. 113-120, 2021, doi: 10.22004/ag.econ.313414.
- [3] C. M. Morales-Bautista, C. E. Lobato-García, J. Flores Jiménez y C. Méndez-Olán, «Cambios en las propiedades físicas y químicas de un suelo debido a un proceso de restauración aplicado a un derrame de hidrocarburos,» *Scielo*, vol. 29, n° 1, pp. 1-14, 2019, doi: <https://doi.org/10.15174/au.2019.2154>.
- [4] S. Ruíz Liévano, «La responsabilidad del daño ambiental por derrame de hidrocarburos en suelos en Tabasco, México,» *Revista Ciencias y Humanidades*, vol. XIV, n° 14, pp. 135-160, 2022, doi: <https://oaji.net/articles/2022/11095-1659451910.pdf>.
- [5] S. Mahima, «An inclusive evaluation of soil pollution and remediation by chemical, physical and biological methods,» *Internatinal Journal of Chemical Studies*, vol. 12, n° 4, pp. 5-17, 2024.
- [6] J. Ugaz-Hoyos, H. Vega Cruz, S. Iglesias Osoreo y C. Careño-Farfán, «Biosurfactants in the bioremediation of hydrocarbon-contaminated soils,» *Scielo Preprints*, vol. 1, 2020, doi: <https://doi.org/10.1590/scielopreprints.642>.
- [7] A. M. Bohórquez Rodríguez y O. Castiblanco Urrego, «Revisión del uso de biosurfactantes para su implementación en los procesos de recuperación mejorada de petróleo,» *Inventum. Ingeniería, Tecnología e Investigación*, vol. 16, n° 31, pp. 4-14, 2021, doi: 10.26620/uniminuto.inventum.16.31.2021.4-14.
- [8] J. Ahmad, N. Marsidi, S. R. Sheikh Abdullah, H. Abu Hasan, A. R. Othman, N. I. Ismail y C. B. Kurniawan, «Integrating phytoremediation and mycoremediation with biosurfactant-producing fungi for hydrocarbon removal and the potential production of secondary resources,» *Chemosphere*, vol. 349, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140881>.
- [9] U. Odili, F. Ibrahim, E. Shaibu-Imodagbe y H. Atta, «Comparative Assessment of Crude Oil Degradation by *Monocillium* sp. and *Aspergillus niger*,» *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, vol. 25, n° 5, pp. 815-820, Mayo 2020, doi: <https://dx.doi.org/10.4314/jasem.v24i5.13>.
- [10] A. Maamar, M. E. Lucchesi, S. Debaets, N. Nguyen Van Long, M. Quemener, E. Coton, M. Bouderbala, G. Burgaud y A. Matallah-Boutiba, «Highlighting the Crude Oil Bioremediation Potential of Marine Fungi Isolated from the Port of Oran (Algeria),» *Diversity*, vol. 12, n° 5, pp. 1-19, 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/d12050196>.
- [11] Comisión Reguladora de Energía, «NOM-016-CRE-2016. Especificaciones de calidad de los petrolíferos,» 29 08 2016.

- [12] M. T. Madigan, K. S. Bender, D. H. Buckeley, W. M. Sattley y S. A. Stahl, Brock Biology of Microorganisms, Pearson Education, 2021.
- [13] R. Torres-Custodio, M. Á. Hernández-Rivera, J. D. I. S. López-Lázaro, Y. Córdova-Bautista, J. G. Álvarez-Ramírez, P. Sifuentes-Gallardo y M. E. Ojeda-Morales, «Extraction and characterization of a biosurfactant synthesized by *Acinetobacter baumannii*,» *Mexican Journal of Biotechnology*, vol. 8, n° 1, pp. 37-65, 2023, doi: <https://doi.org/10.29267/mxjb.2023.8.1.37>.
- [14] E. W. Koneman, G. W. Procop, D. L. Church, G. S. Hall, W. M. Janda, P. C. Schreckenberger y G. L. Woods, Color Atlas & Textbook of Diagnostic Microbiology, 7 ed., Wolters Kluwer, L'Hospitalet de Llobregat, 2017.
- [15] D. J. Palma-López, R. Jiménez-Ramírez, J. Zavala-Cruz, F. Bautista-Zúñiga, F. Gavi-Reyes y D. Y. Palma-Cancino, «Actualización de la clasificación de suelos de Tabasco, México,» *AGOPRODUCTIVIDAD - Colegio de Posgraduados*, vol. 10, n° 12, pp. 29-35, 2017.
- [16] SEMARNAT, «NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación,» 2013.
- [17] D. P. Cassidy y A. J. Hudak, «Microorganism selection and biosurfactant production in a continuously and periodically operated bioslurry reactor,» *Journal of Hazardous Materials*, vol. 84, n° 2, pp. 253-264, 2001, doi: [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(01\)00242-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(01)00242-4).
- [18] «NMX-AA-134-SCFI-2006. SUELOS – HIDROCARBUROS FRACCIÓN PESADA POR EXTRACCION Y GRAVIMETRIA – MÉTODO DE PRUEBA,» 2006.
- [19] «NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos,» 1995.
- [20] M. A. Al.Dossary, S. A. Abood y H. T. A. Al-Saad, «Biodegradation of Crude Oil Using *Aspergillus* species,» *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, vol. 9, n° 4, pp. 60-64, 2019,doi: 10.7176/JBA.
- [21] A. M. Ahmed El-Bondkly y M. M. A. Ahmed El-Gendy, «Bioremoval of some heavy metals from aqueous solutions by two different indigenous fungi *Aspergillus* sp. AHM69 and *Penicillium* sp. AHM96 isolated from petroleum refining wastewater,» *Heliyon*, vol. 8, pp. 1-16, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09854>.
- [22] M. Asgher, S. Arshad, S. A. Qamar y N. Khalld, «Improved biosurfactant production from *Aspergillus niger* through chemical mutagenesis: characterization and RSM optimization,» *discover Applied Sciences*, vol. 2, n° 966, pp. 1-11, 2020, doi: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2783-3>.
- [23] A. H. Khan y S. Tanveer, «Biosurfactant-producing *Aspergillus*, *Penicillium*, and *Candida* Performed Higher Biodegradation of Diesel Oil than a Non-producing Fungal Strain,» *Appl Biochem Microbiol*, pp. 282-289, 2023, doi: <https://doi.org/10.1134/S0003683823030109>.

PRODUCCIÓN MEJORADA DE BIOETANOL A PARTIR DE BIOMASA DE *Eichhornia crassipes* APLICANDO CAMPOS MAGNÉTICOS

May-Rodríguez Keyla Madai¹, Ojeda-Morales Marcia E.¹, García-Frías Fatima*¹, López-Lázaro José De los Santos¹, Cruz-Pérez Alida E.¹

¹Laboratorio de Biotecnología, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán-Jalpa Km 1. Colonia La Esmeralda CP 86400 Cunduacán, México

*232A28005@alumno.ujat.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El estudio de campos electromagnéticos en los procesos biotecnológicos como la producción de bioetanol a partir de la biomasa lignocelulosa es una alternativa prometedora para producir bioenergía, al reducir el CO₂ y diversificar así la matriz energética. En esta investigación se estudió el efecto del campo electromagnético; mT:(1, 3 y 5) en el rendimiento de bioetanol a partir de *Eichhornia crassipes* proveniente de la laguna Soyataco, ubicada en Jalpa de Méndez, Tabasco, México. Para evaluar el rendimiento de bioetanol a través de los diferentes campos electromagnéticos, se estableció un diseño experimental completamente aleatorizado de un factor, y a través de un ANOVA se determinó el mejor tratamiento. Los resultados obtenidos mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los campos electromagnéticos teniendo valores de 27.714±13.25, D.E. (Desviación estándar) y 24.236±11.75, D.E., para los campos electromagnéticos 1mT y 5 mT respectivamente obteniendo un rendimiento máximo de 35.818 ±16.67, D.E. para el campo electromagnético de 3mT.

Palabras clave: bioetanol, campo electromagnético, lignocelulosa

Abstract

The study of electromagnetic fields applied to biotechnological processes like bioethanol production from lignocellulosic biomass represents a promising alternative to produce energy by reducing CO₂, diversifying the energetic matrix. On this research the effect of electromagnetic fields; mT: (1, 3 and 5) upon the bioethanol yield obtained from *Eichhornia Crassipes*, indigenous to Soyataco lagoon, Jalpa de Méndez, Tabasco México was studied. In order to evaluate the bioethanol yield throughout different electromagnetic fields, an experimental design was established. Such design incorporated a completely random factor and using an ANOVA the best treatment was determined. Results obtained showed statistically significant differences between electromagnetic fields showing 27.714±13.25, D.E. (Standard deviation) and 24.236±11.75 D.E. for electromagnetic fields 1 mT and 5 mT respectively as well as obtaining a maximum yield of 35.818±D.E. for 3 mT

Key words: Bioethanol, electromagnetic field, lignocellulose

Introducción

Los combustibles fósiles constituyen más del 80% de los combustibles que se consumen a nivel mundial, los cuales son usados principalmente en la generación de energía. Sin embargo, la sobrepoblación de casi todos los países incrementa la dependencia de los combustibles fósiles. Se espera que para el año 2050, la población mundial crecerá alrededor de 3×10^9 de habitantes. Por lo tanto, se proyecta que muchos países en desarrollo agotarán sus reservas de combustibles derivados del petróleo en los próximos 65 años [1]. Aunado a esto, el consumo de combustibles fósiles tiene un efecto importante en el calentamiento global representando el 74% de las emisiones antropogénicas globales (GEI), lo que trae como consecuencia la necesidad de hallar nuevas tecnologías como fuente de energía renovable y limpia que tenga el menor impacto negativo en el medio ambiente [2].

Frente a los problemas generados por el consumo de los combustibles, el bioetanol es un tipo de combustible prometedor para la sustitución de los métodos tradicionales para generar energía, ya que tiene bajos costos de producción, y produce mayor cantidad de oxígeno que las mezclas de biodiesel. El bioetanol es un tipo de combustible que se puede obtener a partir de la transformación de la biomasa de diversos organismos, como sucede con el Jacinto de agua, *Eichhornia crassipes*, cuya biomasa derivada de celulosa, lignocelulosa y lignina, es materia prima para la producción de bioetanol [3].

El Jacinto de agua es una macrófita vascular flotante. Los tallos y hojas están llenos de aire, permitiendo que la planta permanezca suspendida sobre el agua. Presenta ambos tipos de reproducción, y se distribuye en cuerpos de agua tropical y subtropical [4]. Es una planta acuática que por lo general afecta grandes regiones de humedales como lagos, ríos, lagunas y pantanos, ya que su crecimiento acelerado va de 60 kg m^{-2} , provocando una disminución de la biodiversidad, afectando el cauce de los ríos y sistemas de drenaje, disminuyendo el oxígeno disuelto, modificando la química del agua generando como consecuencia un efecto importante en la contaminación ambiental [5].

La transformación de la biomasa del Jacinto de agua como materia prima para la producción de bioetanol es prometedora y sostenible, ya que la planta es abundante, es biodegradable por su bajo contenido de lignina (10%) y tiene un alto contenido de celulosa y hemicelulosa, 28.5 y 33%, respectivamente. Estos polímeros de origen natural son determinantes para la generación de biocombustibles [4], la cantidad de azúcares totales C6 es de 26.3% en peso, compuesto por glucosa y galactosa, mientras que los azúcares C5 como xilosa y arabinosa es de 20.5% en peso, presentes en las hojas del Jacinto de agua. Factores como los azúcares totales, la recuperación de lignina, el uso de la energía, y tipo de biomasa son importantes para la generación de este biocombustible [1]. Se ha demostrado que mediante la hidrólisis de Jacinto de agua usando ácidos diluidos, se puede generar hasta un 60% del azúcar xilosa, la cual puede ser usada como materia prima en la producción de bioetanol, aunque las mezclas de glucosa y xilosa han sido las más utilizadas en este proceso [1]. Estos azúcares, C5 y C6, se pueden tratar para obtener bioetanol a partir del proceso de

fermentación de levaduras o bacterias, sin embargo, mediante la estimulación del crecimiento de la microbiota se podría tener un mejoramiento en la producción de bioetanol. Una manera de estimular el aumento de la biomasa microbiana es mediante la aplicación de campos magnéticos, y en consecuencia aumentar la producción del biocombustible. A nivel celular, se ha comprobado que la aplicación de un campo magnético constante impacta en el potencial de membrana, incrementa su permeabilidad y acelera la absorción de iones [6]. Y aunque se han reportado investigaciones sobre la producción de etanol, falta más información sobre el aprovechamiento de los campos magnéticos en su producción, por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue mejorar la producción de bioetanol a partir de la biomasa celulósica de *Eichhornia crassipes* asistida por microorganismos, mediante la aplicación de campos magnéticos.

Materiales y métodos

Recolección y limpieza de material vegetativo

Se recolectaron ejemplares de *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) en la laguna Soyataco ubicada en Jalpa de Méndez, Tabasco, México con las coordenadas geográficas (18°13'54.5"N 93°03'43.4"W) de acuerdo a [7], los ejemplares de *Eichhornia crassipes* fueron seleccionados en estado maduro, mismos que fueron colocados en bolsas de polietileno de 1000 g de marca comercial previamente etiquetados y almacenados a una temperatura de 5 °C para ser transportados al laboratorio de biotecnología de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) donde fueron lavados con agua baja en sales y desinfectados con etanol de 96 °C. El material vegetativo se colocó en papel de estraza para eliminar el exceso de agua, posteriormente fueron colocados en un horno de secado marca Ecoshel modelo 9053A a 60±2°C por 6 h hasta obtener el secado total de las muestras, luego de esto fueron trituradas en un mortero de porcelana y tamizadas en un tamiz de acero inoxidable marca LVDALAB con una malla N.40 hasta obtener partículas pequeñas de aproximadamente 425 µm.

Muestreo y caracterización de muestras de agua

Las muestras de agua simple fueron recolectadas de la laguna Soyataco en frascos de vidrios de 1000 mL con tapa hermética, etiquetados para ser transportados al laboratorio de biotecnología. Las muestras se mantuvieron a una temperatura de 3±1°C, de acuerdo a la metodología propuesta por [8].

Determinación de características fisicoquímicas del agua.

La densidad del agua se determinó utilizando un picnómetro de vidrio de 25 mL; el cual se pesó seco, y con la muestra de agua en una balanza electrónica analítica marca VELAB, tipo VE-204, a través de diferencias de masas y con base en el método AS-04 se realizó el cálculo de la densidad. La turbidez del agua se obtuvo empleando un turbidímetro, marca HANNA HI98703-01 [9]. Los cloruros totales del agua fueron determinados por el método de valoración de nitrato de plata usando como indicador el cromato de potasio, el cambio de color de la disolución a anaranjado-rojizo así como en la forma del precipitado indicaron la terminación de la valoración como lo indica la [10]. La dureza del agua se determinó por el método de titulación de

acuerdo a la [11]. El pH y la conductividad eléctrica se obtuvo con ayuda de un potenciómetro digital marca Hanna.

Obtención de microorganismos

Los microorganismos fueron aislados de las muestras de agua recolectadas, sembrados en medio agar papa dextrosa y medio agar nutritivo de acuerdo al método de diluciones seriadas y sembrado en placa por extensión, descrito [12].

Establecimiento del bioensayo

Se estableció un diseño experimental completamente aleatorizado de un factor (Capacidad de campo electromagnético, CCEM). La variable independiente tuvo tres niveles (1mT, 3mT, 5mT). A los resultados obtenidos se aplicó un ANOVA de una vía, haciendo uso del paquete estadístico Statgraphic Centurion™ V.XVIII, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

En un matraz Erlenmeyer de 2 L se colocaron 1500 mL de agua destilada estéril, la cual fue magnetizada con una bobina que emitía un campo electromagnético de 1,3 y 5 mT para cada tratamiento. El agua magnetizada se almacenó en un segundo matraz Erlenmeyer con la misma capacidad nominal. Los microorganismos se cultivaron hasta una absorbancia de 0.3 (DO600 nm) en medio caldo nutritivo de composición (g/L) extracto de carne, 1.0; extracto de levadura, 2.0; peptona caseína, 5.0; NaCl, 5.0. 10% de este medio fue transferido a 1000 mL de medio Kim de composición extracto de levadura, 0.2; extracto de carne, 5.0; glucosa o dextrosa, 2.0; KH_2PO_4 monobásico, 0.2; K_2HPO_4 dibásico, 0.3; MgSO_4 , 0.1; Na_2SO_4 , 0.1; CaCl_2 , 0.1; FeSO_4 , 0.1 [13]. Posteriormente, 20 mL de agua magnetizada fueron añadidos a un matraz Erlenmeyer de 500 mL que contenía 10 g de material vegetativo *E. crassipes* y 50 mL de medio Kim que contenía el consorcio microbiano, ver Figura 1.

Para evaluar el crecimiento microbiano se extrajeron 10 mL de muestra cada cuatro h durante 20 h, la biomasa contenida se midió en un espectrofotómetro UV-VIS marca Genesys 20 modelo 4001/4 a una densidad óptica de 600 nm.

El rendimiento de bioetanol fue determinado mediante el CO_2 producido por sustrato consumido por los microorganismos. La determinación de CO_2 se realizó por el método de incubación en medio cerrado con 10 mL de NaOH 2N [14]. Obteniendo un rendimiento neto de bioetanol mediante lo establecido en la ecuación 1 y 2, mismas que se describen a continuación:

Ecuación 1
$$\text{Rendimiento} = 1 + \frac{f}{f_{\text{max}}}$$

Dónde: f son coeficientes estequiométricos de la ecuación 2 y f_{max} es el rendimiento teórico máximo

Ecuación 2

$$wys = cy_B + f jy_P$$

Dónde: w es el número de átomos de carbono en el sustrato, j es el número de átomos de carbono en el producto, ys y y_P son el grado de reducción del sustrato y producto, c y f son coeficientes estequiométricos.

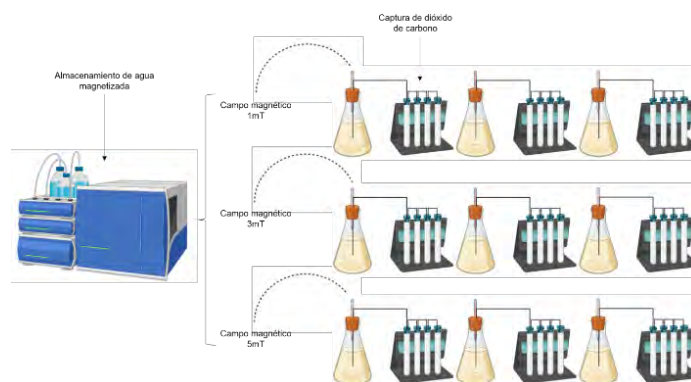


Figura 1. Bioensayo de los tratamientos de campo electromagnéticos (1mT, 3 mT, 5 mT)

Resultados y discusión

Crecimiento microbiano y rendimiento de bioetanol

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza y el análisis de multiples rangos, existen diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los campos electromagnéticos 3 mT y los campos 1 mT y 5 mT; estos dos últimos son

estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de separación de medias de Tukey, tal como se muestra en la Figura 2. El tratamiento 3 mT tuvo el rendimiento más alto de bioetanol (35.818 ± 16.67 , desviación estándar, D. E.), en comparación con el tratamiento 1 mT (27.714 ± 13.25 , D. E.) y el 5 mT (24.236 ± 11.75 , D. E.).

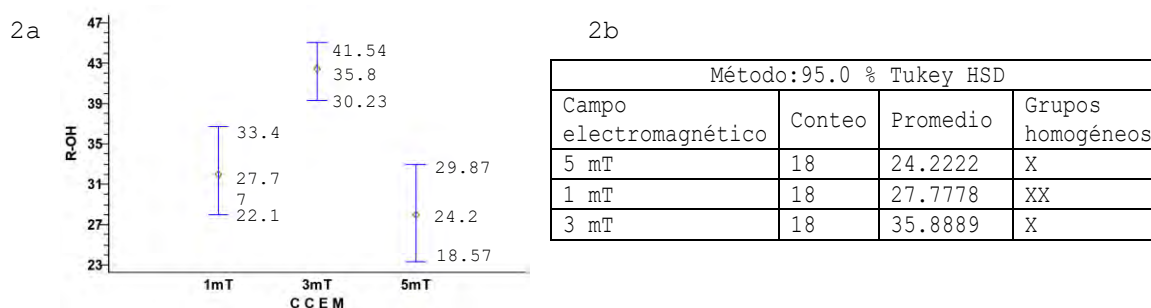


Figura 2. Prueba de análisis de varianza. Valores promedio que relacionan la intensidad del campo electromagnético 1 mT, 3 mT, 5 mT y la producción de bioetanol donde se muestra la media y los límites máximos y mínimos de los intervalos de confianza (2a). Prueba de separación de medias de Tukey (2b).

Desde el punto de vista físico, un campo magnético es un campo físico que tiene la capacidad de transmitir la interacción entre las corrientes eléctricas o el movimiento de las cargas. Estos campos pueden ser uniformes, estáticos, dinámicos. Sin embargo, de acuerdo con su efecto sobre los seres vivos, pueden dividirse por niveles de intensidad. Si son >5 T son ultra fuertes, si su intensidad es de 1-5 T se les llama fuertes. Mientras que los que son < 1 T son campos magnéticos débiles. La intensidad del campo no se puede subestimar, porque los que son >5 T afectan la viabilidad de los microorganismos [15], lo cual es de importancia para la producción de bioetanol a través de la estimulación de los microorganismos, ya que los campos usados en este estudio son campos magnéticos débiles, de un rango de 1-5 mT.

La producción de bioetanol de esta investigación concuerda con lo reportado por Melgar *et al.* [14] quienes obtuvieron un rendimiento máximo de bioetanol de 47.7% usando un campo electromagnético de 3mT.

En la producción de biocarburantes como el bioetanol, los azúcares simples son transformados por la presencia de microorganismos, siendo la más común la levadura natural *Saccharomyces cerevisiae*, sin embargo, esta actividad también lo pueden llevar a cabo las bacterias. La temperatura óptima de crecimiento microbiano va de 32 a 35°C y un pH de entre 3 y 5. Durante del crecimiento microbiano levaduras como *Saccharomyces cerevisiae* pueden acumular hasta 11% bajo condiciones normales Monroy & Pineda [16], lo que corroboran los datos obtenidos en esta investigación, donde la producción de bioetanol alcanza hasta un 35.8%, ver Figura 3. Este porcentaje demuestra que el uso de campos electromagnéticos tiene un efecto importante en la producción de bioetanol.

Ospino *et al.* [17] Obtuvieron un rendimiento de bioetanol a partir de *E. crassipes* (jacinto de agua) a través de un método de deslignificación alcalina y remojo con amoníaco. A las 9 h de fermentación con los pretratamientos de deslignificación alcalina, ácido diluido, remojo con amoníaco y el peróxido alcalino se observaron rendimientos de 12.51 g/L, 8.41g/L, 9.96 g/L y 1.35 g/L de bioetanol. Con esto se demuestra la importancia de los campos magnéticos en la producción de bioetanol. Este estudio tuvo un máximo rendimiento de 35.8 mL por cada 100 mL en comparación con los 10 mL obtenidos con el método de deslignificación alcalina.

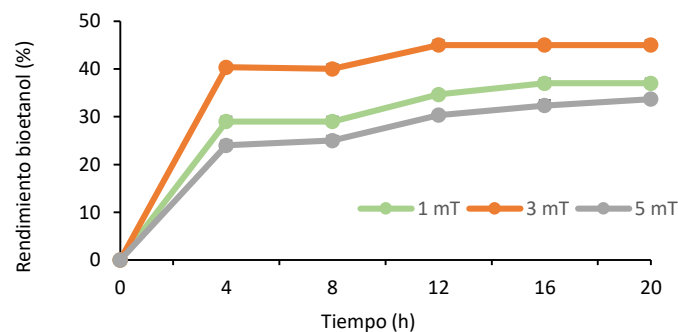


Figura 3. Rendimiento de bioetanol usando un campo electromagnético de 1 mT, 3mT y 5mT

Debido a que los campos electromagnéticos controlan el movimiento de los fluidos y el transporte de los iones, esto tiene un efecto directo en la cinética de crecimiento. La presencia de estos campos permite que las bacterias crezcan más rápido, como ha ocurrido en experimentos en *Escherichia coli*. Sin embargo, estos efectos tienen que ser estudiados con cautela, porque otros factores como la composición y la temperatura del medio también son importantes en la curva de crecimiento microbiano y eso podría llevar a interpretaciones erróneas. Sin embargo, de acuerdo con Masood *et al.* [18] se ha demostrado que las modificaciones en el transporte de iones en soluciones de electrolitos, tiene la capacidad de cambiar la tasa de crecimiento de diferentes especies bacterianas. El mejoramiento en la producción de bioetanol es una consecuencia de la estimulación del medio de cultivo mediante la aplicación de campos magnéticos en esta investigación.

La tabla 1 muestra los parámetros que presentaron las muestras de agua de donde se obtuvieron los microorganismos empleados en esta investigación.

Tabla 1. Promedios de los parámetros físicos y químicos de las muestras de agua

Densidad (g/cm ³)	pH	Conductividad eléctrica (S/m)	Turbidez (NTU)	Dureza (mg/l)	Cloruros totales (mg/l)
1.00291	6.63	2.11	65.83	1.23E+11	28.68

De acuerdo con el ANOVA, el P-valor de la prueba F es menor que 0.05 (P=0.00001), existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de la densidad óptica (DO). El tratamiento 1 mT (0.606±0.174, media, desviación estándar, D.E.) es diferente de 3 mT (0.982±0.401, D.E.) pero es igual a 5 mT (0.510±0.117, D.E.), en el nivel de significancia del 5 % de la prueba de separación de medias de Tukey. En la Figura 4 se muestra una tasa máxima de crecimiento microbiano en un campo electromagnético de 3 mT 1.099 ± 0.40 D.E mientras que los campos electromagnéticos de 1 mT y 5 mT el crecimiento microbiano fue de 0.6925 ± 0.17 D.E., y 0.569 ± 0.11 D.E., respectivamente. Melgar *et al.* [14] Reportaron una tasa máxima de crecimiento de una levadura usando un campo electromagnético de 3 mT, concordando con los resultados encontrados en esta investigación.

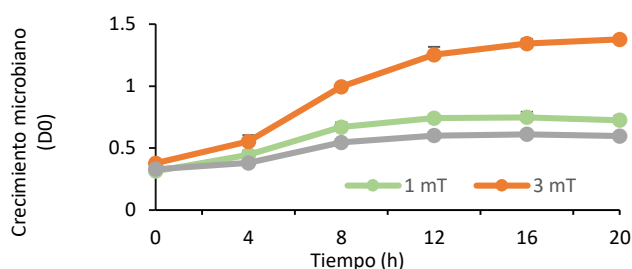


Figura 4. Densidad óptica (DO) del crecimiento microbiano estimulado por los campos electromagnéticos a intensidades de 1mT, 3mT y 5mT.

Conclusión

La producción de bioetanol a partir de la biomasa lignocelulósica producida por *E. crassipes* se ve afectada de acuerdo al campo electromagnético inducido, siendo el tratamiento de 3 mT el que registró la mayor producción de alcohol al fermentarse los azúcares del material vegetativo.

Referencias

- [1] O. Khan, A. K. Yadav, M. E. Khan, and M. Parvez, "Characterization of bioethanol obtained from Eichhornia Crassipes plant; its emission and performance analysis on CI engine," *Energy Sources Part a Recovery Utilization and Environmental Effects*, vol. 43, no. 14, pp. 1793–1803, Aug. 2019, doi: 10.1080/15567036.2019.1648600.
- [2] B. Holmatov, J. F. Schyns, Krol, P. W. Gerbens-Leenes, and A. Y. Hoekstra, "Can crop residues provide fuel for future transport? Limited global residue bioethanol potentials and large associated land, water and carbon footprints," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 149, p. 111417, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111417.
- [3] T. J. Tse, D. J. Wiens, and M. J. T. Reaney, "Production of Bioethanol—A review of factors affecting ethanol yield," *Fermentation*, vol. 7, no. 4, p. 268, Nov. 2021, doi: 10.3390/fermentation7040268.
- [4] U. F. Carreño-Sayago and C. Rodríguez-Parra, "Eichhornia crassipes (Mart.) Solms: an integrated phytoremediation and bioenergy system," *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente (En Línea)/Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, vol. 25, no. 3, pp. 399–411, Aug. 2019, doi: 10.5154/r.rchscfa.2018.06.051.
- [5] L. M. Madikizela, "Removal of organic pollutants in water using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)," *Journal of Environmental Management*, vol. 295, p. 113153, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113153.
- [6] N. Politaeva y V. Badenko, "Magnetic and electric field accelerate Phytoextraction of copper *Lemna minor* duckweed", *Plos one*, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255512>
- [7] Norma Oficial Mexicana, NOM-126-ECOL-2000 Establece las especificaciones para la realización de actividades de colecta científica de material biológico de especies de flora y fauna silvestres y otros recursos biológicos en el territorio nacional.
- [8] Norma Oficial Mexicana, NMX-AA-003 Aguas residuales- muestreo, 1980.
- [9] Norma Oficial Mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001. Análisis de agua –Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas
- [10] Norma Oficial Mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001 Análisis de agua - Determinación de cloruros totales en aguas naturales, Residuales y residuales tratadas - Método de prueba, 2001.

- [11] Norma Oficial Mexicana, NMX-AA-072-SCFI-2001 Análisis de agua - Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, 2001.
- [12] M. T. Madigan, K. S. Bender, D. H. Buckley, W. Matthew Sattley y D. A. Stahl, Brock Biology of microorganisms, 2022, Pearson, ISBN 10: 1-292-40479-5, ISBN 13: 978-1-292-40479-0, eBook ISBN 13: 978-1-292-40506-3 https://www.academia.edu/39077515/Biolog%C3%ADa_de_los_microorganismos_BROCK
- [13] R. Torres-Custodio, M. Á. Hernández-Rivera, J. d. I. S. López-Lázaro, Y. Córdova-Bautista, J. G. Álvarez-Ramírez, P. Sifuentes-Gallardo y M. E. Ojeda-Morales, Extraction and characterization of a biosurfactant synthesized by *Acinetobacter baumannii* Mexican Journal of Biotechnology, vol. 8, n° 1, pp. 37-65, 2023. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2023.8.1.1>
- [14] E. Melgar Urbina, Y. Córdova-Bautista, M. Ojeda Morales, J. Álvarez-Ramírez y W. Calderón-De la Cruz, Efecto del campo electromagnético sobre la fermentación alcohólica mediante una levadura de *Theobroma cacao*, Journal CIM, vol. 8, n° 1, 2020.
- [15] M. Singla and N. Sit, "Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review," Ultrasonics Sonochemistry, vol. 73, p. 105506, May 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105506.
- [16] A. Monroy, J. J. M. Z, and G. A. C. Pineda, "Estrategias de aprovechamiento del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) hacia la producción de bioetanol," CIENCIA EN DESARROLLO, vol. 13, no. 2, pp. 185–200, Jul. 2022, doi: 10.19053/01217488.v13.n2.2022.14088.
- [17] K. Ospino, E. Gómez, and L. Rios, "Evaluación de técnicas de pretratamiento en buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) para la producción de bioetanol," Información Tecnológica, vol. 31, no. 1, pp. 215–226, Feb. 2020, doi: 10.4067/s0718-07642020000100215.
- [18] S. Masood, I. Saleem, D. Smith, and W.-K. Chu, "Growth pattern of Magnetic Field-Treated Bacteria," Current Microbiology, vol. 77, no. 2, pp. 194–203, Nov. 2019, doi: 10.1007/s00284-019-01820-7.
- [19] M. Singla and N. Sit, "Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review," Ultrasonics Sonochemistry, vol. 73, p. 105506, May 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105506.

ESPECTROSCOPIA ATR-FTIR Y DE CORRELACIÓN BIDIMENSIONAL (2DCOS) APLICADA A LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS

*Contreras-Quiñones Héctor Jesús¹, Andrade-Ortega Jesús Ángel¹, Ramírez-Barragán Carlos Alberto¹,
Díaz-Ramos Sara Gabriela¹, Rodríguez-Rivas Antonio¹.*

¹ Departamento de Madera, Celulosa y Papel "Ing. Karl Augustin Grellman", Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, México.

hectorj.contreras@academicos.udg.mx, jesus.aortega@academicos.udg.mx,
carlosa.ramirez@academicos.udg.mx, sara.diaz@academicos.udg.mx,
antonio.rivas@academicos.udg.mx.

Área de participación: **Ingeniería Química**

Resumen

Se analizaron mediante espectroscopía de reflectancia total atenuada (ATR-FTIR) muestras de algodón con diferentes grados de humectación y 27 muestras de madera de pino de diversas especies. Con los espectros se llevó a cabo un análisis de correlación bidimensional (2DCOS), para establecer las interacciones entre los grupos funcionales de los materiales. Los espectros sincrónico y asincrónico de la celulosa y la madera permiten establecer la dinámica molecular que se tiene cuando los compuestos lignocelulósicos son sometidos a un cambio, e incluso para establecer las diferencias entre ellos. En el caso de la madera, se tuvo una mejora notable en la resolución de las bandas, lo que facilita la caracterización. Con los espectros 2DCOS fue posible incluso diferenciar el comportamiento de los hidroxilos fenólicos, lo que no puede visualizarse con los espectros ATR-FTIR convencionales. De esta manera, el análisis 2DCOS es una herramienta que complementa notablemente la espectroscopía FTIR.

Palabras clave: Espectroscopía ATR-FTIR, Celulosa, Madera, Correlación bidimensional (2DCOS).

Abstract

Cotton samples with different degrees of moisture content and 27 samples of pine wood of various species were analyzed using Attenuated Total Reflectance FTIR spectroscopy (ATR-FTIR). A Two-Dimensional Correlation Analysis (2DCOS) was performed with the spectra to establish interactions between the functional groups of materials. Synchronous and asynchronous spectra of cellulose and wood allowed the establishment of molecular dynamics that occur when lignocellulosic compounds are subjected to a change, and even to establish the differences between them. In the case of wood, there was a notable improvement in the resolution of the bands, which facilitates characterization. With 2DCOS spectra it was even possible to differentiate the behavior of phenolic hydroxyls, which cannot be visualized with conventional ATR-FTIR spectra. In this way, 2DCOS analysis is a tool that significantly complements FTIR spectroscopy.

Keywords: ATR-FTIR Spectroscopy, Cellulose, Two-dimensional correlation analysis (2DCOS), Wood.

Introducción

Los materiales lignocelulósicos son los componentes estructurales de las plantas superiores, y consisten principalmente de dos fracciones. Una de carbohidratos, llamada *holocelulosa*, que a su vez consta de celulosa

y hemicelulosas, y una fracción aromática compuesta de lignina [1]. Las estructuras y propiedades fisicoquímicas de estos biopolímeros son completamente diferentes, varios cientos de millones de años de evolución en las plantas produjeron un material compuesto que tiene características sumamente importantes, como la resistencia mecánica y la biodegradabilidad.

No es de extrañar que la celulosa y la lignina, los principales componentes de los materiales lignocelulósicos, sean los polímeros más abundantes en la naturaleza; además de su innegable importancia en las plantas, estos materiales son una materia prima significativa. Durante siglos han servido a la humanidad como fuente de energía y material de construcción (principalmente en forma de madera) [2], como fibras textiles de algodón o lino (celulosa) y como papel y cartón. Estas últimas aplicaciones implican mayoritariamente a la celulosa, que es un material versátil para modificaciones químicas, y actualmente es el principal carbohidrato a nivel industrial [3]. Los materiales lignocelulósicos se están usando cada vez más para nuevas aplicaciones industriales debido precisamente a que son abundantes, renovables y biodegradables. El uso de estos materiales podría ayudar a reducir la dependencia excesiva de los recursos petroquímicos y, al mismo tiempo, proporcionar una alternativa sostenible para la gestión de residuos. Además, se han estado desarrollando aplicaciones sustentables para la biomasa lignocelulósica, que incluyen biorrefinación para biocombustibles, así como producción bioquímica, usos biomédicos, compuestos farmacéuticos, bioplásticos, materiales multifuncionales de carbono y otros productos ecológicos [4].

Debido a que en los materiales lignocelulósicos se encuentran los compuestos más abundantes, y con una gran variedad de aplicaciones sustentables, su análisis químico es una tarea de vital importancia en el ámbito del estudio y aprovechamiento de recursos forestales [5,6]. Entre las técnicas que se emplean para este propósito se encuentra la espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), que destaca por ser rápida, no destructiva y brindar información sobre los grupos funcionales de los materiales orgánicos. Se puede obtener información adicional de los espectros FTIR utilizando la espectroscopía de correlación bidimensional (2DCOS), desarrollada por Noda [7]. Este análisis consiste en inducir cambios selectivos en el estado, orden y/o entorno de los componentes de las muestras. La respuesta global del sistema estimulado conduce a cambios distintivos en el espectro medido, el cual es conocido como *espectro dinámico*. Los datos se recogen de forma sistemática y se convierten en un mapa de correlación 2D a través del análisis de correlación cruzada [8].

Los espectros 2DCOS proporcionan información útil que no está disponible directamente, o al menos no es evidente, a partir de un conjunto de espectros convencionales (1D). Algunas de las características más notables de la técnica 2DCOS son la simplificación de espectros complejos compuestos de picos superpuestos, mejora de la resolución espectral por medio de la extensión de los picos a lo largo de la segunda dimensión, y el establecimiento de la secuencia de variación a través de la correlación de las bandas acopladas selectivamente por diversos mecanismos de interacción [9]. Estas características hacen que la técnica sea muy adecuada para la investigación de polímeros complejos, tanto sintéticos como naturales [10, 11]. Con base en lo antes expuesto, el objetivo de la presente investigación es determinar la información adicional que puede obtenerse con la espectroscopía de correlación bidimensional en la celulosa y la madera, para establecer la pertinencia de esta técnica en la caracterización de materiales lignocelulósicos. La celulosa se estudió con diferentes grados de humectación, lo que provoca un cambio en la interacción de los grupos OH, uno de los más importantes en la estructura de este carbohidrato. En la madera, se analizaron los espectros de varias especies de pino para establecer los cambios en los espectros debido a las diferencias en los componentes químicos, consecuencia de las características propias de cada especie y su ubicación geográfica en México.

Metodología

Se utilizaron fibras de algodón (*Gossypium hirsutum*), que es esencialmente celulosa pura; estas fibras se aclimataron a 25°C y 35% de humedad relativa y se dividieron en siete porciones por duplicado. Dos de ellas se

sometieron a un proceso de secado a 100°C, durante dos tiempos, 90 y 120 minutos. Cuatro se colocaron en un desecador con agua en la parte inferior para humidificarlas; el proceso se llevó a cabo a 25°C y las muestras se dejaron por tiempos de 30, 60 120 y 480 minutos. La muestra restante se acondicionó a 25°C y 35% de humedad relativa y se usó como referencia.

En cuanto a la madera, se usaron tablillas debidamente identificadas y catalogadas de nueve especies de pinos, de muestras colectadas en diversas zonas de México (Chihuahua, Durango, Nuevo León, Puebla, Jalisco Michoacán, Guerrero, Veracruz, Oaxaca y Chiapas). Las especies analizadas fueron *Pinus arizonica*, *P. ayacahuite*, *P. devoniana*, *P. douglasiana*, *P. durangensis*, *P. oocarpa*, *P. patula*, *P. Pringlei* y *P. pseudostrobus*. Se tomaron tres muestras de cada especie, analizando la albura expuesta mediante corte tangencial. Las maderas se ambientaron por cinco días en el laboratorio, con las mismas condiciones del algodón sin humectación ni secado (25°C y 35% de humedad relativa).

Se obtuvieron los espectros de las muestras de algodón y madera en un espectrómetro Perkin-Elmer, modelo Spectrum GX, usando aditamento PIKE MIRacle de reflectancia total atenuada horizontal (HATR) de reflexión simple y con cristal de diamante. Se obtuvieron espectros de transmitancia por triplicado de 4000 a 800 cm^{-1} con una resolución de 4.00 cm^{-1} y 16 barridos (el diamante absorbe entre 2300 y 1800 cm^{-1} , por lo que deben ignorarse las lecturas en este intervalo). Con el software disponible en el equipo (Spectrum versión 10.4 [12]) los espectros se cambiaron a absorbancia, suavizaron, corrigió la línea base y normalizaron.

Para la espectroscopía de correlación bidimensional (2DCOS) se utilizó el software desarrollado en Python por Shigeaki Morita de la Osaka Electro-Communication University de Japón, disponible para descarga en GitHub [13]. El programa permite evaluar la evolución de las bandas de absorción y generar los mapas de correlación sincrónica y asincrónica, además de los espectros de autocorrelación. En la región de absorción del cristal de diamante se consideraron lecturas de cero para la absorbancia.

Resultados y discusión

En la Figura 1 se muestran los espectros ATR-FTIR obtenidos para las muestras de algodón, el espectro inferior (negro) corresponde a las fibras secadas por 120 minutos, lo que la convierte en la muestra más seca. En la parte superior, en rojo, la muestra más húmeda, la que estuvo 480 minutos en un ambiente con humedad relativa alta. En gris, y en orden ascendente se encuentran las fibras en las que aumenta gradualmente el contenido de agua. Todos los espectros tienen las mismas bandas en común, son espectros característicos de celulosa.

Las bandas que normalmente se asocian con presencia de agua en los materiales lignocelulósicos son las que corresponden a grupos OH (3570 a 3200 cm^{-1}) y muy particularmente la que se encuentra a 1640 cm^{-1} , que se asigna a agua adsorbida [14]. En la Figura 1 se aprecia que conforme las fibras de celulosa tienen más agua adsorbida, la banda de 1640 cm^{-1} es más intensa y se encuentra más definida; algo semejante puede decirse de la banda de grupos OH, por lo que se establece con relativa facilidad cuáles espectros corresponden a muestras secas y cuáles a muestras húmedas.

Incluso, con muestras en igualdad de condiciones, estas bandas ayudan a establecer cual celulosa tiene estructura más cristalina, pues el ordenamiento molecular hace más difícil que el agua pueda adsorberse, mientras que las fibras celulósicas que se obtuvieron mediante algún tratamiento químico tienen zonas amorfas y pueden adsorber más agua [5]. Conforme aumenta el grado de humectación, es difícil obtener información adicional más allá de la corroboración de la presencia de agua, por lo que técnicas como la espectroscopía de correlación bidimensional (2DCOS) son útiles al probar la dinámica a nivel molecular y las interacciones de un sistema.

Esto se logra mediante la obtención de mapas espectrales generados al aplicar una forma especial de análisis de correlación a un conjunto de intensidades espectrales que varían dinámicamente. Tales variaciones de las señales espectrales, inducidas por una perturbación (el aumento de humedad en este caso), contienen información muy importante sobre el comportamiento de los grupos funcionales que comprenden el sistema [8].

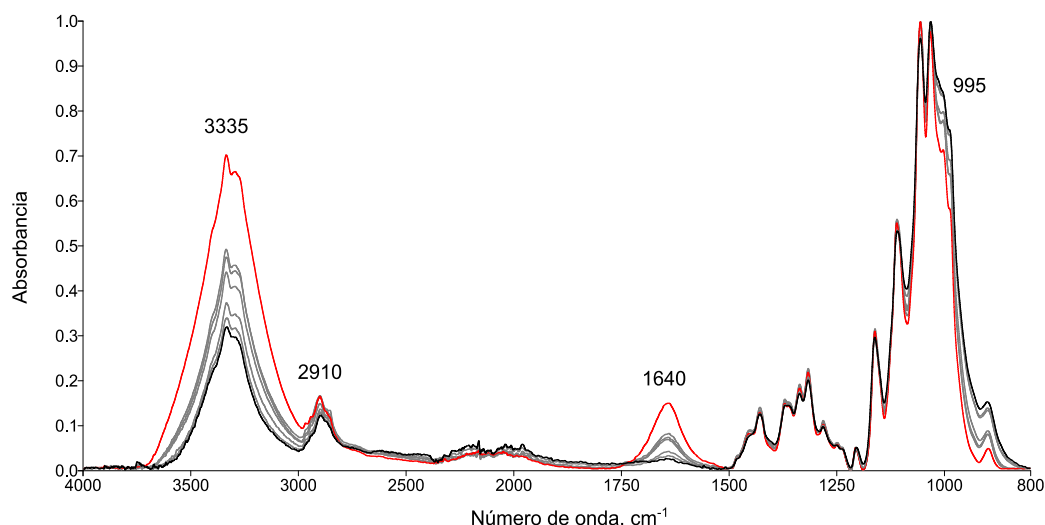


Figura 1. Espectros ATR-FTIR de algodón con diferentes tratamientos. En negro, espectro inferior, la muestra secada por 120 minutos a 100°C; en rojo, espectro superior, la muestra humectada por 480 minutos. En la Figura 2 se muestran los espectros de correlación bidimensional sincrónica y asincrónica 2DCOS de los espectros ATR-FTIR de las fibras celulósicas. El espectro sincrónico $\Phi(\tilde{\nu}_1, \tilde{\nu}_2)$, a la izquierda, enfatiza similitudes en los cambios de intensidad, y es simétrico con respecto a la diagonal principal; los picos positivos que están sobre la diagonal principal se denominan *autopicos*, e indican la extensión de la perturbación en un número de onda dado. En este caso, la perturbación es el aumento de moléculas de agua adsorbidas en la celulosa. Los picos cruzados localizados fuera de la diagonal principal representan los cambios de intensidades espectrales; si son positivos (rojos), indica que las intensidades espectrales de dos bandas aumentan o disminuyen juntas, mientras que un pico cruzado negativo (azul) indica que la intensidad de una banda aumenta mientras la otra disminuye de una manera coordinada bajo la misma perturbación [9].

En el espectro sincrónico (Fig. 2, izquierda) se tiene un autopico en 3335 cm^{-1} , y dos picos cruzados, uno es positivo (rojo) ubicado en $\Phi(1640, 3335)$, el signo indica que estas bandas cambian en el mismo sentido, si una aumenta la otra también lo hace, lo que puede verse en los espectros de la Figura 1. El pico cruzado negativo (azul), localizado en $\Phi(995, 3335)$ indica que estas bandas cambian en sentido opuesto, así que mientras las de 3335 y 1640 cm^{-1} aumentan, la de 995 cm^{-1} , correspondiente a enlaces C–O del anillo de carbohidrato, disminuye, probablemente debido a la formación de puentes de hidrógeno con el agua adsorbida. En el espectro 2DCOS sincrónico el autopico muestra la extensión de los cambios en la región de los grupos OH, que va de 3650 a 3000 cm^{-1} , lo que también puede verse en los espectros de la Figura 1. Si bien son cambios que se pueden apreciar en los espectros ATR-FTIR, aquí se aprecian más fácilmente, separados del resto de las bandas e indicando el sentido en el que ocurren los cambios en las bandas.

En contraste, en el espectro asincrónico $\Psi(\tilde{\nu}_1, \tilde{\nu}_2)$ los picos cruzados son predominantes. La presencia de un pico asincrónico indica que las variaciones de intensidades espectrales de los dos números de onda del pico cruzado no están totalmente sincronizadas. En otras palabras, los picos de correlación aparecen en un espectro asincrónico sólo si los patrones de la intensidad espectral del cambio que va de $\tilde{\nu}_1$ a $\tilde{\nu}_2$ no son idénticos. El hecho que puedan variar independientemente de los demás implica que las señales espectrales pueden surgir de diferentes constituyentes del sistema, que responden separadamente a la perturbación aplicada. Esta característica es especialmente útil para distinguir bandas espectrales separadas, que podrían responder asincrónicamente a una perturbación dada [8].

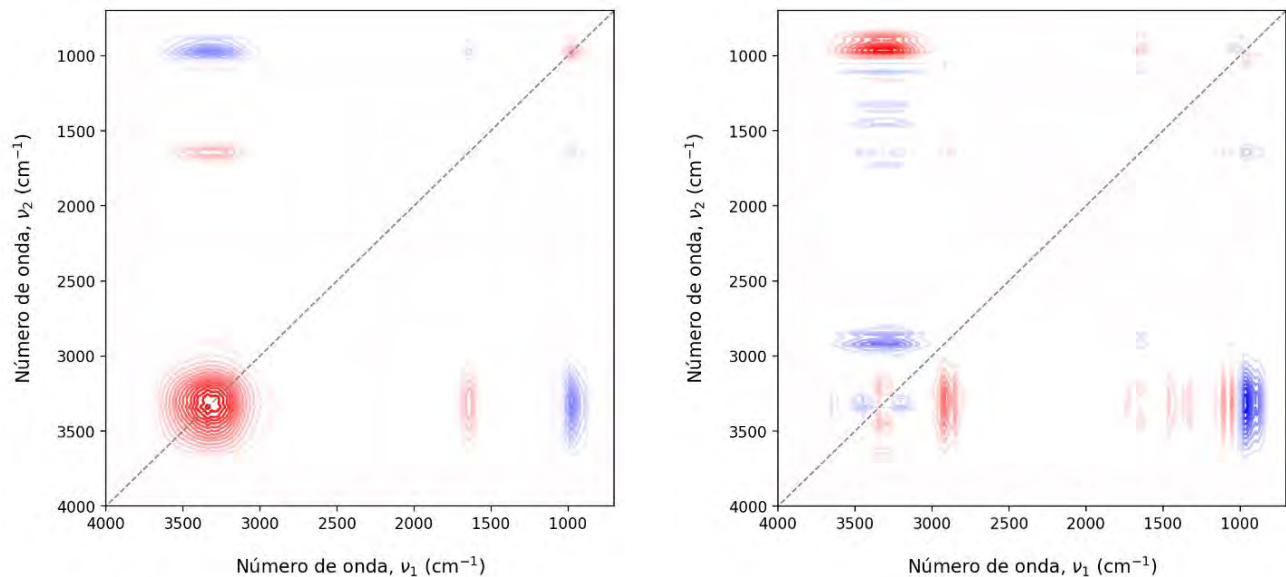


Figura 2. Espectros de correlación bidimensional sincrónica $\Phi(\tilde{\nu}_1, \tilde{\nu}_2)$ (izquierda) y asincrónica $\Psi(\tilde{\nu}_1, \tilde{\nu}_2)$ (derecha) de los espectros ATR-FTIR de las muestras de celulosa seca y humectada. Los picos positivos en rojo y los negativos en azul, la línea punteada es la diagonal principal.

El signo del pico cruzado puede usarse para determinar el orden secuencial de los cambios de intensidad espectral. Si los signos de los picos cruzados sincrónicos y asincrónicos localizados en las mismas coordenadas son iguales, el cambio de intensidad espectral de $\tilde{\nu}_1$ ocurre antes que $\tilde{\nu}_2$, durante el curso de aplicación de la perturbación. Si el signo es diferente, el orden es inverso.

En el espectro asincrónico de la celulosa (Fig. 2, derecha) el pico cruzado $\Psi(995, 3335)$ también aparece en el espectro sincrónico; al ser ambos negativos, primero se tienen cambios en la vibración del grupo C–O y luego en los grupos OH. Respecto a las vibraciones de este grupo funcional, los picos cruzados $\Psi(3270, 3335)$ y $\Psi(3335, 3405)$ dan información importante sobre el comportamiento de los puentes de hidrógeno en la humectación de la celulosa.

En cada unidad de anhidroglucopiranososa de la celulosa se tienen tres grupos OH: dos secundarios, O(2)H y O(3)H, y uno primario, O(6)H, por lo que la cadena de celulosa está, por así decirlo, “tachonada” con grupos hidroxilo. Estos grupos pueden interactuar entre sí, con lo que estabilizan cadenas moleculares largas y las mantienen ordenadas [1]. Estos grupos son capaces de formar dos tipos de puentes de hidrógeno dependiendo de su sitio en las unidades de glucosa: intramoleculares e intermoleculares (Fig. 3).

La banda en 3335 cm^{-1} , que ya se comentó anteriormente, se debe a la vibración de puentes de hidrógeno O(3)H...O(5) entre unidades adyacentes de anhidroglucopiranososa en la misma cadena de celulosa (intramoleculares); la de 3270 cm^{-1} es característica de celulosas de alta pureza y por ende cristalinas (como el algodón) y corresponde a puentes de hidrógeno O(6)H...O(3) entre cadenas de celulosa (intermoleculares). Por último, la banda a 3405 cm^{-1} también corresponde a un puente de hidrógeno intermolecular y denota una estructura cristalina [15, 16].

La banda de 3335 cm^{-1} se puede apreciar fácilmente en los espectros ATR-FTIR (Fig. 1), pues es el pequeño pico que sobresale de la banda ancha. En realidad, esta banda ancha está formada por otras que se traslapan, como es el caso de 3405 y 3270 cm^{-1} que no son fáciles de ver en los espectros ATR-FTIR normales, pero puede apreciarse que son importantes para el proceso que se investiga. Aquí se tiene un ejemplo de cómo la técnica 2DCOS implica también una mejora en la resolución.

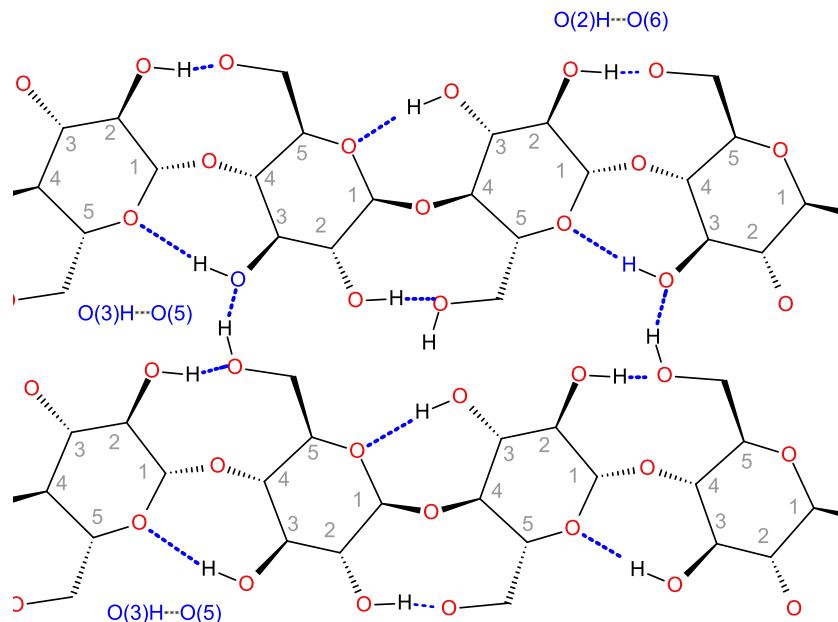


Figura 3. Dos cadenas adyacentes de celulosa mostrando el puente de hidrógeno intermolecular $O(6)H \cdots O(3)$, y los dos intramoleculares: $O(3)H \cdots O(5)$ y $O(2)H \cdots O(6)$. Los puentes de hidrógeno se indican en color azul.

La información que da el espectro 2DCOS es importante, pues indica que las diferentes bandas que componen las vibraciones de los grupos OH no cambian de la misma manera conforme la celulosa se humecta. Las bandas que evidencian fibras celulósicas con alta cristalinidad, y que corresponden a puentes de hidrógeno intermoleculares, no cambian de forma sincronizada con la banda de 3335 cm^{-1} , pues los puentes de hidrógeno intramoleculares tienen un comportamiento distinto con el agua.

Hay otro par de picos cruzados importantes, $\Psi(2910, 3335)$ y $\Psi(1640, 2910)$, indican que la banda a 2910 cm^{-1} (atribuida a enlaces C-H), si bien aumenta cuando las bandas más relacionadas con la presencia de agua en la celulosa también lo hacen, se tiene una dinámica diferente. Por lo tanto, no puede decirse que las variaciones en la intensidad de los enlaces C-H se deban a un mayor grado de humectación de la celulosa, sino al reacomodo molecular que esto ocasiona.

En cuanto a la madera, los 27 espectros son muy parecidos, mas no iguales, pues químicamente son semejantes, y al verlos todos juntos no pueden apreciarse las pequeñas diferencias que hay entre ellos. Por tal motivo, en la Figura 4 solo se muestran los espectros de tres maderas, para ver con mayor facilidad las bandas y como varían levemente entre ellas; en las otras maderas las diferencias son aún menores. En general, las bandas en los espectros corresponden a los grupos funcionales de los componentes macromoleculares, por lo que se tienen bandas de carbohidratos y de grupos aromáticos. Hay algunas diferencias mínimas en las intensidades de las bandas, sobre todo en la región comprendida entre 1750 y 1550 cm^{-1} .

En la espectroscopía de correlación bidimensional (2DCOS) se está considerando como "perturbación" las diferentes especies de madera, con las variaciones en la composición química que esto implica (Fig. 5). Se aprecia que además de las bandas de las regiones de grupos C-H y OH y de agua adsorbida, que ya se discutieron anteriormente y muestran el mismo comportamiento, hay diferencias apreciables en la región que va de 1700 a 950 cm^{-1} . Aquí se tienen bandas que corresponden tanto a carbohidratos como a lignina; las bandas que corresponden a lignina están en 1430 cm^{-1} (vibración de esqueleto aromático combinada con deformación

C–H en el plano), 1375 cm^{-1} (deformación O–CH₃ C–H simétrica) y 1226 cm^{-1} (estiramientos C–C, C–O y C=O) [17].

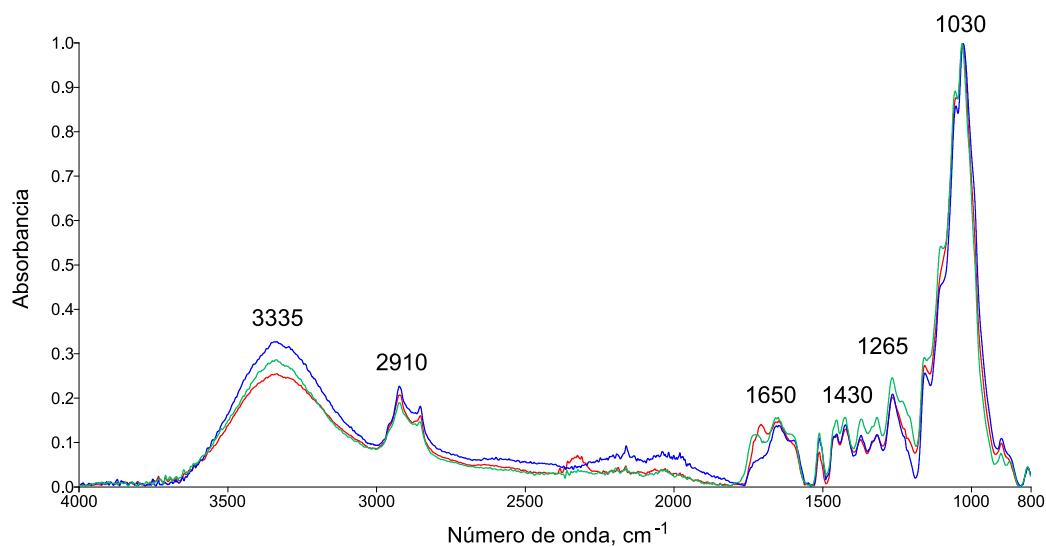


Figura 4. Espectros ATR-FTIR de *Pinus pseudostrobus* (azul), *P. ayacahuite* (verde) y *P. oocarpa* (rojo).

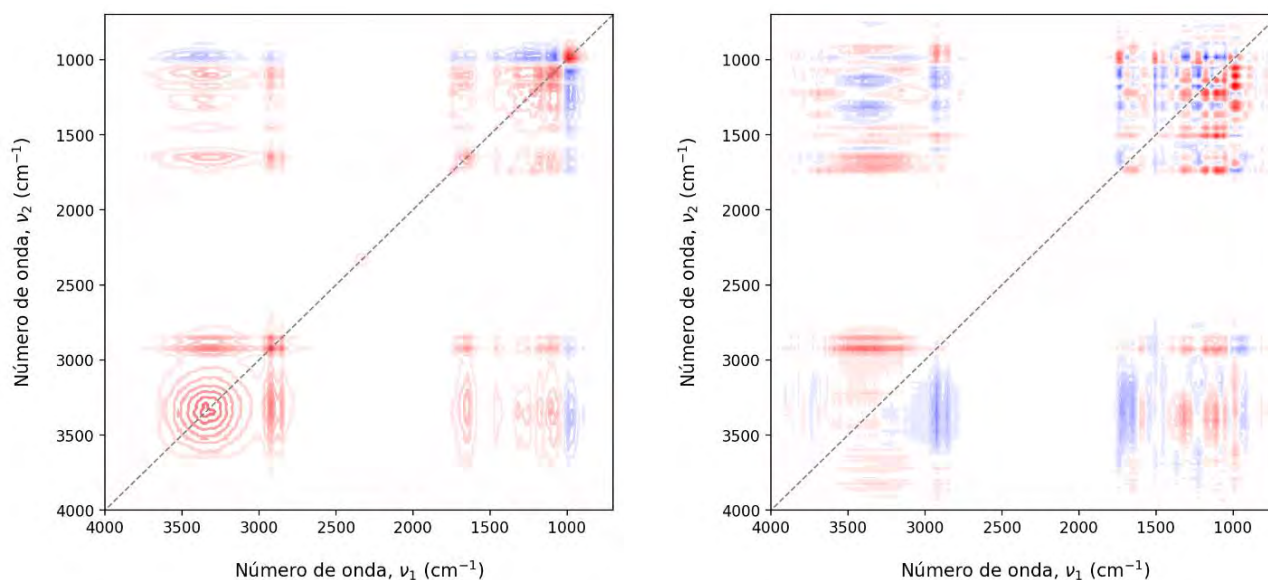


Figura 5. Espectros de correlación bidimensional sincrónica $\Phi(\tilde{\nu}_1, \tilde{\nu}_2)$ (izquierda) y asincrónica $\Psi(\tilde{\nu}_1, \tilde{\nu}_2)$ (derecha) de los espectros ATR-FTIR de las 27 muestras de pinos. Los picos positivos en rojo y los negativos en azul, la línea punteada es la diagonal principal.

En el espectro sincrónico de las maderas (Fig. 5, izquierda) se aprecia que hay una interacción considerablemente más fuerte entre los enlaces O–H y C–H que los observados en la celulosa, como queda de manifiesto en los

picos cruzados positivos (rojos) $\Phi(2910, 3335)$, que se deben a la presencia de lignina y no a la presencia de moléculas de agua en los carbohidratos. La lignina también contribuye a la presencia de grupos OH en la madera, y aporta muchos más enlaces C–H, todo esto de naturaleza fenólica; el que estos picos cruzados sean positivos indican que los grupos funcionales están acoplados, lo que tiene sentido, pues los pinos tienen una lignina de tipo guayacilo, que presenta menos variaciones que la lignina de maderas duras.

Al igual que en la celulosa, se tiene un pico cruzado negativo (azul), localizado en $\Phi(995, 3335)$, que corresponde a los carbohidratos de la madera. Hay otro en $\Phi(995, 1226)$, que corresponde a interacciones entre los anillos de carbohidrato y lignina; como es negativo, primero se tienen cambios en la vibración del grupo C–O del carbohidrato y luego en los mismos tipos de enlaces de la lignina. Este es un ejemplo de la manera en que la correlación bidimensional ayuda a establecer la forma en que se comportan enlaces específicos que se presentan en los componentes de la madera. El espectro asincrónico (Fig. 5, derecha) muestra una gran alternancia de picos cruzados positivos (rojos) y negativos (azul) en la región dactilar (1750 a 900 cm^{-1}). En esta zona se encuentran las bandas de vibración de los enlaces de carbohidratos y lignina, lo que sugiere que los enlaces de los diferentes componentes macromoleculares no tienen el mismo comportamiento, como es de esperarse al tener características químicas diferentes. Esto no es tan evidente en los espectros ATR-FTIR normales, lo que sin duda es una gran mejora en el estudio de las propiedades químicas de las maderas.

Para los carbohidratos de la madera, que comprenden la celulosa y las hemicelulosas, se tienen bandas de 1270 cm^{-1} (vibración de deformación de C–H), 1160 cm^{-1} (vibración asimétrica del grupo C–O–C), 1080 y 980 cm^{-1} (vibración de C–O, en ambos casos) [18, 19] que pueden ubicarse en los espectros 2DCOS. Las bandas de los carbohidratos que no corresponden a grupos OH y C–H, se aprecian más claramente que en el algodón; así pues, el análisis de correlación bidimensional enfatiza diferencias, en el algodón se aprecian los cambios inducidos por la humectación de las muestras y en la madera los cambios debidos a la composición química de las diferentes especies de pino. Si los espectros ATR-FTIR de las 27 muestras de pino fueran iguales, los espectros 2DCOS sincrónico y asincrónico serían cuadros de un solo color, lo que evidentemente no es el caso.

Trabajo a futuro

Se pretende llevar a cabo un análisis de componentes principales (PCA) de las muestras de madera. El propósito es identificar los números de onda que más contribuyen a explicar la variación en los espectros ATR-FTIR y comparar con los resultados aquí obtenido. Con esto se busca tener un cuadro más completo de las contribuciones de los diversos grupos funcionales al ambiente químico de la madera.

Conclusiones

La espectroscopía de correlación bidimensional (2DCOS) es una herramienta que amplía considerablemente la utilidad de la espectroscopía de infrarrojo (FTIR), al permitir el estudio de sistemas dinámicos. Brinda información puntual sobre las bandas de interés, por lo que puede fácilmente complementarse con técnicas como la segunda derivada o deconvolución para lograr una mejor caracterización, y no sólo eso, sino también establecer la interacción entre los grupos funcionales, así como el orden en el que ocurren los cambios.

En el caso de la humectación de celulosa, fue posible establecer que el puente de hidrógeno intramolecular $\text{O}(3)\text{H}\cdots\text{O}(5)$ es el que más cambia debido a la presencia de agua. Esto permite hacer una proposición sobre lo que ocurre en el sistema, pues es posible establecer que los puentes de hidrógeno responsables de la cristalinidad de la celulosa, $\text{O}(6)\text{H}\cdots\text{O}(3)$, no responden de la misma forma, pues no están fácilmente disponibles para formar puentes de hidrógeno con moléculas de agua. Esto no es posible visualizarlo usando únicamente los espectros ATR-FTIR.

En el caso de la madera, fue posible diferenciar entre carbohidratos y lignina, así como las interacciones que se tienen entre estos componentes de los materiales lignocelulósicos. Al estudiar la celulosa, y considerar que más de la mitad de la madera está compuesta de carbohidratos, fue posible enlazar este conocimiento y apreciar mejor las interacciones con los componentes aromáticos de la lignina. De nueva cuenta, esto no puede lograrse cuando se tienen únicamente los espectros ATR-FTIR convencionales.

Los espectrofotómetros FTIR son equipos habituales en los laboratorios de investigación, por lo que metodologías como la espectroscopía de correlación bidimensional (2DCOS) aumentan en gran medida la utilidad de estos equipos analíticos.

Referencias

- [1] S. Imlimthan, P. Figueiredo, H. A. Santos, y M. Sarparanta, "Chapter 1 - Introduction to lignocellulosic materials", en *Lignin-Based Materials for Biomedical Applications*, H. Santos y P. Figueiredo, Eds., Elsevier, pp. 1–34, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820303-3.00010-2>.
- [2] S. He, X. Zhao, E. Q. Wang, G. S. Chen, P.-Y. Chen, y L. Hu, "Engineered Wood: Sustainable Technologies and Applications", *Annu. Rev. Mater. Res.*, vol. 53, núm. 1, pp. 195–223, 2023, doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-010622>.
- [3] A. Etale, A. J. Onyianta, S. R. Turner, y S. J. Eichhorn, "Cellulose: A Review of Water Interactions, Applications in Composites, and Water Treatment", *Chem. Rev.*, vol. 123, núm. 5, pp. 2016–2048, 2023, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00477>.
- [4] J. A. Okolie, S. Nanda, A. K. Dalai, y J. A. Kozinski, "Chemistry and Specialty Industrial Applications of Lignocellulosic Biomass", *Waste Biomass Valorization*, vol. 12, núm. 5, pp. 2145–2169, 2021, doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01123-0>.
- [5] S. Jing, L. Wu, A. P. Siciliano, C. Chen, T. Li, y L. Hu, "The Critical Roles of Water in the Processing, Structure, and Properties of Nanocellulose", *ACS Nano*, vol. 17, núm. 22, pp. 22196–22226, 2023, doi: <https://doi.org/10.1021/acsnano.3c06773>.
- [6] J. Li, C. Chen, J. Y. Zhu, A. J. Ragauskas, y L. Hu, "In Situ Wood Delignification toward Sustainable Applications", *Acc. Mater. Res.*, vol. 2, núm. 8, pp. 606–620, 2021, doi: <https://doi.org/10.1021/accountsmr.1c00075>.
- [7] Y. Park, S. Jin, I. Noda, y Y. M. Jung, "Continuing progress in the field of two-dimensional correlation spectroscopy (2D-COS), part I. Yesterday and today", *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 281, núm. 121573, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2022.121573>.
- [8] P. Lasch y I. Noda, "Two-Dimensional Correlation Spectroscopy (2D-COS) for Analysis of Spatially Resolved Vibrational Spectra", *Appl. Spectrosc.*, vol. 73, núm. 4, pp. 359–379, 2019, doi: <https://doi.org/10.1177/0003702818819880>.
- [9] I. Noda, "Chapter 2 - Advances in Two-Dimensional Correlation Spectroscopy (2DCOS)", en *Frontiers and Advances in Molecular Spectroscopy*, J. B. T.-F. and A. in M. S. Laane, Eds., Elsevier, pp. 47–75, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811220-5.00002-2>.
- [10] Y. Park, S. Jin, I. Noda, y Y. M. Jung, "Continuing progress in the field of two-dimensional correlation spectroscopy (2D-COS), part II. Recent noteworthy developments", *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 284, núm. 121750, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2022.121750>.
- [11] Y. Park, S. Jin, I. Noda, y Y. M. Jung, "Continuing progress in the field of two-dimensional correlation spectroscopy (2D-COS): Part III. Versatile applications", *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 284, núm. 121636, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2022.121636>.
- [12] Perkin-Elmer Inc., Software "Spectrum" version 10.4, 2013.

- [13] S. Morita, "2DPy, Generalized 2D Correlation Spectroscopy by Python", 2022, GitHub. Consultado: el 2 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/shigemorita/2Dpy>
- [14] M. Li, B. He, Y. Chen, y L. Zhao, "Physicochemical Properties of Nanocellulose Isolated from Cotton Stalk Waste", ACS Omega, vol. 6, núm.
- [15] A. Turki, A. El Oudiani, S. Msahli, y F. Sakli, "Infrared Spectra for Alfa Fibers Treated with Thymol", J. Glycobiol., vol. 07, núm. 01, pp. 1–8, 2018, doi: <https://doi.org/10.4172/2168-958x.1000130>.
- [16] C. M. Lee, J. D. Kubicki, B. Fan, L. Zhong, M. C. Jarvis, y S. H. Kim, "Hydrogen-Bonding Network and OH Stretch Vibration of Cellulose: Comparison of Computational Modeling with Polarized IR and SFG Spectra", J. Phys. Chem. B, vol. 119, núm. 49, pp. 15138–15149, 2015, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b08015>.
- [17] J. Reyes-Rivera y T. Terrazas, "Lignin Analysis by HPLC and FTIR: Spectra Deconvolution and S/G Ratio Determination", en Methods in Molecular Biology, vol. 2722, Humana Press Inc., pp. 149–169, 2024, doi: https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3477-6_12.
- [18] V. Sharma, J. Yadav, R. Kumar, D. Tesarova, A. Ekielski, y P. K. Mishra, "On the rapid and non-destructive approach for wood identification using ATR-FTIR spectroscopy and chemometric methods", Vib. Spectrosc., vol. 110, p. 103097, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2020.103097>.
- [19] S. G. Kostryukov, H.B. Matyakubov, Y.Y. Masterova, A.S. Kozlov, M.K. Pryanichnikova, A.A. Pynenkov y N.A. Khluchina, "Determination of Lignin, Cellulose, and Hemicellulose in Plant Materials by FTIR Spectroscopy", J. Analyt. Chem., vol. 78, núm. 6, pp. 718–727, 2023, doi: <https://doi.org/10.1134/S1061934823040093>.

Análisis de la cultura organizacional para la adopción de estrategias en las PYMES de las altas montañas, Veracruz.

Flores García Estela (M.I.)¹, Caballero Guillaumín María Enriqueta (Dra.)², Herrera González Gracia Aida (Dra.)³, Amador Angón Liliana (Dra.)⁴, Ramírez Robles Luis Aarón (Mtro.)⁵

^{1,2,3,4,5} Universidad Veracruzana Facultad de Negocios y Tecnologías, Campus Ixtaczoquitlán, Carretera Estatal Sumidero-Dos Ríos, KM1. Ixtaczoquitlán, Ver.

¹ estflores@uv.mx, ² ecaballero@uv.mx, ³ gherrera@uv.mx, ⁴ lamador@uv.mx, ⁵ luisramirez06@uv.mx

Área de participación: **Ingeniería Administrativa**

Resumen.

El sector PYME es crucial para la economía mexicana, debido a la generación de empleos e ingresos, sin embargo, su vida útil suele ser corta, pues enfrentan algunos desafíos como la desmotivación, poca difusión de programas de apoyo para su crecimiento, falta de capacitación, entre otros. La investigación presenta datos económicos tanto a nivel macro (nacional) como micro (altas montañas), destacando la importancia de crear programas de apoyo. La OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) evalúa anualmente el ecosistema emprendedor en cada país miembro a través de diversos indicadores y sugiere realizar diagnósticos a las unidades de negocio para desarrollar estrategias alineadas con los objetivos nacionales de desarrollo. En la zona estudiada, se aplicó el cuestionario Denison Organizational Culture Survey, además de observación directa para analizar los indicadores recomendados.

Palabras clave: PYMES, desafíos, indicadores, diagnostico, estrategias.

Abstract.

The SME sector is crucial for the Mexican economy, due to the generation of jobs and income, however, its useful life is usually short, as they face some challenges such as demotivation, little dissemination of support programs for their growth, lack of training, among others. The research presents economic data at both the macro (national) and micro (high mountains) levels, highlighting the importance of creating support programs. The OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) annually evaluates the entrepreneurial ecosystem in each member country through various indicators and suggests carrying out diagnoses for business units to develop strategies aligned with national development objectives. In the area studied, the Denison Organizational Culture Survey questionnaire was applied, in addition to direct observation to analyze the recommended indicators.

Key words: SMEs, challenges, indicators, diagnosis, strategies.

Introducción.

Las PYMEs son el motor de la economía en nuestro país. Según una encuesta realizada por el INEGI en el año 2019, se reveló que el 95% de las empresas son de tamaño micro (de 0 a 10 personas ocupadas), el 4% de las empresas son pequeñas (11 a 50 empleados), el 0.8% son medianas (51 a 250 empleados) y el resto pertenecen a grandes empresas. Esto representa una población de 4,857,007 empresas[1] las cuales aportan el 52% del Producto Interno Bruto (PIB) y generan el 72% del empleo

en el país[2]. Este panorama general destaca la importancia de las pymes en la economía, ya que contribuyen con más de la mitad del PIB, indicador clave de la salud económica de un país durante un periodo determinado y sin ellas el desempleo aumentaría considerablemente. En el año 2023 se actualizaron los datos del análisis anterior y al respecto se estimó que nacieron 1.7 millones de establecimientos de este tipo, sobrevivieron 3.4 millones y murieron 1.4 millones, lo que da como resultado un estimado de 5 millones[1][3].

Debido a la importancia de las pymes para la economía del país, es indispensable preservar su vida útil. Sin embargo, la esperanza de vida promedio en estas organizaciones a nivel nacional es de 8.4 años, siendo Veracruz uno de los Estados con menor esperanza de vida[4].

La economía de México está dividida en cuatro regiones: centro, centro norte, norte y sur[5]. Conocer estas regiones es fundamental para la planificación y el desarrollo regional, así como para la identificación de oportunidades, entre otras razones. La región sur está compuesta por los estados de Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán[6]. En particular, el estado de Veracruz debido a su extensión, se subdivide en diez regiones: Huasteca Alta, Huasteca baja, Totonacapan, Nautla, Capital, Sotavento, Altas montañas, Papaloapan, Los Tuxtlas y Olmeca[7].

Cabe mencionar que, en el estado de Veracruz, las PYMES desempeñan un papel crucial en la economía. Según datos recientes, representan el 96.3 de las unidades económicas del estado y contribuyen con un 15.3% a la economía nacional[8].

Las PYMES en las altas montañas.

Hasta el momento, se han expuesto las razones por las cuales las PYMES son importantes para la economía y se ha ubicado la investigación en un contexto territorial en general. En esta sección, se ubicará la investigación en un espacio territorial específico con el objetivo de presentar las características de la zona, cumpliendo así con la recomendación de la OCDE de realizar diagnósticos a las unidades de negocio en áreas específicas.

La región de las altas montañas, ubicada en el centro del Estado de Veracruz, destaca por su alto nivel de desarrollo económico e influencia regional. los principales municipios de esta región son Córdoba, Orizaba, Ixtaczoquitlán y Fortín, los cuales, junto con otros cercanos como Huatusco, Ciudad Mendoza, Nogales, Río Blanco, Tezonapa, Atoyac, Yanga, Amatlán, Coscomatepec, Ixhuatlán del café y Zongolica, forman un núcleo de crecimiento y diversidad. Tres de estos municipios han sido designados como pueblos mágicos, lo que resalta su riqueza cultural y turística. Esta zona es conocida por su diversidad cultural, así como por la variedad de productos y servicios[9].

El municipio de Orizaba es un centro económico dinámico que alberga una amplia gama de actividades tanto formales como informales. Esta diversidad económica atrae a comerciantes de otros municipios y fomenta el comercio local. Según reportes de la CANACO Orizaba el 40% de comerciantes locales optan por la informalidad[10], atraídos por sus ventajas, sin considerar sus desventajas. En lugar de adoptar figuras jurídicas o empresariales, como las cooperativas o los clústeres (técnica utilizada en computación que agrupa varios recursos computacionales para ejecutar tareas, procesar datos y almacenar información)[11], entre otras técnicas y herramientas administrativas. Esta preferencia se debe, en parte, a la falta de capacitación en estos y otros temas esenciales para su desarrollo.

Desafíos que enfrentan las PYMEs en las altas montañas.

La CPEUM (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos), en su artículo 115, regula a los municipios y establece sus funciones, derechos y obligaciones. Entre sus funciones se encuentra la regulación de su administración. Con este fin, el municipio de Orizaba emitió el plan municipal de desarrollo para la administración 2022-2025. Teniendo como objetivo fortalecer acciones y estrategias de impulso económico y turístico, derivando de estos objetivos los ejes y estrategias para su implementación. Dentro de estas estrategias se incluyen el mantenimiento de finanzas sanas, atracción de inversión, promoción del cumplimiento de las obligaciones fiscales para incrementar sus ingresos, acciones para mejorar la calidad educativa, el empleo y el emprendimiento, la coordinación con otros organismos, el impulso al emprendimiento, ferias de empleo y talleres de capacitación. Sin embargo, no contempla la capacitación para los emprendedores en temas administrativos, legales y financieros que serían útiles para los emprendedores[12]

Como se mencionó anteriormente, la zona de las altas montañas está conformada por diversos municipios. Sin embargo, debido a que en Orizaba se concentra gran parte de la actividad económica, se presenta como un ejemplo de políticas y estrategias.

La atracción de ingresos ha propiciado la apertura comercial y, con ello, el aumento en la instalación de empresas asiáticas. Esto presenta desafíos como la competencia desleal, ya que los precios más bajos de los productos asiáticos afectan a las economías locales que no están preparadas para estos cambios[13].

La Asociación de Emprendedores de México (ASEM) realiza el estudio “radiografía del emprendimiento en México” En su versión reciente (2023) se obtuvieron los siguientes porcentajes[14]:

Estrategia de ventas y fidelización de clientes 41.1 %, comunicación, marketing y publicidad 37.3 %

Capacidad de producción y operación 23.6%, administración, control de presupuestos y cálculo de costos y precios 21.8%, gestión contable 9.9% y gobierno corporativo 5.4%, además de otras áreas de oportunidad como son falta de conocimiento en el mercado, mala administración del negocio, problemas con los socios, falta de capital de trabajo, problemas para conseguir financiamiento, falta de clientes, disponibilidad de tiempo, falta de conocimiento técnico, problemas con el equipo de trabajo y corrupción.

Factores para el éxito de las PYMEs.

El ecosistema emprendedor en México tiene una calificación reprobatoria de 2.6 sobre 5, según la evaluación de los emprendedores sobre las condiciones para iniciar un negocio en el país. Esta baja calificación destaca la falta de políticas públicas efectivas para apoyar la creación de nuevos negocios. A continuación, se presenta una tabla que muestra las dimensiones y subdimensiones evaluadas en el estudio realizado por la OCDE, el cual sirve de base para esta calificación y con ello emitir políticas de apoyo.

El desarrollo de estas dimensiones y subdimensiones puede ser un factor clave para el éxito de las PYMEs. Otro aspecto crucial para su desarrollo es la creación de estrategias de fidelización hacia los clientes. Los factores que influyen en la preferencia de los consumidores se encuentran la experiencia del cliente, el valor percibido, la influencia social, las tendencias y novedades, los valores y la responsabilidad social, así como la presencia en redes sociales.

Los indicadores que sirven como base para el estudio de la OCDE son los siguientes [15]:

Dimensiones y subdimensiones

1. Marco institucional	2. Entorno operativo/ simplificación de procedimientos
1.1 Definición de PyME	2.1 Simplificación legislativa y análisis de impacto regulatorio
1.2 Planificación estratégica, diseño de políticas y coordinación	2.2 Registro de empresas
1.3 Consultas público-privadas	2.3 Facilidad de declaración de impuestos
1.4 Medidas para abordar la informalidad	2.4 Gobierno electrónico
3. Acceso al Financiamiento	4. Servicios de desarrollo de las PyMEs y compras públicas
3.1 Marco legal, regulatorio e institucional del acceso al financiamiento	4.1 Servicios de desarrollo de empresa
3.2 Diversificación de Fuentes de Financiamiento a empresas	4.2 Servicios de desarrollo de emprendimiento
3.3 Educación financiera	4.3 Contratación pública
3.4 Procedimientos eficaces para lidiar contra la bancarrota	
5. Innovación y tecnología	6. Transformación productiva
5.1 Marco institucional	6.1 Medidas para mejorar la productividad
5.2 Servicios de apoyo	6.2 Medidas para mejorar las asociaciones productivas
5.3 Financiación de la innovación	6.3 Integración en cadenas de valor regionales y globales
7. Acceso al mercado e internacionalización	8. Digitalización (nueva dimensión)
7.1 Programas de apoyo a la internacionalización	8.1 Estrategia Nacional de Digitalización
7.2 Facilitación del comercio	8.2 Conectividad de banda ancha
7.3 Uso del comercio electrónico	8.3 Habilidades digitales
7.4 Normas de calidad	
7.5 Aprovechamiento de las ventajas de la integración regional de ALC	

Imagen 1. Marco de evaluación de SME PI 2024 para los países participantes de América Latina. Tomado/adaptado[15].

Uno de los factores clave para abordar la informalidad es la creación de una estructura organizacional sólida. Esta estructura debe contener elementos esenciales como el capital, la organización, las personas, los bienes materiales, los procesos, los productos o servicios y el mercado. Todos estos elementos integrados dentro de la cultura organizacional. Por tanto, para abordar la primera dimensión es crucial estudiar y entender los elementos de la cultura organizacional.

Clasificación de la cultura organizacional.

Existen diversas clasificaciones sobre la cultura organizacional. Desde el enfoque de la adaptabilidad en la organización, se pueden distinguir culturas fuertes y débiles, culturas adaptativas y conservadoras[16].

Cultura fuerte: En este tipo de organizaciones, los valores y normas compartidos son profundamente arraigados y ampliamente aceptados por todos los miembros. Esto conduce a una cohesión interna, un fuerte sentido de identidad y una mayor lealtad y compromiso por parte de los empleados. Estas suelen ser más resilientes y adaptativas.

Cultura débil: en este tipo de organizaciones con una cultura débil, los valores y normas no están profundamente arraigados ni son ampliamente aceptados. Esto puede resultar en falta de cohesión, menor compromiso por parte de los empleados y una mayor dificultad para adaptarse a los cambios. Las directrices y comportamientos pueden ser inconsistentes, lo que afecta la eficiencia y la efectividad.

Cultura adaptativa: Las organizaciones con una cultura adaptativa son las que están abiertas al cambio y fomentan la innovación. Estas promueven un entorno en donde los empleados se sienten

cómodos, tomando riesgos calculados y adaptándose a nuevas circunstancias, lo que les permite responder a los cambios en el entorno externo.

Cultura conservadora: este tipo de cultura es más resistente al cambio y se enfoca en mantener las prácticas establecidas. Puede proporcionar estabilidad y predictibilidad, pero también puede limitar la capacidad de la organización para innovar y responder a cambios rápidos en el mercado.

El impacto de la cultura organizacional se refleja en la forma en la que los empleados se comportan, colaboran y enfrentan desafíos. Una cultura fuerte y adaptativa puede ser un gran activo para las organizaciones, para innovar y responder a cambios rápidos en el mercado, por ello es importante conocer la efectividad de la cultura organizacional.

Metodología

El estudio empleó una metodología cuali-cuantitativa. La parte cualitativa se enfocó en comprender la relevancia de las PYMES y aspectos económicos, culturales, competencia principal, apoyo gubernamental y organizacionales de la zona de las altas montañas. La parte cuantitativa se basó en la aplicación del cuestionario Denison para obtener datos numéricos y emplearlos en el análisis estadístico y así relacionar las características presentes en su cultura organizacional.

Este estudio es de carácter no experimental y de alcance descriptivo, ya que no se manipulan variables ni se realiza intervención directa. Se enfoca en describir las características y relaciones entre variables en el contexto de las PYMES, detallando como la cultura y el desarrollo organizacional influyen en el éxito de estas empresas.

Se utilizó el método deductivo, organizando el conocimiento existente sobre cultura organizacional, además de la observación directa y la interpretación de los datos obtenidos de la aplicación del cuestionario. En consecuencia, lo que permite el razonamiento deductivo es organizar lo que ya se conoce y señalar nuevas relaciones conforme pasa de lo general a lo específico, pero sin que llegue a constituir una fuente de verdades nuevas sino basadas en hechos establecidos.

En el enfoque Integral: Se evaluaron las interrelaciones dentro del sistema de las microempresas para obtener una visión completa y desarrollar propuestas de solución.

Establecimiento de la muestra.

Cabe mencionar que debido a algunas limitaciones en la investigación como la disponibilidad de los participantes y el clima de desconfianza, se eligió para este estudio el muestreo de tipo no probabilístico denominado muestreo por cuotas, en el cual según las estadísticas del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) se aplicaron los siguientes filtros: tamaño del establecimiento (de 0 a 250 personas), y el área geográfica (Veracruz), con un subfiltro para los municipios que integran las altas montañas, obteniendo tres estratos de la siguiente manera:

Tabla 1. Integración de la población total de PYMES en la zona de las altas montañas, Veracruz.

Estrato	Tamaño	Total	Porcentaje
Micro	0-10	54,984	95.09%
Pequeñas	11-50	2,468	4.27%
Medianas	51-250	374	0.64%
		57,826	100%

Fuente: elaboración propia con datos recabados de DENUE.

De esta población, se seleccionaron al azar, conforme a la base de datos estadísticos mencionada 10 empresas, como sigue:

Tabla 2. Conformación de la muestra.

Estrato	Tamaño	Total	Porcentaje
Micro	0-10	7	70%
Pequeñas	11-50	2	20%
Medianas	51-250	1	10%
		10	100%

Herramientas

Para esta investigación se utilizó el cuestionario Denison Organizational Culture Survey, diseñado para medir y evaluar la cultura organizacional en las organizaciones y los grupos de trabajo, el cual, Consta de 60 ítems, 5 para cada una de las 12 subdimensiones, las cuales se agrupan en 4 dimensiones o rasgos culturales. Cada ítem codificado en una escala de tipo Likert (Totalmente en desacuerdo, en desacuerdo, neutral, de acuerdo y totalmente de acuerdo), como sigue:

Tabla 3. Dimensiones del cuestionario Denison Organizational Culture Survey.

Características	Índices	No. De preguntas
Involucramiento	Empoderamiento	1 al 5
	Trabajo en equipo	6 al 10
	Desarrollo de capacidades	11 al 15
Consistencia	Valores centrales	16 al 20
	Acuerdo	21 al 25
	Coordinación e integración	26 al 30
Adaptabilidad	Creación del cambio	31 al 35
	Enfoque en el cliente	36 al 40
	Aprendizaje organizacional	41 al 45
Misión	Dirección y propósitos estratégicos.	46 al 50
	Metas y objetivos	51 al 55
	Visión	56 al 60

Debido a que la investigación se centra en analizar la adaptabilidad de las organizaciones a nuevos cambios y a las estrategias enfocadas al cliente y a construir nichos de mercado, se aplicaron los ítems correspondientes a la dimensión de adaptabilidad.

El instrumento descrito se difundió a través de la herramienta de Google forms y posteriormente el software estadístico para interpretación de datos minitab.

02/08/2024 08:02:16 a. m.

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Correlations: X, Y .

Pearson correlation of X and Y = 0.897

P-Value = 0.000

De acuerdo con el análisis realizado en el software estadístico Minitab, el análisis demuestra que el 89.7% de relación existe indicando que cada colaborador que entiende la relación entre su trabajo y los objetivos de la organización propicia la creación de valor en la cultura organizacional.

Resultados y discusión



Figura 1. Los grupos y "NO" los individuos son los principales pilares de esta organización, elaboración propia/2024.

Interpretación: el 54% de la población reconoce que los grupos forman parte de la base de trabajo cuando se trata de establecer objetivo y metas comunes en los sistemas productivos. Sin embargo, un 46% no visualiza el trabajo colaborativo como estrategia de la cultura organizacional, detectado con ello un área de oportunidad.



Figura 2. El trabajo se organiza de modo que cada persona entiende la relación entre su trabajo y los objetivos de la organización, elaboración propia/2024.

Interpretación: el 76% de la población denota que si cada colaborador tiene claro el objetivo de la organización es mucho más eficiente en la ejecución de los procesos asignados dentro del sistema.

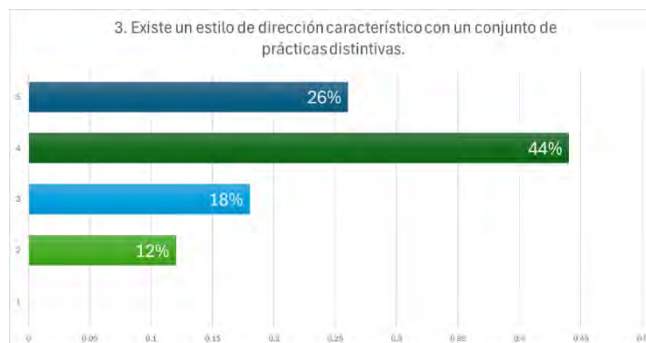


Figura 3. Existe un estilo de dirección característico con un conjunto de prácticas distintivas, elaboración propia/2024.

Interpretación: la población expresa que en un 66% deben establecer practicas distintivas con la finalidad de identificar el objetivo o la meta de cada proceso interno y con ello minimizar la incidencia de fallas o errores por la falta de transparencia en la información y sobre todo de la retroalimentación elemento característico para mejorar de manera continua.



Figura 4. Alineación de objetivos entre los niveles del sistema organizacional, elaboración propia/2024.

Interpretación: El 68% está de acuerdo que la estructura jerárquica del sistema organizacional juega un papel importante en el desempeño de la productividad vista desde el enfoque de cultura organizacional.

5. Adoptamos continuamente nuevas y mejores formas de hacer las cosas

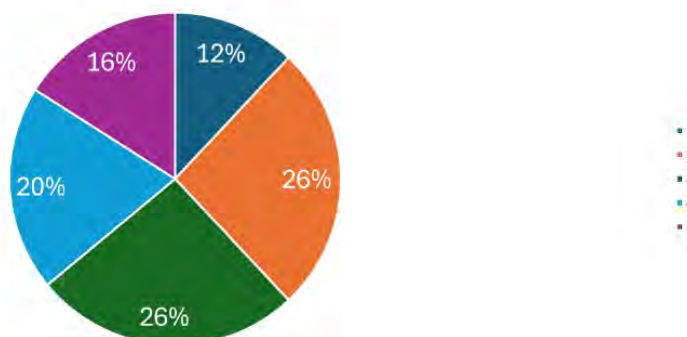


Figura 5. Existe un estilo de dirección característico con un conjunto de prácticas distintivas, elaboración propia/2024.

Interpretación: El 72% menciona que es muy importante la existencia de un estilo definido de dirección el cual permita un pleno desarrollo de la cultura organizacional de la empresa y con ello lograr mantener un crecimiento sostenido con el paso del tiempo.

Trabajo a futuro

Futuras investigaciones al respecto podrían dirigirse a la propuesta de creación de la metodología del marco lógico para incluir acciones específicas de capacitación financiera y comercial para las PYMES dentro de los planes municipales de desarrollo de la zona con la transversalidad de

instituciones de educación universitaria, proyectos de concientización a cerca de las ventajas de la formalidad para gestionar recursos federales que puedan contribuir a su crecimiento, creación de programas de difusión de los programas federales creados a su favor, además de otros aspectos que influyen en la implementación de estrategias para el crecimiento y prolongación de su vida útil.

Conclusiones

Las PYMEs constituyen la mayoría de las empresas y aportan el 52% del PIB en el país, lo que subraya su importancia en el desarrollo económico. Estudiar estas empresas es crucial para entender su contribución a la economía. Las PYMEs están influenciadas por distintos fenómenos del ambiente externo, pero obedecen a una cultura única enfocada en la supervivencia y los intereses crecimiento económico.

Existen diversos tipos de cultura organizacional. sin embargo, para ser funcional, es importante considerar factores como el contexto socioeconómico, valores y tradiciones locales, normas y regulaciones, disponibilidad de talento, competencia y mercado, así como infraestructura y recursos.

Las empresas en la zona deben establecer ventajas competitivas para crear valor y poder competir con las empresas asiáticas y sus precios bajos. Por ello, proponemos que la cultura organizacional se enfoque en la adaptabilidad con un enfoque al cliente, orientando los esfuerzos a satisfacer las necesidades del mercado objetivo e incentivando la creación de productos que puedan competir con estas condiciones.

La cultura prevaleciente, se caracteriza por su enfoque en el desempeño económico, omitiendo el ambiente organizacional. La ideología dominante se orienta hacia la maximización de las ganancias mediante una visión falsa de la productividad en términos de la cultura organizacional; por ello, la implementación de una identidad organizacional clara, un sistema de control efectivo, una estructura de poder definida, así como la utilización de símbolos, rituales y rutinas, se convierte en la mejor estrategia para alcanzar una estructura organizacional estable.

Referencias

- [1] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, “Estudio sobre la demografía de los negocios 2023 (guía metodológica)”, INEGI. Consultado: el 4 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://en.www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463912620.pdf
- [2] Zamora Guzmán Israel, “fortalecer a las pymes, el impulso para la reactivación económica”, *Forbes*, abr. 2022.
- [3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Estadísticas a propósito del día de las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) (27 de junio).”, 2024. Consultado: el 22 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2024/EAP_MIPY MES24.pdf
- [4] Instituto Nacional de Estadística y Geografía., “Economía y sectores productivos.”, 2019. Consultado: el 21 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/dn/>

REMOCIÓN DE HIDROCARBURO EN UN SUELO DE MANGLAR EN EL ESTADO DE TABASCO

Fuentes-Domínguez Irene ^b, Ojeda-Morales Marcia E.¹, Morales-Bautista Carlos M.¹, Córdova-Bautista Yolanda.¹, Morales-López Karla C.¹

¹Red de Investigación Multidisciplinaria en Materia Ambiental. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán-Jalpa de M. Km 1, La Esmeralda, Cund., Tabasco México, C.P 86690

Email: carlos.morales@ujat.mx*

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

La Región Sureste de la República Mexicana es la zona petrolera más importante, ya que ocupa el segundo lugar como productor de hidrocarburos a nivel nacional. Sin embargo, de manera indirecta estos procesos han afectado los ecosistemas en el estado de Tabasco, entre los que se encuentran los suelos de zonas costera donde predomina especies vegetales como el manglar. Estos eventos han creado la necesidad de implementar tecnologías para la restauración de sitios contaminados a bajo costo y tiempos cortos. La reacción Fenton es un proceso de oxidación avanzada (AOP) que ofrece ventajas como rapidez y eficiencia en la degradación de compuestos orgánicos. En este trabajo se cuantificó la remoción de hidrocarburos del petróleo (HTP) y sus fracciones SARA, en función de la reacción Fenton en la cual se variaron el tipo de ácido (H_2SO_4 , HNO_3 y HCl) y el porcentaje del agente oxidante (30% y 50%). Los resultados muestran remoción de HTP. Sin embargo, influye el agente oxidante en la remoción para algunos ácidos ya que, si bien el H_2SO_4 mostró la misma remoción para el 30% y 50% de H_2O_2 , el HNO_3 mostró mejoras pasando del 40% de HTP al 53% (30% y 50% de H_2O_2 , respectivamente), en contraste el HCl se mostró inversamente pasando del 70% al 58% de remoción de HTP, HNO_3 presentó un 70% (30% y 50% de H_2O_2 , respectivamente).

Palabras clave: reactivo Fenton, TPH, SARA, suelo.

Abstract

The Southeast Region of the Mexican Republic is the most important oil zone since it occupies second place as a producer of hydrocarbons at the national level. However, indirectly these processes have affected the ecosystems in the state of Tabasco, among which are the soils of coastal areas where plant species such as mangroves predominate. These events have created the need to implement technologies for the restoration of contaminated sites at low cost and, short times. The Fenton reaction is an advanced oxidation process (AOP) that offers advantages such as speed and efficiency in the degradation of organic compounds. In this work, the removal of petroleum hydrocarbons (HTP) and its SARA fractions was, quantified, based on the Fenton reaction in which the type of acid (H_2SO_4 , HNO_3 and, HCl) and the percentage of the oxidizing agent (were varied 30% and 50%). The results show elimination of HTP. However, the oxidizing agent influences the removal for some acids since, although H_2SO_4 showed the same removal for 30% and 50% H_2O_2 , HNO_3 showed improvements from 40% to 53% of HTP (30 % and 50% of H_2O_2 , respectively). In

contrast, HCl showed the opposite, going from 70% to 58% of HTP (30% and 50% of H_2O_2 , respectively).

Key words: SARA, soils, reactive Fenton

Introducción

La formación del suelo inicia con la desintegración de la roca madre provocado por factores ambientales en combinación con actividad biológica [1]. Con base en el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). En México existen 26 de 32 grupos de suelos reconocidos por (IUSS), mientras que en Tabasco se encuentran distribuidos 19 grupos de suelos [2]. Desde el punto de vista ambiental es un sitio de alto valor ecológico, donde principalmente alberga suelos de manglar y en ellos desarrollan diferentes especies de mangles que son piezas claves en materia de cambio climático y especies protegidas [3].

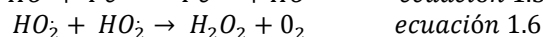
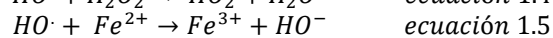
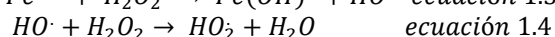
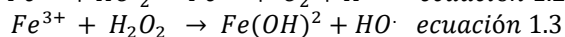
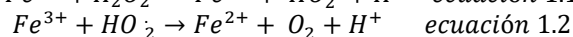
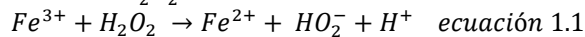
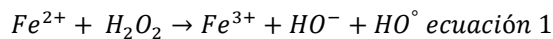
Actualmente, los suelos de Tabasco se ven afectados por factores como malas prácticas agrícolas, uso de plaguicidas-fertilizantes, explotación de los recursos, actividades antropogénicas y lo más frecuente por derrame de hidrocarburos. En la mayoría de los casos, la autodepuración no es suficiente, incluso en diversos casos, los productos de degradación pueden ser más tóxicos a los que inicialmente se derramaron [4]. Por ejemplo, se ha reportado que la concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HPA) en suelos de manglar están relacionadas con el contenido de carbono orgánico. Además, el hidrocarburo se encontraba en todos los horizontes de suelo de manglar. Por estas razones, se sugiere que el contaminante tiene diversas rutas de biomagnificación y transformación [5].

En el caso de la costa Tabasqueña, esta posee diversas zonas de manglar que presentan este mismo fenómeno, pero hasta la fecha son escasos los estudios sobre las posibles alternativas de remediación. En zonas similares, se han aplicado procesos de oxidación avanzada (AOP) que han demostrado ser una alternativa prometedora y la remoción de compuestos orgánicos, principalmente aquellos con características tóxicas. Una tecnología AOP reacción Fenton, la cual tiene tres componentes principales: reductor, oxidante y catalizador. Dentro de los agentes reductores se encuentran los ácidos (H_2SO_4 , HCl, HNO_3 , H_3PO_4), quienes proporcionan condiciones de intercambio de cationes. Los oxidantes son oxisales ($NaMnO_4$, $KMnO_4$, O_3 , ClO^- , H_2O_2 , Cl_2). Los catalizadores son precursores metálicos, el más empleado son las de Fe [1].

Es importante señalar que, en la remediación de suelos, existen dos procesos importantes: 1) La sorción, es un proceso de adhesión de un compuesto a la superficie de una partícula de la matriz y 2) la desorción, que es el proceso donde la sustancia es absorbida y liberada a la superficie. La comprensión de la sorción y desorción es muy importante ya que puede predecir su comportamiento y riesgo al medio ambiente. En las últimas décadas, los AOP han sido aplicados como pretratamiento con el fin de desorber los hidrocarburos en el suelo y paralelamente convertirlos a fracciones más ligeras; posteriormente, se aplican técnicas biológicas que, si bien se aplican durante un periodo extenso, han sido consideradas económicas [6].

Por otra parte, diferentes autores describen el mecanismo del proceso Fenton. Inicialmente se produce al agregar algún oxidante como H_2O_2 al cualquier precursor de hierro (Fe^{2+}), la cual produce iones hidroxilos (OH^{\cdot}) (ecuación 1), esta reacción continua con Fe^{3+} y H_2O_2 (ecuación 1.1 y ecuación 1.2) hasta formar el hidróxido de hidróxido de hierro en medio alcalino (ecuación 1.3), reacción del oxidante en este medio para la producción de iones HO_2 , ha sido considerada como la reacción limitante del proceso (ecuación 1.4). Además, la presencia de Fe^{2+} se mantienen en el medio a través de su regeneración a partir de iones férricos (ecuación 1.5) [2]. En la terminación del ciclo, los radicales hidroxilos generados en la ecuación pueden reaccionar a la vez con los Fe^{2+} y H_2O_2 , pero paralelamente consumen dicho radical; por ello, es importante establecer las cantidades adecuadas

de estos reactivos. Algunos reportes sugieren agregar exceso de peróxido de hidrogeno con respecto a la cantidad de hierro [3].



En este contexto, se han reportado diversos factores que influyen en la reacción Fenton [4-6].:

- 1. pH:** Tiene un fuerte efecto sobre la química y la eficacia del H_2O_2 , afectando la solubilidad del catalizador y la reactividad hacia el H_2O_2 , así como los radicales formados y la degradación de los contaminantes. Mantener un pH en un rango de 3 a 4, permite asegurar una fase homogénea durante el proceso, mientras que pH menor permite que los hidróxidos férricos precipiten formando compuestos férricos que reacciona con el H_2O_2 disminuyendo la eficiencia del proceso.
- 2. Radicales:** El H_2O_2 forma radical hidroxilo (OH^\cdot), radical superóxido (O_2) y radical perhidroxilo (HO_2^\cdot). Los cuales, están controlados por parámetros como la concentración del oxidante, catalizador, solutos orgánicos o inorgánicos y pH. Esto puede afectar el rendimiento, debido a que ciertos contaminantes solo pueden degradarse bajo condiciones químicas específicas.
- 3. Concentración inicial ferrosa:** Se ha reportado que la degradación de compuestos orgánicos es mayor cuando la concentración de iones ferrosos también es alta hasta un nivel en él se producen reacciones considerables de competencia por el radical hidroxilo (OH^\cdot).
- 4. Concentración inicial del H_2O_2 :** Este parámetro incide directamente en la eficiencia del proceso, usualmente se observa que el porcentaje de degradación de los contaminantes aumenta cuando se incrementa la dosificación. Sin embargo, un exceso de oxidante se convierte en un agente competidor de los mismo radicales hidroxilos generados.
- 5. Temperatura de reacción:** La eficiencia de la degradación no se ve afectada cuando la temperatura aumenta de 10 a 40°C mientras que el incremento en la eficiencia del proceso es significativo a temperaturas mayor de 25°C, sin embargo, a temperaturas mayor la variación de 40°C la eficiencia ya no suele ser significativa y sobre todo arriba de 40°C se promueve la descomposición de acelerada del H_2O_2

Por lo que esta investigación tiene como objetivo evaluar un proceso fisicoquímico para la restauración de un suelo de manglar contaminado con petróleo a nivel laboratorio y evaluar el efecto en la remoción del contaminante y sus fracciones saturados (S), aromáticos (A), resina (R) y asfáltenos (As). En función del tipo de ácido (H_2SO_4 , HNO_3 y HCl) (**radicales**) y el porcentaje del agente oxidante (30% y 50%) (**concentración inicial de H_2O_2**), con el fin de optimizar el tratamiento y su posible aplicación en suelos de manglar en Tabasco con ello, generar aportaciones al área científica.

Metodología

Materiales y recolecta de muestras

El suelo de manglar se recolectó en el ejido Úrsulo Galván, Jalpa de Méndez, Tabasco (15 Q 494261 m E y 2032112 m N) que es una zona aledaña a un Área Natural Protegida (ANP), con especies de manglares. El muestreo fue aleatorio y consistió en la toma de muestras de suelos libre de hidrocarburos. Para hacer las recolectas se retiró la capa superior, principalmente hojarasca,

empleando una pala. Luego, utilizando cava hoyos, se extrajo suelo desde el primero horizonte hasta donde se observó el nivel freático (entre 0 cm y 90 cm de profundidad) [8-10].

Proceso del suelo libre de hidrocarburos

Las muestras de suelo fueron secadas al aire libre, molidas y tamizadas (#10). Posteriormente, fueron analizadas con base en la Norma Oficial Mexicana [8-10].

Determinaciones grasas y aceites orgánicos al suelo libre de contaminante.

Las grasas y aceites en suelo testigo, se determinaron con base al método de extracción continua según lo especifica la norma mexicana NMX-AA-134-SCFI-2006, Suelos-hidrocarburos fracción pesada por extracción y gravimetría [11-12].

Sustancias químicas

Se utilizó el petróleo crudo proveniente batería de separación Samaria-Luna II, en Tabasco (15 Q 22496 m E, 40263 m N), gravedad específica de 0.839 g/cm³. Sulfato de sodio anhidro (Na₂SO₄) MEYER A.C.S, Hexano REASOL A.C.S, Sulfato ferroso heptahidrato (FeSO₄.7 H₂O), ácidos: (H₂SO₄, HNO₃ y HCl MEYER A.C.S a una concentración de 0.5 N y peróxido purificado al 50% (H₂O₂).

Diseño experimental

Para llevar a cabo el proceso fisicoquímico se propuso un diseño experimental completamente al azar: con dos concentraciones de petróleo crudo, tres tipos de ácidos (agente reductor) y dos agentes oxidantes (figura 1).

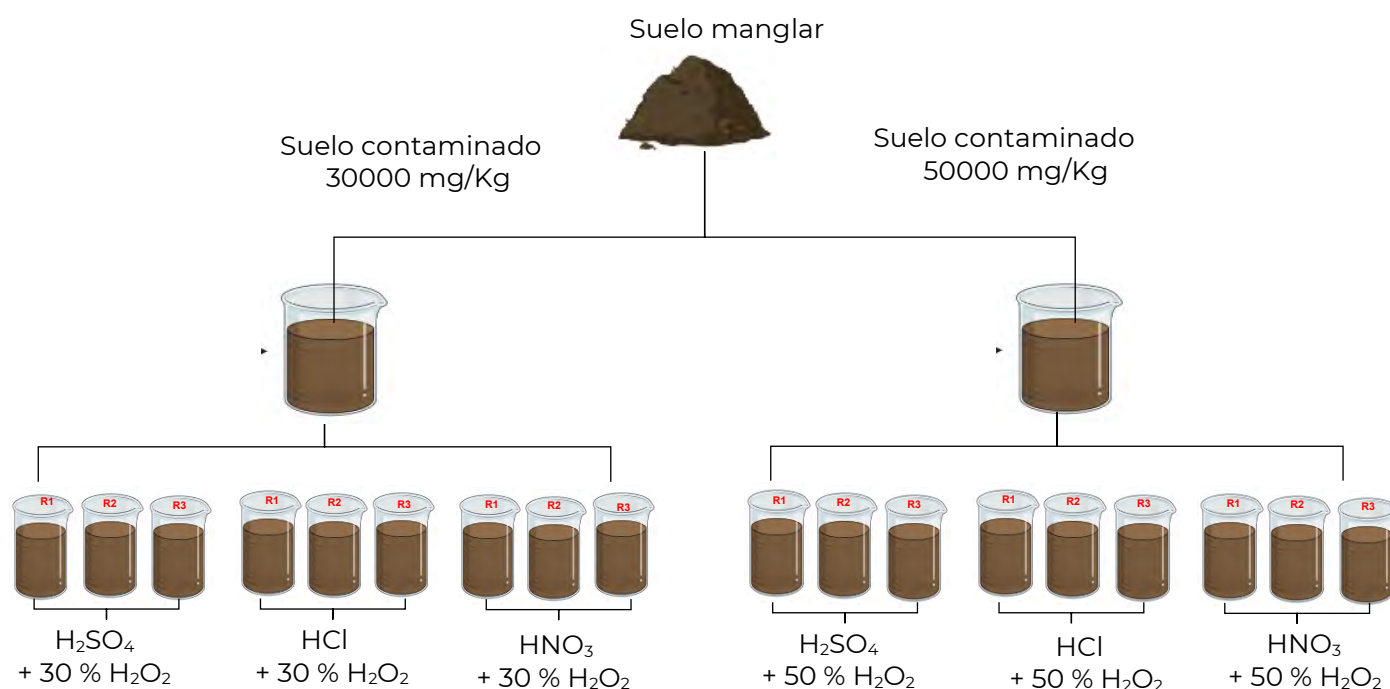


Figura 1: Diseño experimental.

Contaminación artificial del suelo de manglar

Se contaminó 200 g el suelo de manglar a dos concentraciones: 30000 y 50000 mg/kg, con sus réplicas. La concentración de 30000 mg/Kg se adicionó 7.2 mL de petróleo crudo y la concentración 50000 mg/Kg se agregó 12 mL a cada tratamiento, posteriormente se homogenizaron y se dejó reposar por 24 h con la finalidad de que el contaminante tuviera mayor distribución en la matriz de suelo, así mismo se evaporan algunas fracciones ligeras, lo cual ocurre en derrame real.

Transcurrido el tiempo se procedió a disminuir pH, esto se realizó agregando 50 mL de las soluciones de ácidos para cada tratamiento, homogenizando y se dejando interactuar de 10 min. Seguidamente, se tomaba lectura al pH, este procedimiento se realizó hasta alcanzar un valor de pH=3. Alcanzado este valor, se adicionó 2.5 g del catalizador $\text{FeSO}_4 \cdot (7\text{H}_2\text{O})$, y finalmente se agregaron 15 mL de H_2O_2 . Cabe mencionar que en cada fase se homo el suelo, la reacción se realizó por 24h [5,6,14]. Se determinaron hidrocarburos totales del petróleo o HTP (5 g de suelo + 7 g de sulfato anhidrido 7g con 90 mL de hexano (C_6H_6) en un equipo Soxhlet) [12,14]. Del extracto HTP obtenido, se determinaron fracciones SARA, está técnica basada en la adsorción selectiva sobre un sólido aplicando la técnica cromatografía en columna. La columna se preparó con papel filtró, algodón, sílice gel 60 y sulfato de sodio anhidro. Para extraer cada fracción, se emplearon mezclas de disolvente (1:1), hexano-tolueno (saturados), tolueno-metanol (aromáticos), metanol-cetona (resinas). Todas las determinaciones de HTP y fracciones se realizaron por método de gravimetría [12,15,16] (figura 2).

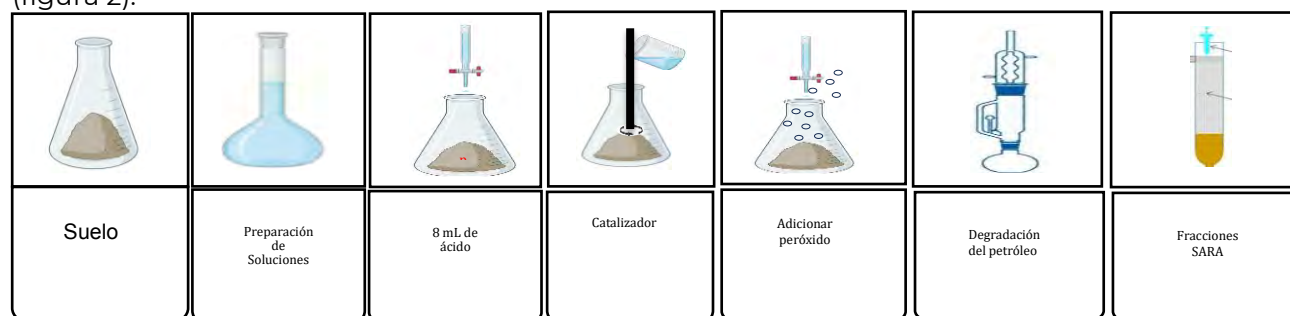


Figura 2: Aplicación y seguimiento del tratamiento fisicoquímico.

Resultados y discusión

Tratamientos

Los resultados mostraron que los suelos tratados presentaron un decremento de HTP. En cuanto a los tratados con H_2O_2 al 30%, H_2SO_4 mostró mejores resultados alcanzando una remoción final del 75%, en comparación con los tratamientos HCl y HNO_3 que obtuvieron un 70% y 40%, respectivamente. Sin embargo, al comparar las remociones con los tratamientos con H_2O_2 al 50%, se observó que si bien el H_2SO_4 conservó la misma remoción de HTP (75%), los otros ácidos presentan comportamientos diferentes. Por ejemplo, HNO_3 mostró mejoras al aumentar al 53% remoción de HTP, en contraste HCl no presentó mejoras ya que con redujo la remoción de HTP a un 58% remoción de HTP. Por lo anterior se concluyó que la reacción Fenton utilizando como precursor al Fe^{+2} como catalizador está limitada por el tipo de ácido y las condiciones oxidantes que mejoras la disposición de iones, como es el caso del H_2SO_4 en comparación con HNO_3 y HCl [4-6, 17]. Resalta el H_2SO_4 cuyo porcentaje de remoción es mayor y su disponibilidad en el mercado (se desecha en endulzadora de petróleo crudo) [18,19].

En cuanto a la concentración del contaminante, se ha reportado los iones de hierro pueden formar complejos con los HAP y debilitar los enlaces adsorbentes de los complejos de petróleo formados con la superficie del suelo [4]. Esto hace plantear la hipótesis de que el uso de del ácido sulfúrico es

mejor y que a pH bajos favorece la generación de más radicales. De la misma forma, el ácido nítrico es un agente reductor pero el ajuste del pH reduce la producción de radicales libre [17].

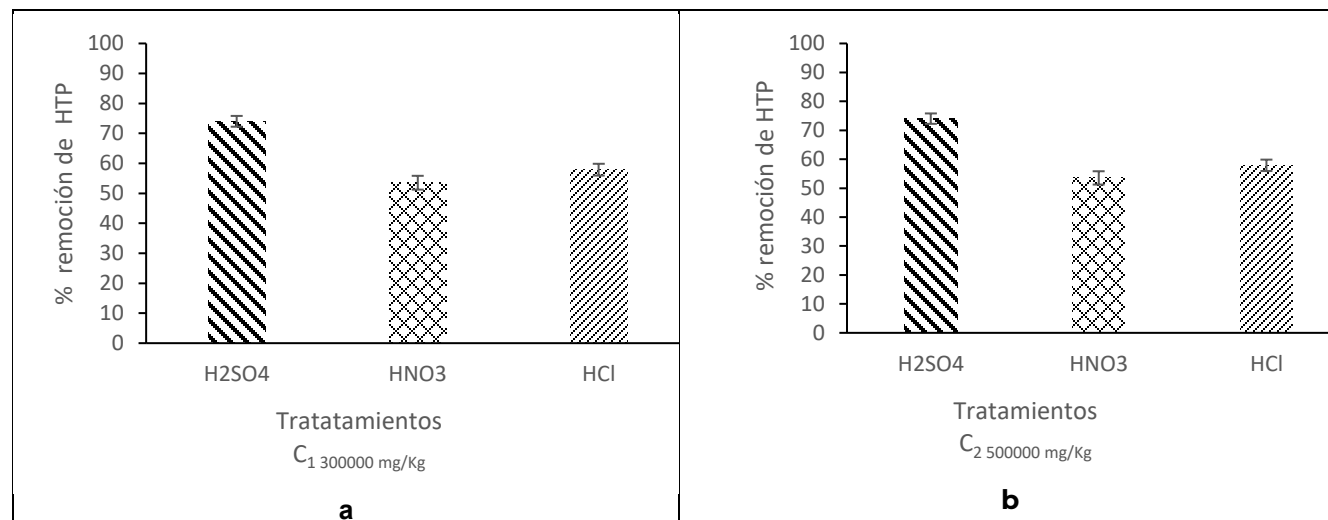


Figura 2. Porcentaje de remoción en los tratamientos con los tres tipos de ácidos

Fracciones Sara de los tratamientos

Después del tratamiento, se observa que la reacción Fentón aumentan y reducen las fracciones del petróleo crudo (Figura 3). Por un lado, se observó que en suelos tratado aumentaron las fracciones saturadas y en algunos casos las resinas, en contraste las aromáticas y asfáltenos disminuyen sus porcentajes. Este fenómeno puede relacionarse con algunos reportes que establecieron que el proceso oxidación va fraccionando las cadenas largas y complejas, principalmente con anillo aromáticos y compuestos polares, hacia cadenas más cortas y lineales Las selectividades de ruptura de este tipo de fracciones puede deberse a la protonación de estas y el fácil intercambio con iones hidroxilos y la producción de agua que genera radicales, lo cual puede observarse en la figura 3 c, en la cual el H₂SO₄ no existe presencia de las resinas [19,20].

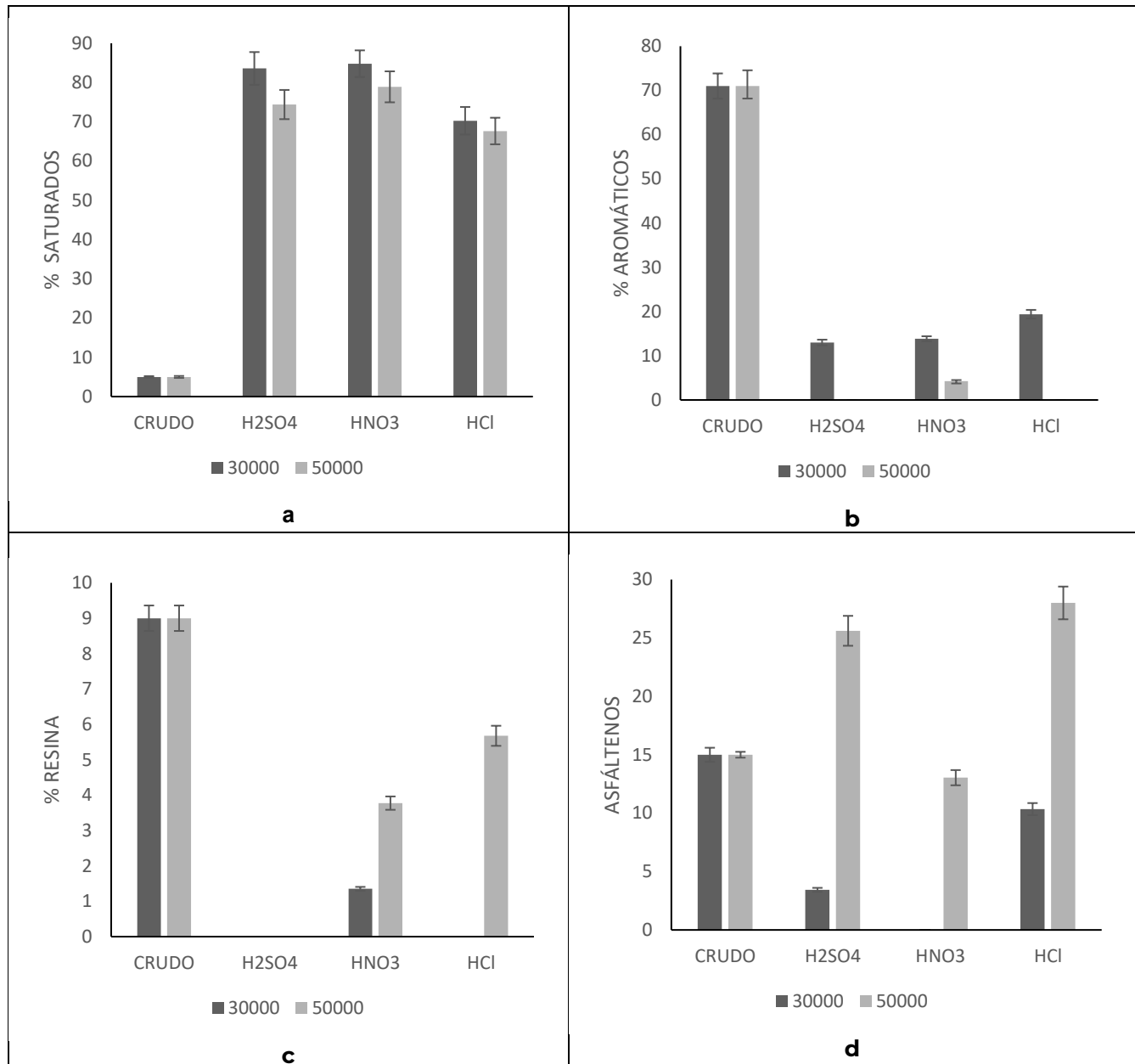


Figura 3. Fracciones SARA: saturados (S), aromáticos (A), Resina (R) y asfaltenos (As)

Perspectivas

Evaluar el acoplamiento a un proceso biológico el suelo tratado para determinar las fracciones finales resultantes y que estas no representen un riesgo para la salud del ecosistema y de los habitantes que se benefician de sus servicios ambientales, así mismo determinar los efectos en el crecimiento de manglar antes y después del tratamiento con el fin de determinar su factibilidad.

Conclusiones

Se concluye que la reacción Fenton es prometedora en la degradación de hidrocarburos, pero está limitada por el tipo de ácido que se emplea y la concentración del oxidante. En los cuales, el ácido sulfúrico muestra mayores rendimientos (75%) seguido de HCl, con las ventajas que emplean como oxidante al peróxido de hidrogeno en porcentaje al 30%, en comparación con ácido nítrico quien para mejorar su rendimiento de remoción al 58% necesita aumentar la cantidad de oxidante. Además, todos los productos de reacción suelen tener altos porcentajes de saturados y asfaltenos, pero el ácido sulfúrico no presentó fracciones resinas como productos.

Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (Conahcyt) por la beca de la manutención para la realización de los estudios de posgrado, así como a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por la infraestructura científica para el desarrollo de la investigación.

Referencias

- [1] M. P. H. Tapia, "Evaluación de la eficiencia de la remoción de hidrocarburos totales de lodos petrolizados empleando un proceso de oxidación química", Universidad Politécnica, México, 2016.
- [2] A. S. V. S. R. A. L. L. Arturo Romero, "In situ oxidation remediation technologies: Kinetic of hydrogen peroxide decomposition on soil organic matter", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 170, pp. 627-632, 2009.
- [3] E. A. M. J. Pignatello A., "Advanced Oxidation Processes for on the Fenton Reaction and Related Chemistry, Taylor & Francis", *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2012, pp. 1-84.
- [4] S.G., H. K. N. Chiew Lin Yap, "Fenton based remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons-contaminated soils", *Chemosphere*, vol. 82, pp. 1114-1130, 2011.
- [5] G. X.B., "Remediation petroleum oil-contaminated soil using combination and, modified Fenton oxidation", *International Biodeterioration y biodegradation*, vol. 89, n.º 95, 2012.
- [6] W. M. E. A. M. O.V. Akpoveta, "Fenton treatment via oxidative mechanism and its kinetics on soil", *ScienceDirect*, vol.1, n.º 5, pp. 1-6, 2018.
- [7] O. Somoza, "Implementación de buenas prácticas agrícolas para la gestión ambiental rural", *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, vol. 44, n.º 3, pp. 398-423, 2018.
- [8] R. F. F. y. D. P. Palma, "Actualización de la clasificación de suelos en Tabasco, México", *Agroproductividad*, vol. 10, n.º 12, pp. 8, diciembre 2017.
- [9] I. G. d. T. WRB., "Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007", *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos*, n.º 103, FAO, p. 103, 2007,
- [10] A. D. "Standard practice for extraction of solid waste samples for chemical analysis using Environmental Assessment, Book of Standards", vol. 11, n.º 4, pp. 9, 2004.
- [11] N. O. M. NOM-021-SEMARNAT-2000, "Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 antes NOM-21-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis", *Diario Oficial de la Federación*, 2002.
- [12] N. O. M. NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, "Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT-2012 que establece los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.", pp. 17, 2012.

- [13] C. M. A. C. Martínez, "Extracción de hidrocarburos pesado en suelo arenoso", *Avances en Ciencias e Ingeniería*, vol. 8, n.º 1, p. 9, 2017.
- [14] J. D. L. L. Z. C. Jinlan Xu, "Fast-stimulating bioremediation of macro crude oil in soils using matching Fenton pre-oxidation", *Chemosphere*, vol. 252, pp. 1-10, 2020.
- [15] D. C. Marín-García, "Effect of crude petroleum on water repellency in a clayey alluvial soil". *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 13, p. 55-64, 2016.
- [16] A. G. A. C. Lamus y B. O. M. Murcia, "Uso de análisis multivariado en la determinación SARA de crudos por espectroscopia NIR", *Revista Colombiana de Física*, vol. 43, n.º 3, p. 8, 2011.
- [17] W. T. L.-Y. P. Y.-H. K. Yong Sik Jung, "Effect of pH on Fenton and Fenton-like oxidation", *Environmental Technology*, vol. 30, n.º 2, pp. 1-9, 2009.
- [18] A. D. . S. T. M. f. I. i. n.-H. I. A. i. H. Dembicki, "Practical Petroleum Geochemistry for Exploration and Production", *Elsevier*, vol. 4, n.º 3, p. 82, 2022.
- [19] R. H. Adams, "Field-scale evaluation of the chemical-biological stabilization process for the remediation of hydrocarbon-contaminated soil", *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 11, p.1343-1352, 2014.
- [20] R. H. Adams, "Treatment of water-repellent petroleum-contaminated soil from Bemidji, Minnesota, by alkaline desorption", *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 13, 2249-2260, 2016.

IMPLEMENTACIÓN DE LEAN SIX SIGMA EN ATENCIÓN AL CLIENTE EN LA MICROEMPRESA "CONEXIÓN TOTAL"

Paxtián-Méndez, Gerardo 1, Posadas-Trejo, Carlos Romeo 1***

1 Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Acayucan

*1*gerardo.pm@acayucan.tecnm.mx*

*1**trejo_85@hotmail.com*

Área de participación: **Ingeniería Industrial**

Resumen

El presente artículo describe la implementación de las filosofías lean manufacturing y Six sigma en la microempresa Conexión Total; esta microempresa lleva poco tiempo en el mercado pero se ha preocupado por la satisfacción cliente, por lo que al realizar un muestreo, se observó que existen muchas quejas en el tiempo de entrega de los productos o el cliente no encontró lo que buscaba. Para ello se trabajó en la eliminación de mudas (desperdicios) y se mejoró en la eficacia disminuyendo las variaciones en los procesos mediante la metodología DMAIC; al implementar estas metodologías, se obtuvo como beneficio el disminuir los tiempos de atención, lo que trajo como consecuencia el aumento de satisfacción de los clientes y de las utilidades del negocio.

Palabras clave: *Six sigma, lean manufacturing, cliente.*

Abstract

This article describes the implementation of lean manufacturing and Six Sigma philosophies in the Conexión Total microenterprise; This micro-enterprise has only been in the market for a short time but has been concerned about customer satisfaction, so when sampling, it was observed that there are many complaints about the delivery time of the products or the customer did not find what they were looking for. To this end, work was done on the elimination of mudas (waste) and efficiency was improved by reducing variations in the processes using the DMAIC methodology; By implementing these methodologies, the benefit was to reduce service times, which resulted in increased customer satisfaction and business profits.

Keywords: *Six Sigma, lean manufacturing, customer.*

Introducción

Socconini (2019) define a Lean Manufacturing como un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación del desperdicio o excesos, entendiendo como exceso toda aquella actividad que no agrega valor en un proceso, pero si aumentan costo y trabajo" [1]

Para " (Escobedo, 2021) Six Sigma es una filosofía de trabajo y una estrategia de negocios que se basa en el enfoque hacia el cliente, en un manejo eficiente de los datos y las metodologías y en diseños robustos, que permiten eliminar la variabilidad

en los procesos y alcanzar un nivel menor o igual a 3.4 defectos por millón de oportunidades”. [2]

Se entiende por desperdicio [3], cualquier recurso que se emplea de más, respecto a los necesarios para producir un determinado producto, o para la prestación de un servicio. Existen diferentes tipos de desperdicios en una organización, sobreproducción, tiempo de esperas, transporte, movimientos innecesarios, exceso de almacenamiento, defectos, rechazos y reproceso. [4]

Hoy las empresas que siguen siendo lentas para entregar sus productos o servicios, tienen constantes quejas y rechazos, manejan costos de manufactura altos, tienen procesos inconsistentes, el trato al cliente es malo y su comunicación es deficiente por lo que están destinadas a desaparecer.

El principal problema a resolver es el tiempo de espera en la atención a los clientes, en dos procesos específicamente, la búsqueda de accesorios y la impresión de archivos. Primero se abordó el proceso de búsqueda de accesorios con la filosofía lean manufacturing y el otro problema de espera en impresión de archivos con la filosofía six sigma.

Metodología

Teniendo en cuenta la tabla 1, se procedió a identificar la queja más elegida por los clientes, donde los "tiempos de entrega" obtuvo el puntaje mayor, por lo tanto, el enfoque fue darle solución a dicha problemática. Con la atención y mejora de este rubro los clientes podrán estar más satisfechos y el negocio obtendrá mayores utilidades.

Quejas	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Tiempos de entrega	6	6	27.28	27.28
No encontró lo que buscaba	5	11	22.73	50.01
Precios altos	4	15	18.18	68.19
Confort en el local	3	18	13.63	81.82
Mala actitud de servicio	2	20	9.09	90.91
Otros	2	22	9.09	100
Total	22		100	

Tabla 1. Frecuencia de las principales causas de insatisfacción por parte de los clientes. Elaboración propia.

Los datos de la tabla 1 se colocaron en el programa Minitab®, obteniéndose los resultados de manera gráfica, tal y como se pueden visualizar en la Figura 1.

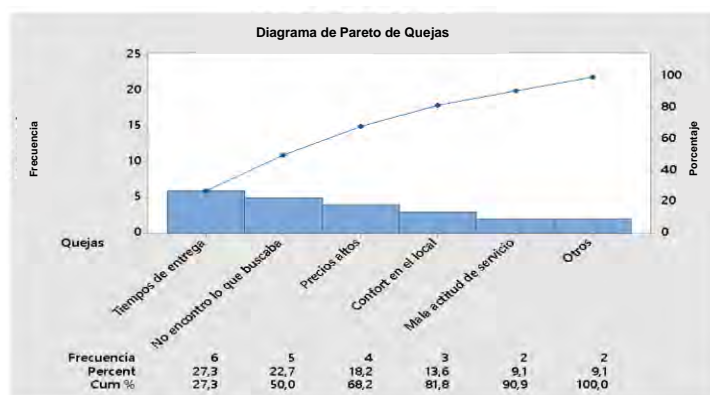


Figura 1.- Diagrama de Pareto realizado en Minitab, de las quejas de los clientes. Elaboración propia.

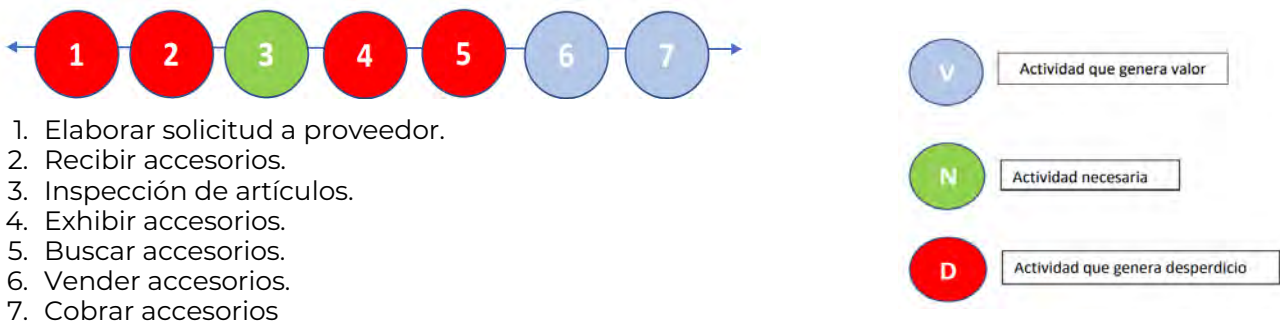
Materiales

Los principales materiales que fueron requeridos para el desarrollo de este proyecto, son los programas Minitab® [5] y Excel, los cuales no fueron adquiridos, debido a que la microempresa cuenta con las licencias para su uso.

Desarrollo

Un primer paso fue identificar las actividades del proceso necesarias para poder entregar un producto o el servicio y que forman la cadena de valor.

Posteriormente se clasificó a las actividades que agregan valor, las necesarias y por último las que generan desperdicios.



1. Elaborar solicitud a proveedor.
2. Recibir accesorios.
3. Inspección de artículos.
4. Exhibir accesorios.
5. Buscar accesorios.
6. Vender accesorios.
7. Cobrar accesorios

Primeros resultados

(Análisis de producto-cantidad) (PC)

La microempresa Conexión Total tiene el objetivo de disminuir el tiempo de espera de los clientes para ser más eficientes y lograr una cadena de valor más ágil. Por lo que, se tuvo la necesidad de realizar la tabla 2, ya que esto permitió obtener los datos necesarios para desarrollar el diagrama de Pareto, que se puede observar en la figura 2, desarrollado en minitab®. Se pudo verificar mediante el gráfico de Pareto, que hay tres productos que son los principales que están afectados en el proceso de entrega, tal y como se muestra en la tabla 3, y que principalmente son los tiempos de entrega donde el cliente se ha quejado.

I. Nivel de servicio (tiempos de entrega) de 8 minutos a 2 minutos.

ANÁLISIS DE PARETO

PRODUCTOS	FRECUENCIA	FRECUENCIA ACUMULADA	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO
# 4	5	5	41,667	41,667
# 6	3	8	25,000	66,667
# 8	2	10	16,667	83,333
# 10	1	11	8,333	91,667
# 12	1	12	8,333	100
	12		100	

Tabla 2.- Tiempos de entrega de productos

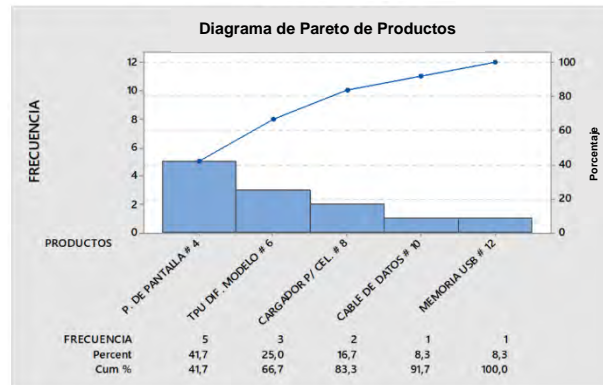


Figura 2.- Diagrama de Pareto de tiempos de entrega

Volumen de mercancía por día	Accesorio	Solicitud	Compra	Traslado	Exhibir accesorios	Ofrecer accesorios	Búsqueda de accesorios	Venta	Cobro	Entrega
5	Protector de pantalla #4	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	TPU diferentes modelos #6	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	Cargador para celular V8 #8	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabla 3.- Familia de productos (Accesorios para celular)

Estos productos comparten el mismo proceso, se van a considerar solo las actividades que agregan valor.

En conexión total se labora de lunes a sábado $6 \times 4 = 24$ días al mes

La demanda del cliente es la siguiente:

Producto # 4 requieren 5 accesorios diarios $5 \times 24 = 120$

Producto #6 requieren 3 accesorios diarios $3 \times 24 = 72$

Producto #8 requieren 2 accesorios diarios $2 \times 24 = 48$

10 accesorios diarios

$(120+72+48) = 240$ accesorios al mes

8 horas diarias $\times 60$ minutos = 480 minutos

Alimentos diarios= 30 minutos

Tolerancia= 10 minutos

Tiempo programado muerto= 15 minutos

5S= 10 minutos

Llenado de registros: 20 minutos

$(30+10+15+10+20) = 85$ minutos

Tiempo neto disponible= $(480-85) = 395$ minutos

Takt time= El tiempo disponible/ demanda

Tiempo disponible= 395 minutos

Demanda del cliente por día = 10 accesorios
 Takt time= (395/10) = 39.5 accesorios por minuto

VSM Actual

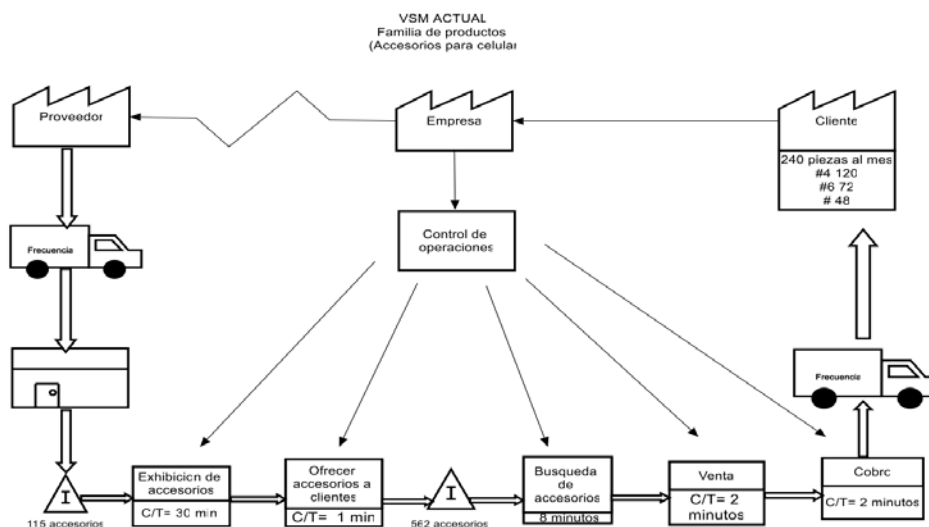


Figura 3.- VSM de la venta de accesorios para celular

Inventario del proceso de almacén 115 accesorios / 10 piezas diarias que demanda el cliente = 11.5 días

Inventario del proceso de búsqueda de accesorios = 562 accesorios / 10 accesorios que demanda el cliente al día = 56.20 días.

- Tiempo de entrega de producción= 11.5 + 56.20= 67.7 días = 68 días
- Tiempo de procesamiento de la cadena de valor es = 30 + 1 + 8+ 2+ 2= 43 minutos

El tiempo que no está agregando valor es de 68 días y el tiempo de procesamiento es de 43 minutos.

Resultados y discusión

El proyecto Lean [6] se puede solucionar con herramientas de control y sentido común como por ejemplo 5 s o un inventario de accesorios en Excel que permitan eliminar el efecto de la espera en la cadena de valor.

Implementación del inventario de accesorios en Excel

- 1.- En la primera actividad se realizó un inventario físico de todos los accesorios.
- 2.- Posteriormente, se diseñó en Excel los elementos que van a constituir el inventario de los accesorios, por ejemplo: accesorios, entradas, salidas, stock e indicadores de niveles de inventario.
- 3.- Enseguida se ingresó en las celdas de Excel la marca, el modelo y la cantidad de accesorios.

INVENTARIO DE ACCESORIOS CONEXIÓN TOTAL												
ACCESORIOS						ENTRADAS			SALIDAS			
CODIG	MODELO Y MARCA	ENTRADA	SALIDA	STOCK	CODIG	MODELO Y MARCA	FECH	CANTIDZ	CODIG	MODELO Y MARCA	FECH	CANTIDZ
1010241	MICA TEMPLADA HUAWEI ONE FUSION PLUS	1	0	1	1010241	MICA TEMPLADA HUAWEI ONE FUSION PLUS	5/05/2022	1	1010241	MICA TEMPLADA HUAWEI ONE FUSION PLUS		0
1010242	MICA TEMPLADA HUAWEI MATE 20 LITE	3	0	3	1010242	MICA TEMPLADA HUAWEI MATE 20 LITE		3	1010242	MICA TEMPLADA HUAWEI MATE 20 LITE		0
1010243	MICA TEMPLADA HUAWEI P SMART PLUS	5	0	5	1010243	MICA TEMPLADA HUAWEI P SMART PLUS		5	1010243	MICA TEMPLADA HUAWEI P SMART PLUS		0
1010244	MICA TEMPLADA HUAWEI P 20 PRO	2	0	2	1010244	MICA TEMPLADA HUAWEI P 20 PRO		2	1010244	MICA TEMPLADA HUAWEI P 20 PRO		0
1010245	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5 2018	4	0	4	1010245	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5 2018		4	1010245	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5 2018		0
1010246	MICA TEMPLADA HUAWEI Y6 2018	4	0	4	1010246	MICA TEMPLADA HUAWEI Y6 2018		4	1010246	MICA TEMPLADA HUAWEI Y6 2018		0
1010247	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5 PRO/Y5 LITE/Y5 2	6	0	6	1010247	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5 PRO/Y5 LITE/Y5 2		6	1010247	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5 PRO/Y5 LITE/Y5 2		0
1010248	TPU XAOMI POCO DRAGON X3 TRANSPARENTE	1	0	1	1010248	TPU XAOMI POCO DRAGON X3 TRANSPARENTE		1	1010248	TPU XAOMI POCO DRAGON X3 TRANSPARENTE		0
1010249	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5 LITE/Y3 2017	1	0	1	1010249	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5 LITE/Y3 2017		1	1010249	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5 LITE/Y3 2017		0
1010250	MICA TEMPLADA HUAWEI G88	1	0	1	1010250	MICA TEMPLADA HUAWEI G88		1	1010250	MICA TEMPLADA HUAWEI G88		0
1010253	MICA TEMPLADA HUAWEI YSI CUN L03	1	0	1	1010253	MICA TEMPLADA HUAWEI YSI CUN L03		1	1010253	MICA TEMPLADA HUAWEI YSI CUN L03		0
1010254	MICA TEMPLADA HUAWEI Y3 II	1	0	1	1010254	MICA TEMPLADA HUAWEI Y3 II		1	1010254	MICA TEMPLADA HUAWEI Y3 II		0
1010255	MICA TEMPLADA HUAWEI G ELITE PLUS/Y6 PRO	1	0	1	1010255	MICA TEMPLADA HUAWEI G ELITE PLUS/Y6 PRO		1	1010255	MICA TEMPLADA HUAWEI G ELITE PLUS/Y6 PRO		0
1010257	MICA TEMPLADA HUAWEI MATE 9 LITE/GW ME	5	0	5	1010257	MICA TEMPLADA HUAWEI MATE 9 LITE/GW METAL		5	1010257	MICA TEMPLADA HUAWEI MATE 9 LITE/GW METAL		0
1010258	TPU ZTE V20 SMART TRANSPARENTE	1	0	1	1010258	TPU ZTE V20 SMART TRANSPARENTE		1	1010258	TPU ZTE V20 SMART TRANSPARENTE		0
1010259	MICA TEMPLADA HUAWEI P8/P9 LITE 2017	3	0	3	1010259	MICA TEMPLADA HUAWEI P8/P9 LITE 2017		3	1010259	MICA TEMPLADA HUAWEI P8/P9 LITE 2017		0
1010260	MICA TEMPLADA HUAWEI P9 PLUS	2	0	2	1010260	MICA TEMPLADA HUAWEI P9 PLUS		2	1010260	MICA TEMPLADA HUAWEI P9 PLUS		0
1010261	MICA TEMPLADA HUAWEI P10 PLUS	1	0	1	1010261	MICA TEMPLADA HUAWEI P10 PLUS		1	1010261	MICA TEMPLADA HUAWEI P10 PLUS		0
1010262	MICA TEMPLADA HUAWEI P9 LITE VNS-L53	2	0	2	1010262	MICA TEMPLADA HUAWEI P9 LITE VNS-L53		2	1010262	MICA TEMPLADA HUAWEI P9 LITE VNS-L53		0
1010266	MICA TEMPLADA HUAWEI G9 S	1	0	1	1010266	MICA TEMPLADA HUAWEI G9 S		1	1010266	MICA TEMPLADA HUAWEI G9 S		0
1010268	MICA TEMPLADA HUAWEI Y3 2019	2	0	2	1010268	MICA TEMPLADA HUAWEI Y3 2019		2	1010268	MICA TEMPLADA HUAWEI Y3 2019		0
1010269	MICA TEMPLADA MOTOROLA C	3	0	3	1010269	MICA TEMPLADA MOTOROLA C		3	1010269	MICA TEMPLADA MOTOROLA C		0
1010270	MICA TEMPLADA MOTOROLA G6 PLUS	3	0	3	1010270	MICA TEMPLADA MOTOROLA G6 PLUS		3	1010270	MICA TEMPLADA MOTOROLA G6 PLUS		0
1010271	MICA TEMPLADA MOTOROLA G7 POWER	3	0	3	1010271	MICA TEMPLADA MOTOROLA G7 POWER		3	1010271	MICA TEMPLADA MOTOROLA G7 POWER		0
1010273	MICA TEMPLADA MOTOROLA G4 PLUS	8	0	8	1010273	MICA TEMPLADA MOTOROLA G4 PLUS		8	1010273	MICA TEMPLADA MOTOROLA G4 PLUS		0
1010274	MICA TEMPLADA MOTOROLA E4 PLUS	2	0	2	1010274	MICA TEMPLADA MOTOROLA E4 PLUS		2	1010274	MICA TEMPLADA MOTOROLA E4 PLUS		0
1010276	MICA TEMPLADA MOTOROLA G6 PLAY	2	0	2	1010276	MICA TEMPLADA MOTOROLA G6 PLAY		2	1010276	MICA TEMPLADA MOTOROLA G6 PLAY		0
1010278	MICA TEMPLADA MOTOROLA C PLUS	2	0	2	1010278	MICA TEMPLADA MOTOROLA C PLUS		2	1010278	MICA TEMPLADA MOTOROLA C PLUS		0

Figura 4. - Inventario de accesorios

Después de implementar el control de mercancías en el formato de Excel el tiempo de localización de los accesorios disminuyó 7 minutos.

- Tiempo de entrega de producción= 11.5 + 56.20 = 67.7 días = 68 días
- Tiempo de procesamiento= 30 + 1 + 1 + 2 + 2 = 36 minutos

SIX SIGMA

Metodología DMAIC

Según (Socconini, 2019) [7] los resultados de los proyectos Six sigma se obtienen mejorando las características del producto o servicio, permitiendo conseguir mayores ingresos. La metodología Six sigma, conocida como DMAIC (por sus siglas en ingles define, measure, analyze, improve, control, es decir, definir, medir, analizar, mejorar y controlar), consiste en la aplicación proyecto a proyecto, de un proceso estructurado en cinco fases”.

Definición: “Documentación y registro del proyecto”
Nombre del proyecto: “Reducción de los tiempos de espera en el proceso de impresión”
Objetivo a lograr: “Reducir los tiempos de espera en el proceso de impresión de archivos”
Nombre del líder del proyecto: “Luis Antonio Betanzos Cámara”
Fecha de inicio: 22 de agosto de 2023
Fecha de conclusión: 4 de diciembre de 2023
Tipo de Mejora: “Marque con un color diferente el tipo de mejora al que pertenece es este proyecto”
Manufactura Productividad R.R.H.H. Calidad Seguridad Otro
Descripción de la situación actual: “Realizar una evaluación al proceso existente, recopilando y analizando los datos para descubrir la frecuencia del problema y sus características principales”.
Definición del problema: “En los últimos meses se ha presentado aumento en los tiempos de espera en el servicio de impresión de archivos hasta por 10 minutos en

promedio. Esto se debe a los tiempos de espera generados durante el proceso de producción que afectan directamente con el tiempo de entrega del producto con el cliente, el proceso está tardando un 100% del tiempo en comparación con el IO del proceso estandarizado, este porcentaje equivale a \$63,400.00 pesos”.

Descripción del proyecto: “Al desarrollar el presente proyecto se busca hacer más flexible el proceso para satisfacer la demanda de los clientes y entregar el producto en menor cantidad de tiempo”.

- Beneficios de la mejora:**
- Tiempos de entrega más cortos
 - Incremento de eficacia
 - Oportunidad de crecimiento

Determinar CTQ (requerimientos claves para el cliente o el proceso) Alcance:

Proceso de impresión de archivos

CTQ a ser mejoradas	Línea base	Objetivo	Ahorro anual
Tiempo de espera de los clientes	10 minutos promedio	Disminuir a 0 los errores en impresión. Atender en menos de 5 minutos a los clientes. Aumentar en un 40% los clientes diarios	\$63, 400.00 pesos al año de ahorro si logramos atender 40 clientes extras por día

Figura 5.- Formatos de métricos de calidad

Productividad	Minutos
Tiempo neto	480
Tiempo muerto planeado	-60
Tiempo muerto no planeado	-20
Tiempo disponible	400

Figura 6.- Análisis de tiempo

El tiempo disponible es de 400 minutos al día, tal y como se aprecia en la figura 6, se atendieron a 40 clientes, tardándose 10 minutos con cada uno, observándose en detalle en la figura 5, pudiéndose optimizar el tiempo si se alcanza el objetivo de 5 minutos por cliente, así se podría atender a un total de 80 clientes diarios, representando un 100% adicional.

En las impresiones se gana aproximadamente \$ 5.00 netos por cliente si se atiende a 40 clientes extras al día son \$200.00, y se trabajó durante 317 días en el año, teniendo un ahorro del proyecto de \$ 63,400.00.

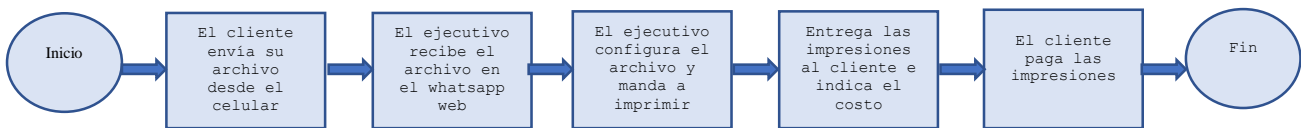


Figura 7.- Proceso de impresión de archivos

Diagrama SIPOC

PROVEEDOR	ENTRADAS								PROCESO	SALIDAS	REQUERIMIENTOS DE LAS SALIDAS	CUENTE	
	Mano de obra	Material	Maquina	Metodo	Medicion	Medio ambiente	Tipo de entrada (N,C,S o X)	Cantidad					Requerimientos
Recursos humanos	Ejecutivo de venta							1	Experiencia de 2 años	Orientacion al cliente	Hojas Impresas	2 minutos	Cliente externo
Area de procesos		Instructivo					1	Actualizado					
Informatica			PC				1	Marca HP					
Area de procesos				Procedimiento			1	Actualizado					
Finanzas		Dinero					Suficiente	Reposicion continua					
Insunumos		Papel					Suficiente	Reposicion continua					
Informatica			Multifuncional				1	Marca EPSON					

Figura 8.- Diagrama SIPOC del proceso de impresión de archivos

Diagrama de causa y efecto

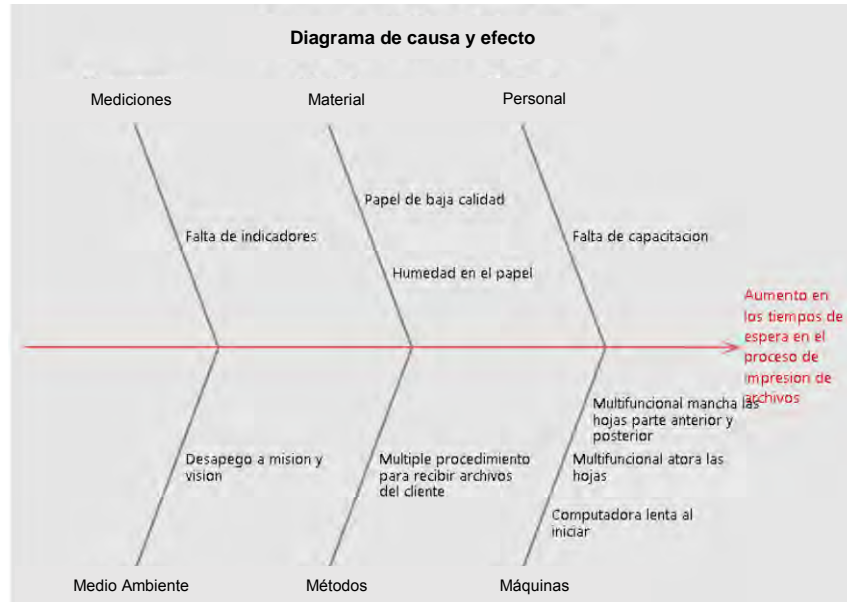


Figura 9.- Diagrama de causa-efecto del proceso de impresión de archivos

En la figura 9, diagrama de causa y efecto [8], se puede observar las causas del aumento de tiempo en la espera del proceso de impresión de archivos, y que al compararse con la tabla 4, se reafirma que el principal problema es la maquinaria, es decir, la computadora es lenta, además de que se manchan algunas impresiones y esto provoca un retrabajo. Esta información se presenta en un diagrama de Pareto, que se puede observar en la figura 10.

Razón de la causa	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Maquinaria	5	5	31.25	31.25
Materia prima	4	9	25.00	56.25
Métodos	3	12	18.75	75
Mediciones	2	14	12.5	87.5
Medio ambiente	1	15	6.25	93.75
Mano de obra	1	16	6.25	100
Total	16		100	

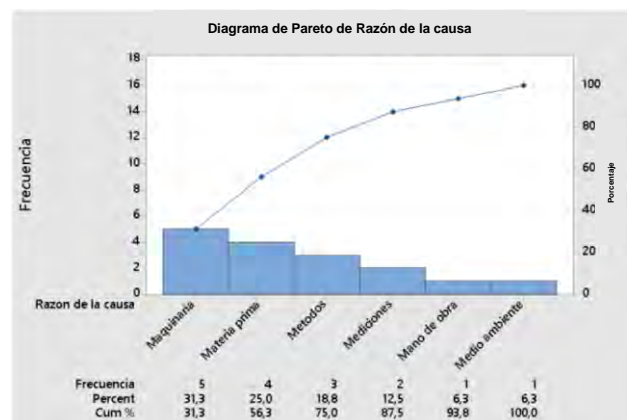


Tabla 4.- Frecuencia de errores

Figura 10.- Diagrama de Pareto

Por medio de herramientas estadísticas se obtuvo un diagnóstico del porqué de la demora en el proceso de impresión de archivo, según el diagrama de Pareto, que se puede visualizar en la figura 10, y regla del 80-20 se detecta que las causas derivadas de la maquinaria y materia prima ocasionan el problema representando el 31.25% y 25% respectivamente, provocando que el tiempo de atención aumente, disminuya el tiempo de eficiencia, productividad y rentabilidad de la empresa.

Se realizó un muestreo y se obtuvo los tiempos de atención del proceso de impresión de archivos para 15 clientes (en minutos y redondeando a números enteros, sin decimales), se pueden observar en la siguiente tabla 5 y en la figura 11, donde se obtiene una gráfica de serie de tiempo:

10	5	9	3	12
5	2	10	10	10
17	6	10	6	5

Tabla 5.- Tiempo de atención en el proceso de impresión de archivos

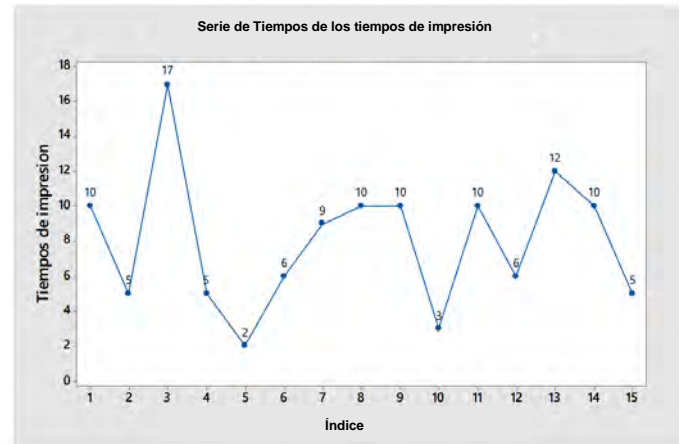


Figura 11.- Variación de los tiempos de atención

Se realizó un muestro aleatorio, que se puede apreciar en la tabla 6, recabados de fuentes existentes.

Plan de muestreo, Datos continuos	
Información inicial	
a) ¿Qué es lo que se va a medir?	Unidades = clientes
b) ¿Cuál es el tamaño de la población?	1000
c) ¿Cuál es la característica a medir?	Característica= tiempo de atención
d) ¿Cuál es la desviación estándar de la población?	S = 3.91
e) ¿Cuál es la precisión de esta estimación?	± 0.5
f) Seleccionar el nivel de confianza: z= 1.96 para un 95%	Z= 1.96
g) Selección de la estrategia de muestreo	Aleatorio
h) Determinar el tamaño de la muestra n= $(zs/d)^2$	n= 235

Tabla 6.- Plan de muestreo del proceso de impresión de archivos.

En la figura 12, se observa que los datos recabados para análisis, los cuales, por medio de minitab se construyó un histograma con los 235 datos correspondientes al proceso de atención respecto a la impresión de archivos.

7.45	5.02	7.83	2.13	6.26	5.41	3.92	4.31	6.86	4.64	5.25	7.31	2.99	7.88	6.87
9.20	6.85	2.98	3.51	5.80	3.06	6.48	5.81	8.67	3.43	5.06	3.27	7.30	5.59	8.05
6.11	3.42	5.34	3.78	6.37	4.43	4.14	8.27	3.28	3.72	3.79	3.71	5.26	4.92	5.49
6.12	9.47	8.08	7.08	8.05	3.58	9.74	6.47	6.64	6.17	6.36	9.03	4.72	1.75	7.63
6.55	3.31	7.92	5.83	9.20	2.76	4.67	5.08	6.08	5.51	5.30	6.56	3.22	6.01	5.38
3.33	3.79	3.37	6.99	4.83	3.63	5.69	6.78	5.39	4.40	4.42	4.05	6.76	3.58	3.92
5.06	4.82	7.44	7.07	2.45	4.47	6.55	5.72	8.18	9.78	3.49	3.29	3.43	6.14	4.95
4.04	6.28	7.48	5.47	3.33	6.10	4.37	5.22	7.40	4.98	3.63	6.14	8.30	7.19	5.23
5.17	9.69	3.44	4.15	4.27	7.17	3.28	8.57	4.16	4.60	5.40	6.86	2.31	8.04	5.36
5.70	3.20	5.11	2.33	5.73	6.57	7.76	8.34	4.53	5.05	3.03	9.16	4.38	4.22	4.95
3.55	4.45	8.25	7.19	6.53	10.25	3.28	5.23	5.51	4.83	4.27	5.96	5.94	6.13	6.09
1.42	5.51	4.42	5.19	7.37	6.50	5.50	3.91	7.81	4.80	2.45	4.26	6.23	3.23	9.53
3.46	7.67	7.56	5.52	4.99	5.00	6.41	7.84	4.12	2.49	7.67	6.37	8.12	6.84	5.59
7.56	3.02	5.86	8.65	5.38	2.27	2.34	3.51	7.02	4.85	4.23	6.72	8.22	5.97	5.66
3.49	2.21	6.58	5.98	6.59	6.23	6.26	4.20	6.43	4.75	1.54	7.42	3.93	6.82	8.37
6.91	2.63	3.71	6.86	5.81	3.83	5.84	1.90	5.76	6.54					

Figura 12.- Tiempos de atención

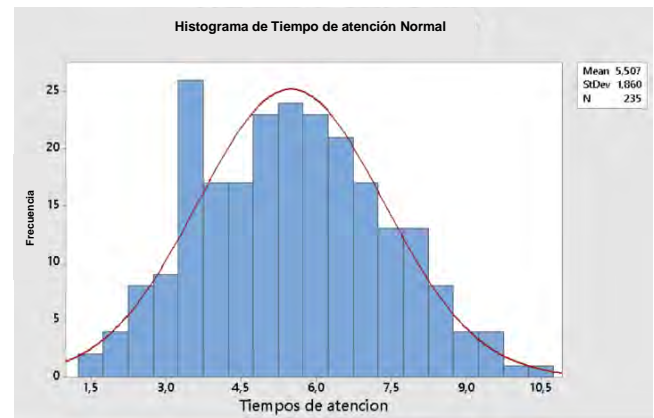


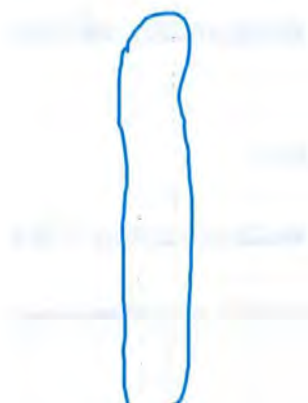
Figura 13.- Histograma de tiempos de atención

En la figura 13, se puede apreciar en el histograma que el tiempo de atención sigue una distribución normal. Además de que el valor de la media es de 5.507 y su desviación estándar de 1.860. Por lo tanto, se puede decir que el tiempo de atención no cumple con la especificación, y que la media del proceso está situada muy cerca del límite superior, deduciendo que prácticamente la mitad de los clientes son atendidos en tiempos superiores a 6 minutos.

Con estos resultados se realizaron las acciones pertinentes para cumplir con la satisfacción del cliente y brindarle un servicio de calidad, en un tiempo adecuado de atención.

Mantenimiento a multifuncional EPSON L3110

En la parte posterior de la impresión se apreciaban manchas de color negro, ocasionadas por falta de mantenimiento a los rodillos del equipo, tal y como se aprecia en la figura 14. Por lo que se realizó mantenimiento correctivo con el objetivo de eliminar desperdicio de hojas y retraso en los tiempos de atención al cliente.



BK	Y	
	M	
	C	
Serial Number	X5DN094510	
Firmware	VC15K1	
Borderless Color Pages	0	
B/W Pages	0	
With Border Color Pages	13241	
B/W Pages	22226	
Blank Pages	220	
Total Pages	35687	
First Time Printing	2007/03/31	

Figura 14.- Calidad de la impresión de archivos.

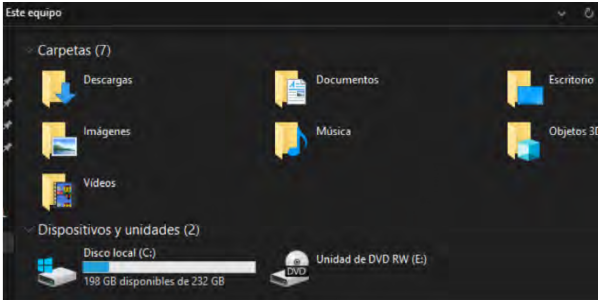


Figura 15.- Formateo de la máquina.

Otra acción importante, tal y como se muestra en la figura 15, fue la de formatear la máquina HP, lo cual trajo como consecuencia mayor rapidez en el procesamiento y la atención del cliente, esto se convierte en una mejora en la productividad. Así mismo, se adquirió papel de mejor calidad, siendo el papel Fotobond el elegido de la marca Scribe.

Posterior a implementar las acciones de mejora, se tomó nuevamente una muestra de 80 tiempos de atención en el proceso de impresión de archivos, tal y como se muestra en la tabla 7, y se realizó un análisis de capacidad del proceso después de mejoras, mostrado en la figura 16.

5.20	5.00	5.00	4.20
4.80	5.40	4.80	5.10
3.90	5.50	5.10	3.90
4.20	5.20	4.90	4.30
5.00	4.80	4.00	5.20
4.60	5.30	4.30	4.60
4.00	5.10	4.50	4.90
4.30	4.70	4.80	4.20
4.90	4.90	3.90	4.40
4.20	4.80	4.70	5.10
5.10	5.00	4.90	4.90
3.99	5.10	5.30	5.00
4.50	5.50	5.20	4.70
5.30	6.00	5.00	5.10
4.70	5.00	5.10	4.90
4.80	5.20	4.20	5.30
5.00	5.30	4.60	4.60
4.60	4.90	4.00	5.10
4.90	4.70	4.80	4.90
4.60	5.10	5.00	5.20

Tabla 7.- Tiempos de atención en el proceso de impresión

Conclusiones

Las filosofías lean manufacturing y Six sigma se relacionan perfectamente y no se obstruyen al momento de aplicarlas, al contrario, lean manufacturing con todas sus herramientas es de sentido común y tiene como bandera la eficiencia, optimizar los recursos, hacer más con menos; por otro lado, six sigma es una filosofía que vela por la eficacia, por el cumplimiento de objetivos por medio de disminuir la variación en los procesos y cumplir con los requerimientos del cliente y en consecuencia aumentar la calidad del producto o servicio. Por ello, el implementar lean six sigma en una microempresa no es común porque son filosofías que normalmente se aplican en grandes empresas, pero debido a la importancia de las microempresas en la realidad económica y social en México, se consideró como una gran área de oportunidad, ya que si se toma en cuenta los resultados finales, se logró un cambio del valor cpk, pasar de un proceso inaceptable, a un valor cpk de 1.66, que indica que el proceso es marginal y que se debe mejorar el nivel de calidad.

Agradecimientos

Agradecimiento especial a Tecnológico Nacional de México, a Instituto Tecnológico Superior de Acayucan, y la microempresa Conexión Total, por las facilidades y apoyo para el desarrollo del presente trabajo.

Referencias

- [1] L. Socconini, Lean Manufacturing paso a paso, Ciudad de México:Alfaomega, 2019.
- [2] E. Escobedo, Lean Six Sigma Green Belt paso a paso, Barcelona: Marge Books, 2021
- [3] V. G. Soler, <Lean manufacturing, Qué es y qué no es, errores en su aplicación e interpretación más usuales,>,Vol. 4, n° 1, pp. 45-52.
- [4] Gesmeco, <La mejora es continua,> Gesmeco, 19 de octubre 2018, [En línea]. Available: <http://gesmec.com/sistema-de-mejora-continua-gesmeco/>.
- [5] Minitab, <Minitab Statistical Software,>Minitab, [En línea]. Available: http://www.google.com/aclk?sa=l&ai=DChcSEwivoaLB2pWIAxV9FK0GHdVhCpsYABAAGgJwdg&co=1&ase=2&gclid=CjwKCAjw8rW2BhAgEiWAoRO5rA-4adEIFQtDT-AFN-fytB147_7RwnmmniinTCkeeQGBzmDTNstbhoCmisQAvD_BwE&sig=AOD643rUW2BAfMfslcoD_33-8unsHc_oA&q&nis=4&adurl&ved=2ahUKEwiL [Último acceso: 09 Octubre 2023]
- [6] M.C. Perissé, Pensamiento Lean, Buenos Aires: Universidad Nacional de la Matanza, 2019.
- [7] Luis Socconini; Carlos Reato, Lean Six Sigma “Sistema de gestión para liderar empresas”, Barcelona: Marge Books, 2019.
- [8] E.R. Bermúdez, <El uso del diagrama de causa-efecto en el análisis de casos,> de Revista Latinoamericana de Estudios educativos, Ciudad de México, 2010, pp. 127-142.

HONGOS EXTREMÓFILOS AISLADOS DE NIXTAMAL CON POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO

Alejandra García-Pérez¹, Yadeneyro de la Cruz Elizondo¹, Benito Hernández-Castellanos¹, Oscar Carmona-Hernández¹ y José Armando Lozada-García^{1*}

¹ Facultad de Biología Xalapa, Universidad Veracruzana, Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n. Col. Zona Universitaria, Xalapa, Veracruz, México C. P, 91097; ydelacruz@uv.mx, benihernandez@uv.mx, ocarmona@uv.mx, aloza-da@uv.mx

Área de participación: **Ingeniería Química**

Resumen

Las enzimas producidas por organismos extremófilos son un tema relevante para los biotecnólogos; por que poseen actividad hidrolítica y son útiles para la ingeniería industrial, agrícola y alimentaria. Muchos de estos organismos se encuentran en ambientes extremos, como es el caso del nixtamal que por su naturaleza se considera un ambiente alcalino extremo. En este sentido se aislaron hongos extremófilos de nixtamal y nejayote. Se evaluó la actividad enzimática y antagónica ante hongos mesófilos. Se colectaron muestras de nixtamal en comunidades rurales de Perote, Veracruz. Se aislaron diferentes morfotipos en medio Agar Papa Destroxa a partir de granos de maíz y nejayote. Se determinó la actividad proteolítica, amilolítica, celulolítica, lipídica y la capacidad antagónica contra *Trichoderma harzianum*, *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Aspergillus niger* y *Colletotrichum gloeosporioides*. De las ocho cepas aisladas, FBX008 presentó mayor actividad antagónica contra las especies confrontadas y FBX004 fue activa contra *T. harzianum* y *F. oxysporum*.

Palabras clave: actividad enzimática, hongos extremófilos, antagonismo.

Abstract

Enzymes produced by extremophilic organisms are a relevant topic for biotechnologists because they possess hydrolytic activity and are useful for industrial, agricultural, and food engineering. Many of these organisms thrive in extreme environments, such as nixtamal, which by its nature is an extreme alkaline environment. In this regard, extremophilic fungi were isolated from nixtamal and nejayote. Their enzymatic and antagonistic activity against mesophilic fungi was evaluated. Samples of nixtamal were collected from rural communities in Perote, Veracruz. Different morphotypes were isolated on Destroxa Potato Dextrose Agar from corn grains and nejayote. Proteolytic, amylolytic, cellulolytic, lipolytic activities, and antagonistic capacity against *Trichoderma harzianum*, *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Aspergillus niger* and *Colletotrichum gloeosporioides* were determined. Among the eight isolated strains, FBX008 exhibited the highest antagonistic activity against the tested species, and FBX004 was active against *T. harzianum* and *F. oxysporum*.

Key words: enzymatic activity, extremophilic fungi.

Introducción

Recientemente, la industria se ha valido del uso de microorganismos y sus biocatalizadores para aumentar la eficiencia en sus procesos. La mayoría de estos son mesófilos, es decir, que crecen en

condiciones con pH neutros o ligeramente ácidos y temperaturas igualmente moderadas (25 - 45°C). Sin embargo, el uso de enzimas producidas por estos microorganismos está restringido debido a su limitada estabilidad y poca tolerancia a condiciones extremas de temperatura, pH, presión y salinidad [1], provocando que su proliferación y desarrollo sea fácilmente corrompida por el crecimiento de otros organismos indeseados dando pie a interrupciones por contaminación.

Las enzimas que éstos producen no suelen ser las más adecuadas para las condiciones en procesos industriales, ya que no tienen la estabilidad necesaria requerida y son fácilmente desnaturalizadas. Lo cual se traduce como bajas en la cantidad y calidad de productos controlados de tipo alimenticio, farmacéutico o producción de energía [2-3].

En este sentido, se vuelve destacable el uso de biocatalizadores aislados de organismos de ambientes considerados extremófilos, ya que las enzimas que éstos producen tienen ventajas sobre las extraídas de organismos mesófilos por su mayor capacidad de soportar condiciones presentes en los procesos industriales [4], además de soportar condiciones no moderadas, el tener una mayor resistencia frente a diversos agentes químicos, una vida media más prolongada, la viscosidad de los medios de reacción es menor cuanto más se eleva la temperatura, aumenta la solubilidad de sustratos y productos, la posibilidad de reducir la necesidad de refrigeración y una menor contaminación por estar a temperaturas muy altas. Lo anterior se debe al desarrollo de fuerzas adaptativas que les confieren la capacidad de sobrevivir en ambientes "inhóspitos", es así como proliferan a altas temperaturas, con ingentes cantidades de sal y/o bajo exposición de pH extremos [3-6], siendo notoria la diferencia con los mesófilos, los cuales no soportan vivir en dichas condiciones.

Al decir que un organismo es extremófilo, nos referimos a que es capaz de vivir en una sola condición extrema o también a una combinación de diferentes condiciones [7]. Lo anterior les adjudica una bioquímica peculiar con gran potencial de búsqueda de nuevas fuentes biotecnológicas con fines industriales [3-6]. Las extremoenzimas producidas por estos organismos que recientemente se han robado el foco de atención de los biotecnólogos son las de carácter hidrolítico, tales como celulasas, proteasas, lipasas y amilasas, puesto que han demostrado ser enzimas útiles para la fabricación de diversos productos útiles para industria. Éstos tienen ventajas sobre organismos mesófilos en procesos industriales y biotecnológicos ya que producen enzimas con mayor estabilidad en condiciones extremas, por lo que están siendo cada vez más estudiadas como biocatalizadores.

Particularmente, los hongos de tipo filamentosos llegan a ser competitivos en la ingeniería agrícola e industrial por su gran potencial de secreción de enzimas hidrolíticas, así como por su tolerancia a baja actividad del agua y su resistencia a condiciones de alta presión osmótica, sin mencionar su bajo costo de producción [8].

Una vez que definimos el carácter de organismos que pueden crecer en ambientes extremos, podemos hablar del nixtamal, el cual es una preparación tradicionalmente usada en América para el consumo de maíz, tanto, que en comunidades rurales se sigue preparando, siguiendo fielmente los métodos tradicionales. La nixtamalización consiste en someter el grano de maíz a altas temperaturas para su cocción, con la adición de cal que propicia un medio alcalino al preparado [6-9]. Así, los hongos que en este medio pudieran encontrarse posterior a su preparación, pudieran tener características de ser de tipo extremófilo. Algunos de ellos pueden ser especies de hongos filamentosos capaces de inhibir el crecimiento de hongos mesófilos [10-14]. Por dichas razones, en el presente trabajo se valió del nixtamal como una fuente poco explorada para la búsqueda de hongos productores de enzimas de interés biotecnológico, con actividad proteolítica, amilolítica, celulolítica, lipídica y actividad antagonica contra *Trichoderma harzianum*, *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Aspergillus niger* y *Colletotrichum gloeosporioides*.

Metodología

Aislamiento y purificación de cepas fúngicas

Se visitaron las comunidades rurales del “El Conejo” y “Los Pescados” del municipio de Perote, Veracruz, donde actualmente se sigue realizando el proceso de nixtamalización de manera tradicional y cotidiana para el consumo familiar, con el fin de obtener la información necesaria para conocer cómo se elabora el nixtamal; ambiente que estaría fungiendo como nuestra fuente primaria de hongos filamentosos extremófilos.

Para el aislamiento de hongos extremófilos se colectaron muestras en condiciones asépticas de nixtamal y nejayote, las cuales fueron trasladadas al laboratorio de Biotecnología y Productos Naturales de la Facultad de Biología, Región Xalapa, Veracruz, donde se incubaron a 27 °C hasta que hubo presencia de micelio, el cual fue sembrado en medio Papa Dextrosa Agar (PDA) (BD Bioxon®) con antibiótico (Ampicilina), todo lo anterior se hizo por triplicado.

Pruebas hidrolíticas de hongos extremófilos aislados

La actividad proteolítica, amilolítica, celulolítica y lipídica se realizaron conforme se muestran en la Tabla 1, con algunas modificaciones [15]. Estas pruebas se hicieron en medio triptona de agar (10 g triptona (BD Bioxon®), 5 g NaCl (Mayer®), 12 g agar (BD Bioxon®) + 10 g de celulosa/almidón/leche baja en grasas/azúcares/ aceite mineral). Se colocó un inóculo del micelio sobre el centro de las placas de agar con tres repeticiones por cada prueba. Consecutivamente se incubaron a 27 °C durante 24 horas, para verificar la actividad enzimática, la presencia de halo se consideró positiva (+) y la ausencia de este se consideró negativa (-), cada ensayo se realizó por triplicado.

Tabla 1. Pruebas utilizadas para evaluar la actividad enzimática.

Actividad enzimática estudiada	Sustrato	Revelador/Indicador
Amilolítica	Almidón (Meyer®)	Lugol
Proteolítica	Leche baja en grasas y azúcares (Alpura ©)	Halo
Lipolítica	Aceite mineral (Sigma Aldrich®)	Halo
Celulolítica	Celulosa	Rojo Congo

Antagonismos de cepas extremófilas contra hongos mesófilos

Se realizaron confrontaciones *in vitro* contra cinco cepas de hongos que crecen en condiciones mesófilas: *Trichoderma harzianum*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Aspergillus niger* y *Colletotrichum gloeosporioides*, para evaluar su capacidad antagónica, siguiendo la metodología de Cubilla-Ríos y colaboradores [16]; cada prueba se realizó por triplicado.

Las pruebas se realizaron en placas de PDA, se tomaron discos de 0.5 cm de diámetro del micelio correspondiente a cada cepa fúngica, a una distancia de 7.5 cm enfrentando cada cepa correspondiente. Se incubaron a 27 °C durante 72 horas para evaluar sus porcentajes de inhibición cada prueba se realizó por triplicado. Para determinar dicho porcentaje se utilizó la Ecuación 1:

$$\%I = ((ABCc - ABCe)) / ABCc \times 100$$

Ecuación 1. Porcentaje de Inhibición. Donde, %I es el porcentaje de inhibición. ABCe es el área del crecimiento del micelio enfrentado al antagonista. ABCc es el área del crecimiento del control no enfrentado con el antagonista.

Análisis de datos

Para el análisis de los resultados se realizó una prueba de Kruskal Wallis de comparaciones múltiples, seguida de una prueba post hoc de Dunn en el software SPSS 26. Se consideró actividad antagónica positiva cuando el porcentaje de inhibición fue igual o mayor al 60%.

Resultados y discusión

Cepas fúngicas extremófilas aisladas

Se aislaron ocho morfotipos procedentes del nixtamal y de nejayote, que permanecen bajo resguardo en el Laboratorio de Biotecnología y Productos Naturales de la Facultad de Biología, Xalapa de la Universidad Veracruzana y se denominaron con las siglas FBX001, FBX003, FBX004, FBX005, FBX006, FBX007, FBX008 y FBX011.

Pruebas de actividad enzimática

La actividad enzimática amilolítica fue la predominante en todas las cepas, seguida de la proteolítica y celulolítica (Tabla 2). Las cepas FBX001 y FBX005 fueron las que presentaron la menos tres de las cuatro actividades enzimáticas analizadas. De la cepa FBX-008 no se obtuvieron resultados ya que no proliferó en el medio utilizado para la evaluación enzimática.

Tabla 2. Actividad enzimática para hongos extremófilos aislados del nixtamal.

Cepa	Amilolítica	Proteolítica	Lipolítica	Celulolítica
FBX001	+	+	-	+
FBX003	+	-	-	+
FBX004	+	-	-	+
FBX005	+	+	-	+
FBX006	+	+	-	-
FBX007	+	+	-	-
FBX011	+	+	-	-

Actividad enzimática presente (+), actividad enzimática ausente (-)

La actividad lipolítica estuvo ausente en todas las cepas estudiadas. La razón de esto puede deberse a que el medio original de estas cepas es el nixtamal y/o nejayote, donde el almidón presente en el maíz es su principal fuente de energía. Lo cual puede ser parte de diferentes estrategias adaptativas, para aprovechar la mayor cantidad de carbono como fuente de energía, seguido de otras biomoléculas presentes en el maíz como las proteínas y la celulosa, en contraste con los lípidos, que son menos abundantes en el nixtamal [17]. Así mismo, puede ser que el aceite mineral sea de mayor dificultad para degradar comparado con el aceite vegetal.

Es así como la producción de enzimas hidrolíticas en hongos es influida por factores clave como la disponibilidad nutricional y las condiciones ambientales entorno a su medio. De manera particular esto ha sido caracterizado en hongos filamentosos que a diferencia de los aquí presentados cuyo crecimiento se da en un medio rico predominantemente de almidón, viven en entornos ricos en material vegetal. Es el caso de los hongos endófitos de las palmeras *Euterpe precatoria*, cuya constitución principal de sus hojas es la celulosa y el almidón [18]. Por lo que la producción enzimática de los hongos es compleja y está configurada por diversos factores como el pH, temperatura y condiciones ambientales específicas, así como por el carácter de las biomoléculas energéticas del medio en el que proliferan.

En la industria, los hongos son ampliamente usados por sus enzimas como potenciadores de productividad, tal es el caso de *Aspergillus oryzae* y *A. niger* aislados de cultivos ricos en almidón como lo son los de trigo, arroz, papa, y maíz. Dichas enzimas se han usado ampliamente en la industria para la producción enzimática de amilasas útiles en reacciones de sacarificación. Particularmente en la obtención de glucosa a partir del almidón en la industria alimentaria, método que actualmente provee el 90% de la producción del jarabe de fructosa [19]. No obstante, a pesar de que las amilasas de estas cepas son capaces de soportar relativamente altas temperaturas de hasta 60 °C, se ha manifestado la necesidad de amilasas con mayor termoestabilidad para mejorar la capacidad productiva disminuyendo los tiempos de reemplazo de las enzimas por su rápida desnaturalización.

Es en dicha área donde las cepas aisladas de nixtamal podrían resultar útiles en la obtención de un mejor rendimiento en los procesos de sacarificación, usando específicamente sus enzimas de tipo amilolíticas.

También se ha señalado la importancia de las enzimas amilasas producidas por los hongos mesófilos *C. gloeosporioides* cultivados en medio de arroz semi sólido en fermentación. Para lo cual las cepas aisladas del nixtamal en este trabajo serían una mejor opción puesto que son termoestables, soportando temperaturas de hasta 100 °C por las características de su medio de origen, el nixtamal. En contraste con las amilasas producidas de *C. gloeosporioides*, cuyas condiciones óptimas de producción son de 30 °C. Dichas situaciones son un motor de búsqueda de enzimas con potencial industrial, cuya termoestabilidad es el principal factor de importancia. Además, en el contexto mexicano, resultaría más accesible el aislamiento de los hongos del nixtamal, producto étnico, en comparación con el medio de fermentación de arroz para *C. gloeosporioides* [20].

Pruebas de antagonismo in vitro

Se observó que la cepa FBX008 logró antagonizar con una tasa mayor al 60% a cuatro de los cinco hongos mesófilos (Figura 1). *C. geosporoides* y *A. niger* fueron las cepas más sensibles ante todos los

morfotipos aislados. FBX001 y FBX007 fueron los morfotipos que presentaron mayor antagonismo contra *C. geosporoides*, en más del 50%.

La cepa FBX008 presentó mayor actividad contra *A. niger*, con un porcentaje de inhibición superior al 60%. *F. solani* fue la cepa menos sensible a todos los morfotipos aislados, excepto a FBX008, que la inhibió con un porcentaje mayor al 50. FBX004 y FBX008 redujeron entre el 65% y 80% el crecimiento de *F. oxysporum* y *T. harzianum* respectivamente; mientras que el resto de las cepas presentaron un porcentaje de inhibición inferior al 30%, para todos los casos se encontraron diferencias significativas.

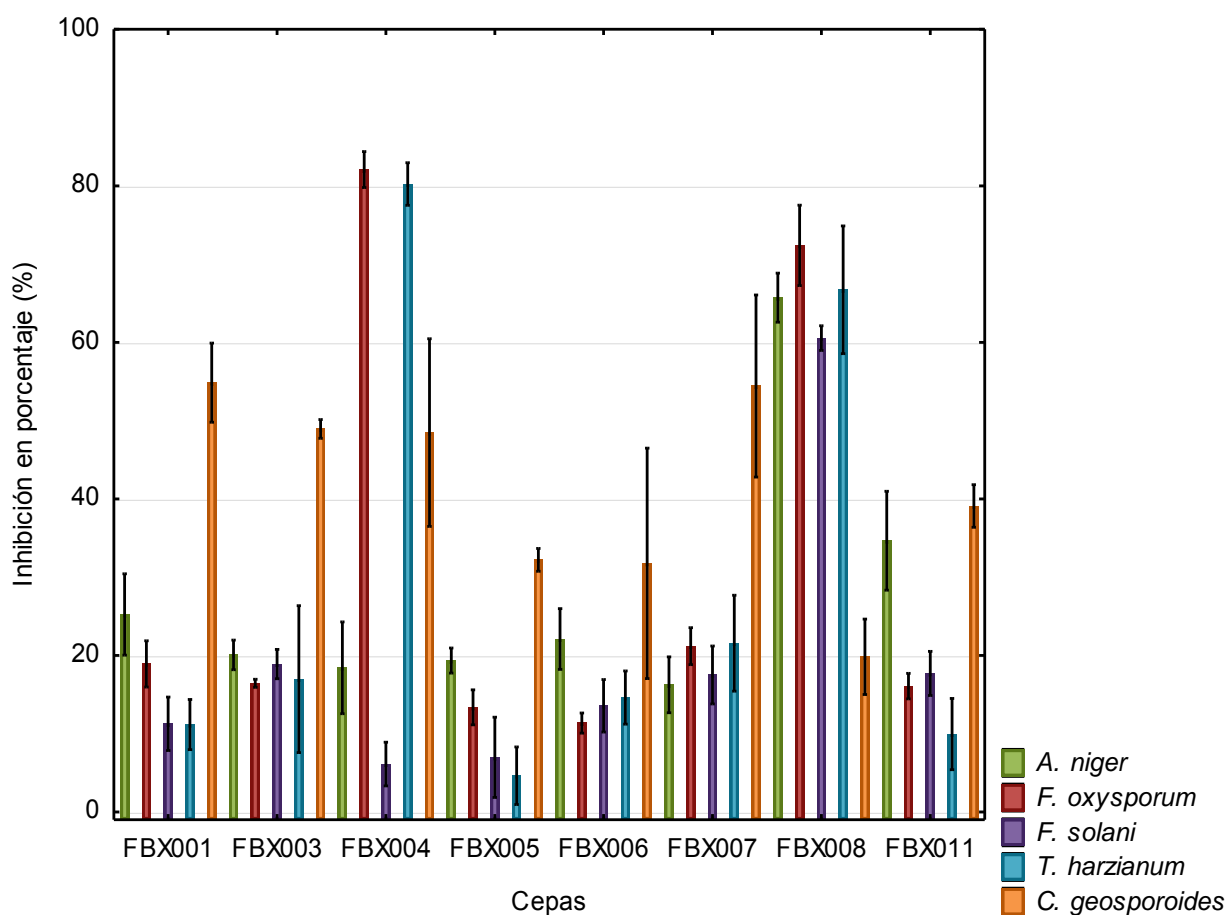


Figura 1. Antagonismo de los morfotipos extremófilos aislados contra hongos mesófilos (KW=P<0.05)

En la mayoría de los reportes se registra que algunos géneros de hongos son antagonistas a otros hongos, como ejemplo está el género *Trichoderma*, que es usado como agente antagonista para *Fusarium* spp [21]. Dicho ejemplo se llevó a cabo con dos especies de hongos mesófilos, mientras que en este estudio se evaluó el efecto antagonista de dos hongos extremófilo contra *F. oxysporum*, resultando las cepas FBX004 y FBX008 la de mayor actividad antagónica, lo cual sugiere que producen enzimas y metabolitos con interés biotecnológico y con un posible uso industrial. Caso parecido ocurrió con las cepas FBX007, FBX008 y FBX011 que fueron antagonistas contra *C. gloeosporioides*.

Esta inhibición de crecimiento a ciertos hongos mesófilos, aunado a la producción de ciertas enzimas hidrolíticas es particularmente destacable considerando que los hongos filamentosos comerciales más importantes por su amplia producción de celulasas son del género *Trichoderma*, particularmente de la especie *Trichoderma reesei* ha sido considerada por largo tiempo como una opción para degradar celulosa. No obstante, a pesar de este rendimiento, su condición de hongos mesófilos con crecimiento óptimo de 25-20 °C lo limita a realizar los procesos en condiciones de fácil contaminación, por lo que ha provocado la valoración de nuevas alternativas con el mismo rendimiento celulolítico adicionado de una mayor resistencia a condiciones de procesamiento industrial [22].

Entre ellos se han sugerido algunas especies de *Penicillium* como *P. verruculosum* y *P. funiculosum* que soportan temperaturas de hasta 50°C [23]. Es en este sentido, sugerimos como una posible alternativa, las cepas extremófilas con actividad enzimática hidrolítica de tipo celulasa en las cepas FBX001, FB003, FBX004 y FBX005 extraídas del nixtamal preparado en las comunidades rurales de Perote, Ver. Particularmente destacando FBX004, que inhibió de manera importante el crecimiento de *Trichoderma harzianum* [24].

Trabajo a futuro

Realizar la identificación molecular de las cepas, así como una caracterización química más amplia. En el mismo sentido se propone un estudio en campo para evaluar el antagonismo contra hongos patógenos de cultivos de importancia, así como la evaluación de su capacidad para degradar carbohidratos en la industria alimentaria.

Conclusiones

Se aislaron ocho cepas de las comunidades de Perote, Veracruz, provenientes del proceso de nixtamal, considerado un ambiente extremófilo por su proceso de elaboración. Las cepas FBX001 y FBX005 presentaron tres de cuatro tipos de actividades enzimáticas estudiadas (amilolítica, proteolítica y celulolítica), mientras que las demás sólo presentaron dos tipos. Ninguna presentó actividad lipolítica.

En las pruebas de antagonismo, sólo dos cepas obtuvieron un mayor crecimiento ante hongos mesófilos: La cepa extremófila FBX004 vs *F. oxysporum* y *T. harzianum*. y la cepa FBX008 vs *A. niger*, *F. Oxysporum*, *F. solani* y *T. harzianum*. Siendo FBX004 la que obtuvo los mayores porcentajes de inhibición y por ende de crecimiento, y FBX008 que inhibió a tres de cinco hongos mesófilos. Dado que las cepas fueron aisladas de un medio extremófilo, se considera que las enzimas que estos hongos producen pueden ser una fuente de interés y uso industrial.

Referencias

- [1] A. G. González y R. P. y. Terrón, "Importance of extremophilic microorganisms in biogeochemical cycles", *GSC Adv. Res. Rev.*, vol. 9, núm. 1, pp. 082–093, 2021.
- [2] A. K. Wani et al., "Contribution of yeast and its biomass for the preparation of industrially essential materials: A boon to circular economy", *Bioresour. Technol. Rep.*, vol. 23, núm. 101508, p. 101508, 2023.
- [3] G.-Q. Chen y X.-R. Jiang, "Next generation industrial biotechnology based on extremophilic bacteria", *Curr. Opin. Biotechnol.*, vol. 50, pp. 94–100, 2018.
- [4] C. Schröder, C. Burkhardt, y G. Antranikian, "What we learn from extremophiles", *ChemTexts*, vol. 6, núm. 1, 2020.

- [5] R. S. Thombre, P. A. Vaishampayan, y F. Gomez, "Applications of extremophiles in astrobiology", en *Physiological and Biotechnological Aspects of Extremophiles*, Elsevier, 2020, pp. 89–104.
- [6] R. M. Oliart-Ros, Á. Manresa-Presas, y M. G. Sánchez-Otero, "Utilización de microorganismos de ambientes extremos y sus productos en el desarrollo biotecnológico", *CienciaUAT*, vol. 11, núm. 1, pp. 79–90, 2016.
- [7] M. Blackwell, "The Fungi: 1, 2, 3 ... 5.1 million species?", *Am. J. Bot.*, vol. 98, núm. 3, pp. 426–438, 2011.
- [8] I. Gutiérrez-Rojas, N. Moreno-Sarmiento, y D. Montoya, "Mecanismos y regulación de la hidrólisis enzimática de celulosa en hongos filamentosos: casos clásicos y nuevos modelos", *Rev. Iberoam. Micol.*, vol. 32, núm. 1, pp. 1–12, 2015.
- [9] M. Ibrar, M. W. Ullah, S. Manan, U. Farooq, M. Rafiq, y F. Hasan, "Fungi from the extremes of life: an untapped treasure for bioactive compounds", *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 104, núm. 7, pp. 2777–2801, 2020.
- [10] J. J. Coleman, "The *Fusarium solani* species complex: ubiquitous pathogens of agricultural importance", *Mol. Plant Pathol.*, vol. 17, núm. 2, pp. 146–158, 2016.
- [11] M. I. Infanzón-Rodríguez, J. A. Ragazzo-Sánchez, S. del Moral, M. Calderón-Santoyo, y M. G. Aguilar-Uscanga, "Production and characterization of an enzyme extract with cellulase activity produced by an indigenous strain of *Fusarium verticillioides* ITV03 using sweet sorghum bagasse", *Biotechnol. Lett.*, vol. 42, núm. 11, pp. 2271–2283, 2020.
- [12] S. S. Saha, S. R. Saha, y A. K. Sen, "Colletotrichum gloeosporioides: An anthracnose causing pathogen of fruits and vegetables," *Biotech. Asia*, vol. 12, no. 2, pp. 316–323, 2019.
- [13] H. Allaga et al., "Members of the *Trichoderma harzianum* species complex with mushroom pathogenic potential", *Agronomy (Basel)*, vol. 11, núm. 12, p. 2434, 2021.
- [14] G. Leon-Revelo, M. C. Cujilema-Quitio, L. Baryolo, E. Rosero Delgado, J. Córdova, y L. B. Ramos-Sánchez, "Determinación de la temperatura óptima para la producción de celulasas con *Aspergillus niger* en fermentación sólida", *Centro Azúcar*, vol. 45, núm. 3, pp. 1–13, ene. 2018.
- [15] M. Andlar, T. Rezić, N. Marđetko, D. Kracher, R. Ludwig, y B. Šantek, "Lignocellulose degradation: An overview of fungi and fungal enzymes involved in lignocellulose degradation", *Eng. Life Sci.*, vol. 18, núm. 11, pp. 768–778, 2018.
- [16] A. A. Cubilla-Ríos, D. D. Ruíz-Díaz-Mendoza, M. C. Romero-Rodríguez, M. E. Flores-Giubi, y J. E. Barúa-Chamorro, "Antibiosis de proteínas y metabolitos en especies de *Trichoderma* contra aislamientos paraguayos de *Macrophomina phaseolina*", *Agronomía Mesoamericana*, vol. 30, núm. 1, pp. 63–77, 2019.
- [17] O. Paredes-López, F. Guevara-Lara, y L. A. Bello-Pérez, "La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz", *Ciencias*, vol. 92, pp. 60–70, 2009.
- [18] B. N. Batista, R. R. Matias, R. L. e. Oliveira, y P. M. Albuquerque, "Hydrolytic enzyme production from açai palm (*Euterpe precatoria*) endophytic fungi and characterization of the amylolytic and cellulolytic extracts", *World J. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 38, núm. 2, 2022.

- [19] A. G. Patil et al., “Fungal amylases and their industrial applications”, en *Fungal Biology, Cham*: Springer International Publishing, 2021, pp. 407–434.
- [20] S. B. Onofre, “Amylolytic enzymes produced by the fungus *Colletotrichum gloeosporioides* in rice semi-solid fermentation”, *J. Yeast Fungal Res.*, vol. 2, núm. 3, 2011.
- [21] R. Cabrera, S. Palafox-Félix, y I. Valenzuela Quintanar, “Estrategias para el control del hongo fitopatígeno *Fusarium* en el sector agrícola: del control químico al control biológico”, *Frontera Biotecnológica*, vol. 12, núm. 1, pp. 19–26, 2019.
- [22] F. Zhang et al., “Regulation and production of lignocellulolytic enzymes from *Trichoderma reesei* for biofuels production”, en *Advances in Bioenergy*, Elsevier, 2019, pp. 79–119.
- [23] K. K. Manathunga, N. W. Gunasekara, M. K. Meegahakumbura, P. B. Ratnaweera, T. K. Faraj, y D. N. Wanasinghe, “Exploring endophytic fungi as natural antagonists against fungal pathogens of food crops”, *J. Fungi (Basel)*, vol. 10, núm. 9, p. 606, 2024
- [24] J. A. Ferreira Filho, M. A. C. Horta, L. L. Beloti, C. A. dos Santos, y A. P. de Souza, “Carbohydrate-active enzymes in *Trichoderma harzianum*: a bioinformatic analysis bioprospecting for key enzymes for the biofuels industry”, *BMC Genomics*, vol. 18, núm. 1, 2017.

Aprendizaje Basado en Problemas mediante el uso de ChatGPT en la asignatura de Informática y Programación

Saavedra-Cruz Nubia¹, Cruz-Leal Miriam S.¹, Rivas Moreno Frida K.¹, Vidal-García Gabriela¹, Aguilar-García Eric²

¹Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería, C.U., Blvd. Capt. Carlos Camacho Espíritu y Av. San Claudio S/N Col. San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Puebla, México.
nubia.saavedra@correo.buap.mx, miriam.cruz@correo.buap.mx, frida.rivas@correo.buap.mx,
gabriela.vidal@correo.buap.mx

²Escuela Superior de Física y Matemáticas, Instituto Politécnico Nacional
Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Colonia San Pedro Zacatenco, C.P. 07738, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, México.
eric.aguilargarcia@gmail.com

Área de participación: **Investigación Educativa**

Resumen

El objetivo de este trabajo fue introducir, de manera guiada, a los estudiantes al uso de ChatGPT para la generación de códigos de programación en lenguaje Python aplicado en la materia de Informática y Programación, en conjunto con la estrategia de Aprendizaje Basado en Problemas (ABP). Para esta investigación se trabajó con grupos de estudiantes de ingeniería, a quienes se les asignaron ejercicios de programación con tres niveles de complejidad: bajo, medio y alto, de acuerdo con el tipo de instrucciones a utilizar en el algoritmo. Posteriormente, se les pidió responder una encuesta de percepción para conocer sus opiniones sobre el uso de esta herramienta basada en Inteligencia Artificial (IA). De acuerdo con los resultados, los estudiantes mostraron mayor interés por el uso de esta herramienta, mejoraron la redacción de prompts y expresaron interés en seguir utilizando ChatGPT no sólo en esta asignatura, sino también en sus demás materias.

Palabras clave: *aprendizaje, programación, ChatGPT*

Abstract

The objective of this work was to introduce, in a guided way, students to the use of ChatGPT for the generation of programming codes in Python language applied in the subject of Informatics and Programming, using the Problem Based Learning (PBL) technique. For this research we worked with groups of engineering students, who were assigned programming exercises with three levels of complexity: low, medium and high, according to the type of instructions to be used in the algorithm. Subsequently, they were asked to answer a perception survey to know their opinions about the use of this Artificial Intelligence (AI) based tool. According to the results, students showed greater interest in the use of this tool, improved the writing of prompts and expressed interest in continuing to use ChatGPT not only in this subject, but also in other disciplines.

Key words: *learning, programming, ChatGPT*

Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) es la capacidad que tiene un sistema computacional para simular el comportamiento del cerebro humano, su potencial ha tenido un avance significativo en las últimas décadas, facilitando diferentes ámbitos de nuestra vida. En el ámbito de la educación, sin la IA no hubiera sido posible la educación virtual [1] ya que facilita la actividad docente y reduce tiempos en actividades que se pueden automatizar, mejora el aprendizaje personalizado, la tutoría inteligente, la calificación automatizada, la accesibilidad, la inclusión y disminuya la deserción estudiantil [1] [2].

La comunidad académica coincide en que no es conveniente ignorar o prohibir el uso de la IA, sino eficientar su uso de forma correcta y ética mediante una capacitación adecuada, en donde, mediante un diseño pedagógico centrado en las personas, se desarrolle el pensamiento crítico, se construyan relaciones de confianza entre los estudiantes y el proceso de evaluación forme parte del proceso de aprendizaje [3].

El ChatGPT por sus siglas en inglés “Chat Generative Pre-Trained Transformer” es una plataforma de IA que tiene la capacidad de producir textos que se asemejan al lenguaje humano, esta tecnología actualmente supera los 100 millones de usuarios, siendo considerada una de las aplicaciones con crecimiento más rápido de todos los tiempos [4]. Desde su aparición en noviembre de 2022, el ChatGPT ha sido una herramienta versátil, su modelo de IA le permite procesar textos, comprender preguntas, proporcionar respuestas en lenguaje natural, lo que ha impulsado su uso en una gran variedad de aplicaciones, ya que posee capacidad de adaptarse a la imaginación del usuario; su precisión es tal que es muy utilizado en tareas como la creación de códigos de programación. Sin embargo, a pesar de su uso y popularidad, el conocimiento del ChatGPT como un motor de búsqueda está limitado a eventos anteriores a 2021 [5]. Algunas de las críticas entorno al uso del ChatGPT radican en la credibilidad y el plagio, por lo tanto, algunos autores sugieren desarrollar marcos de gobernanza sólidos que permitan garantizar el uso de esta herramienta para resolver desafíos actuales de manera responsable [6].

El uso del ChatGPT en la educación puede ser una alternativa hoy en día para desarrollar en los estudiantes el pensamiento crítico y mejorar su redacción debido a que, es necesario escribir el prompt clara y detalladamente para obtener el resultado deseado. Aktay et al. [7] incorporaron el uso del ChatGPT para la búsqueda de información, con estudiantes de nivel primaria y posteriormente se realizó una encuesta de percepción sobre su uso. Observaron que los estudiantes mostraron un mayor interés por el uso del ChatGPT ya que encontraron que esta forma de aprendizaje resultó divertida para ellos, además de que incrementó su habilidad de redacción,

En lo que refiere a las estrategias de enseñanza-aprendizaje con potencial para implementar el uso del ChatGPT, se encuentra el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), este se caracteriza por ser una metodología que promueve el aprendizaje autónomo, trabajo colaborativo y habilidades de investigación, en este sentido la solución de problemas impacta en el desarrollo cognitivo de los estudiantes [8].

En esta investigación se pretende introducir al estudiante al uso del ChatGPT mediante el ABP, de forma responsable y crítica para construir códigos en Lenguaje Python que les permita resolver problemas para la asignatura de Informática y Programación.

Metodología

La asignatura de Informática y Programación impartida a nivel superior es de tipo teórico-práctico, es decir, a los estudiantes se les enseñan las bases teóricas que requieren para comenzar con la programación, por ejemplo, uso de conectivos lógicos, condicionales, estructuras selectivas, entre

otros; después, mediante ejercicios aplicados aprenden la utilidad de la teoría, ya que la implementan en la solución de problemas. En consecuencia, la habilidad de programar se adquiere con la práctica constante.

Sin embargo, con la llegada de la IA es inevitable que los estudiantes la utilicen para obtener soluciones a tareas en la asignatura de Informática y Programación, por tal razón, se implementó el ABP con la finalidad de que los estudiantes aprendan a utilizar adecuadamente el ChatGPT al programar en Python, en pro de su aprendizaje, sin sentir que incurren en prácticas tramposas y desleales. Posteriormente, se les aplicó una encuesta de percepción, con el objetivo de conocer su opinión sobre su desempeño. A continuación, se describen las etapas relacionadas con su implementación:

Etapa 1 - Solución de ejercicios sin IA

En clase presencial, con ayuda del docente, se realizaron los ejercicios de la Tabla 1, se clasificaron en tres categorías según el nivel de complejidad: el fácil se diseñó para el uso de operaciones aritméticas y el de complejidad media, empleando estructuras condicionales anidadas y/o múltiples, y el difícil con estructuras repetitivas, arreglos, librerías y funciones creadas por el usuario. La idea de realizar los ejercicios en clase tuvo por objetivo comparar las diferencias y similitudes con las que los alumnos realizaron sus programas, generando el dialogo y trabajo en equipo.

Tabla 1. Ejercicios aplicados en clases sin IA.

<i>Complejidad</i>	<i>Ejercicio</i>	<i>Características</i>	<i>Contenido temático</i>
<i>Fácil</i>	Dadas 5 calificaciones por el usuario, calcular el promedio de estas e imprimir el resultado	Uso de operaciones aritméticas, no se requiere el uso de librerías y/o funciones creadas por el usuario	Operadores de asignación y operadores aritméticos
<i>Media</i>	El dueño de una fábrica pretende entregar un bono por antigüedad a los trabajadores con base a lo siguiente: si tienen un año, se les dará \$1000; si tienen 2 años, \$2000, y así sucesivamente hasta los 5 años. Para los que tengan más de 5, el bono será de \$7000. Calcular el bono que le toca a cada empleado	Uso de estructuras condicionales, no se requiere el uso de librerías y/o funciones creadas por el usuario	Estructuras condicionales anidadas y múltiples
<i>Difícil</i>	Dada una pelota que se suelta desde una altura inicial indicar la altura a la que llega después de n cantidad de rebotes y el recorrido vertical total de la pelota; la altura del rebote n se calcula como $\frac{2}{3}$ del rebote anterior	Uso de estructuras repetitivas y/o arreglos (unidimensionales o bidimensionales), librerías y funciones creadas por el usuario	Estructuras repetitivas, estructuras de datos (arreglos) y funciones creadas por el usuario

Etapa 2 – Uso de IA en clase

Es esta etapa se les solicitó a los alumnos que utilizaran la IA, específicamente, el ChatGPT. El docente pidió a los estudiantes escribir un prompt las indicaciones necesarias para que el ChatGPT realizara cada uno de los ejercicios de la Tabla 1, haciendo énfasis en que entre más específica sea la redacción la IA contará con más información para dar respuesta al ejercicio planteado. Luego se les indicó que, si los resultados obtenidos no eran los esperados, es decir, existieran dudas sobre cualquier elemento del código, debían volver a preguntar y/o sugerir cambios, repitiendo este procedimiento las veces que fuera necesario hasta obtener un código que no solo cumpliera con las características estipuladas para los ejercicios, sino que también fuera comprensible en su totalidad. Por último, probaron el código obtenido en el intérprete de Python, de este modo se pudieron identificar las diferencias y similitudes entre el código realizado sin IA.

Etapa 3 - Realización de ejercicios fuera de clase

En esta ocasión fue turno de los estudiantes, ya que tuvieron que trabajar por cuenta propia con la programación de ejercicios con y sin ayuda del ChatGPT. Específicamente, se les solicitó realizar ejercicios similares a los de la Tabla 1, es decir, con los mismos grados de complejidad (2 de dificultad fácil, 2 de media y 2 difíciles), características y contenido temático. Esta etapa, también contempló que los estudiantes enviaran evidencia del trabajo que realizaron, la cual incluyó capturas de pantalla acompañadas de descripciones.

Etapa 4 - Encuesta de percepción

Al finalizar la etapa 3 se les pidió a los estudiantes que respondieran una encuesta de percepción, con la finalidad de obtener información de la estrategia de enseñanza-aprendizaje implementada. Esta incluyó las siguientes preguntas:

1. ¿Con anterioridad había utilizado el ChatGPT para realizar alguna actividad o tarea en alguna asignatura? Respuestas: Sí o No.
2. ¿Considera que sabe usar el ChatGPT? Respuestas: Sí o No.
3. Con base al nivel de complejidad, ¿Cuáles ejercicios le resultó difícil resolver sin ayuda del ChatGPT? Respuestas: Ejercicios fáciles, Ejercicios de dificultad media, Ejercicios difíciles, Ninguno y Todos
4. Con base al nivel de complejidad, ¿Cuáles ejercicios no pudo resolver sin ayuda del ChatGPT? Respuestas: Ejercicios fáciles, Ejercicios de dificultad media, Ejercicios difíciles, Ninguno y Todos
5. ¿En la realización de esta actividad consideró las características requeridas (p.ej. variables, funciones propias librerías y arreglos)? Respuestas: Sí o No.
6. ¿Considera que aprendió algo nuevo del lenguaje de programación Python al utilizar el ChatGPT para resolver los ejercicios? En una escala del 1-5 indique su nivel de aprendizaje, 1 es poco y 5 mucho. Respuestas del 1-5.
7. ¿Volvería a utilizar el ChatGPT en actividades similares a esta? Respuestas: Sí o No.

Resultados y discusión

Etapa 1

A partir de las sesiones de clases donde se aplicó el ABP de la mano del docente y sin ayuda de la IA, se observó que los estudiantes desarrollaron por completo las actividades planteadas, la evaluación de estas se midió sólo como “entregado” y “no entregado”. En esta etapa se identificó una gran

participación, ya que los estudiantes contaron con ayuda no sólo del docente, sino también de sus compañeros de clase.

Etapa 2

En sesiones con supervisión del docente al solicitarle a los estudiantes escribir el prompt al ChatGPT por medio de un enunciado que plantee el problema, se observó una respuesta rápida por parte de la herramienta. Después, la respuesta obtenida se comparó con la desarrollada sin usar IA, se identificó que la herramienta resolvió de forma parecida, pero con instrucciones de programación avanzadas; lo anterior permitió replantarle solicitudes más específicas, hasta que se llegara a respuestas casi idénticas a las resueltas sin ayuda de IA, para que los estudiantes reconocieran y dominaran las instrucciones de programación. La evaluación en esta etapa también se consideró como “entregado” y “no entregado”. Asimismo, es destacable que todos los estudiantes tuvieron que replantear más de una vez el prompt, principalmente porque los códigos resultantes tenían elementos del lenguaje de programación en Python que desconocían y que solicitaron a la IA que se los explicaran.

Etapa 3

Los estudiantes haciendo uso del ChatGPT resolvieron por su cuenta ejercicios aplicados donde el objetivo principal fue que identificaran las instrucciones de programación en la respuesta que les dio la IA y por supuesto que la solución al problema fuera correcta. En comparación con semestres anteriores, donde no se utilizó el ChatGPT, se observó que un mayor número de estudiantes entregaron los ejercicios, ya que contaron con una herramienta útil que les permitió identificar sus errores y aciertos, así como áreas de oportunidad que contribuyeron en su aprendizaje.

Etapa 4

En la encuesta de percepción se obtuvieron 185 respuestas de 265 estudiantes, equivalente al 70%. En la Figura 1, se muestran las réplicas a la pregunta “¿Con anterioridad había utilizado el ChatGPT para realizar alguna actividad o tarea en alguna asignatura?”, donde 126 estudiantes respondieron “Sí” y 59 respondieron “No”; esto confirma que el 68.1% de los estudiantes han usado previamente el ChatGPT para sus asignaciones.

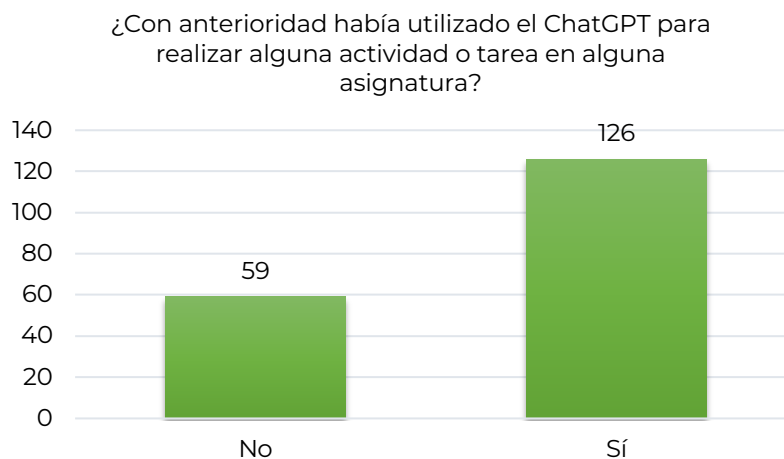


Figura 1. Gráfica que muestra la respuesta al uso previo de ChatGPT.

Para la pregunta “¿Considera que sabe usar ChatGPT?” (ver **Figura 2**), el 54.6% de los encuestados respondió que “Sí”, es decir 101 estudiantes; mientras que 45.4% respondió que “No”, es decir 84 estudiantes. De la mano con la pregunta anterior, demuestra cierta experiencia en el uso de ChatGPT aunque no necesariamente indica el uso correcto.

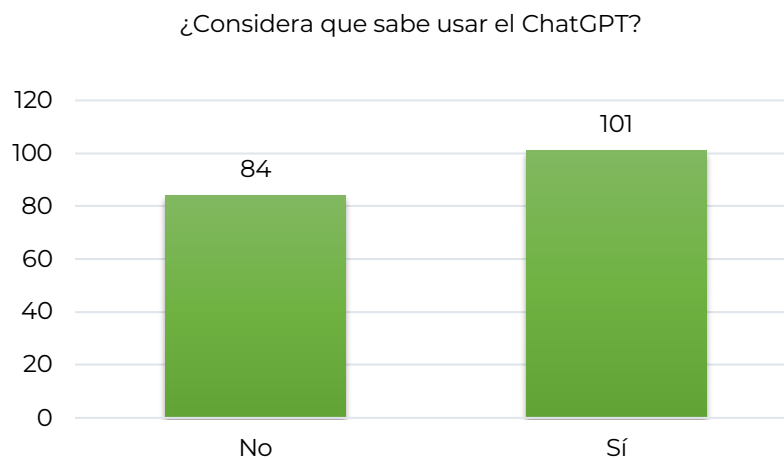


Figura 2. Gráfica que indica la respuesta a la precepción propia de saber usar ChatGPT.

En cuanto a la percepción de complejidad al momento de resolver los ejercicios de forma independiente y sin ayuda de ChatGPT se les planteó la pregunta: “¿Cuáles ejercicios le resultó difícil resolver sin ayuda del ChatGPT?”, en la Figura 3 se observa que 10 encuestados respondieron que los ejercicios de complejidad fácil, 24 los de complejidad media, 137 los de mayor dificultad, 8 que ninguno se les dificultó y 6 se les dificultaron todos. Según la gráfica, el 74.1% de los estudiantes tuvieron complicaciones para resolver los ejercicios de mayor dificultad, porque estos plantean un mayor razonamiento y conocimientos matemáticos avanzados, los cuales no poseen ya que se encuentran en los primeros semestres de su formación académica universitaria y hasta este punto solamente han llevado matemáticas básicas.

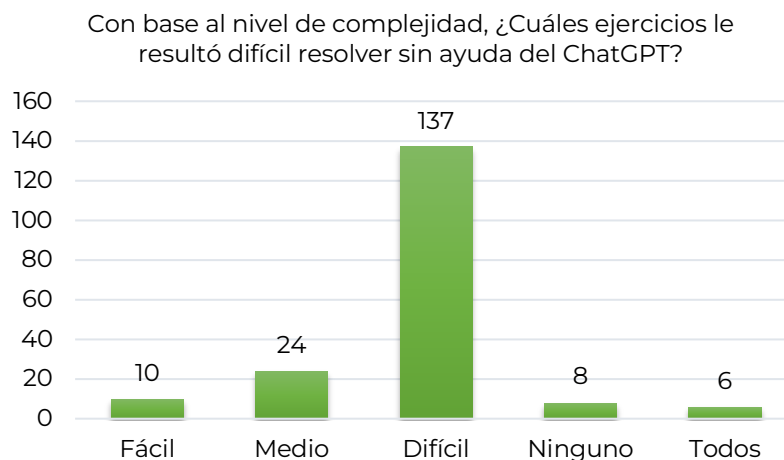


Figura 3. Gráfica que muestra el grado de complejidad percibido al resolver ejercicios.

Complementando la pregunta anterior, a la interrogación “¿Cuáles ejercicios no pudo resolver sin ayuda de ChatGPT?” (ver Figura 4), 8 estudiantes respondieron que los de grado fácil, 11 los de grado medio, 144 los de grado difícil, 19 ninguno y 3 todos; es decir el 77.8% de los estudiantes no pudieron resolver los ejercicios de grado difícil, 5.9% los de grado medio, 4.3% los de grado fácil, 10.3% ninguno y el 1.6% todos los ejercicios lo que coincide con las respuestas de la pregunta previa.

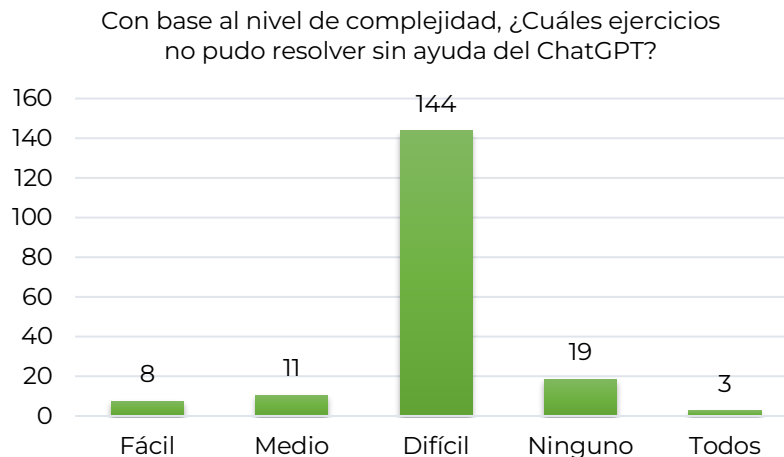


Figura 4. Gráfica que indica que ejercicios de forma independiente o pudieron resolver sin ayuda de ChatGPT.

Para conocer si cumplieron con las características mínimas requeridas se les preguntó “¿En la realización de esta actividad consideró las características mínimas requeridas (p.ej. variables, funciones propias, librerías y arreglos)?”. En la Figura 5 se muestra que 171 encuestados indicaron que “Sí”, 14 dijeron que “No”, estos resultados exponen que el 92.4% cumplieron con los requisitos y el 7.6% no cumplieron lo solicitado. Estos resultados reflejan que si bien gran parte de los estudiantes se encuentran familiarizados con el contenido temático de la asignatura, existe un porcentaje mínimo que no reconoce los distintos elementos de programación abordados en clase, lo cual dificulta que puedan reconocerlos en las respuestas obtenidas con el ChatGPT.

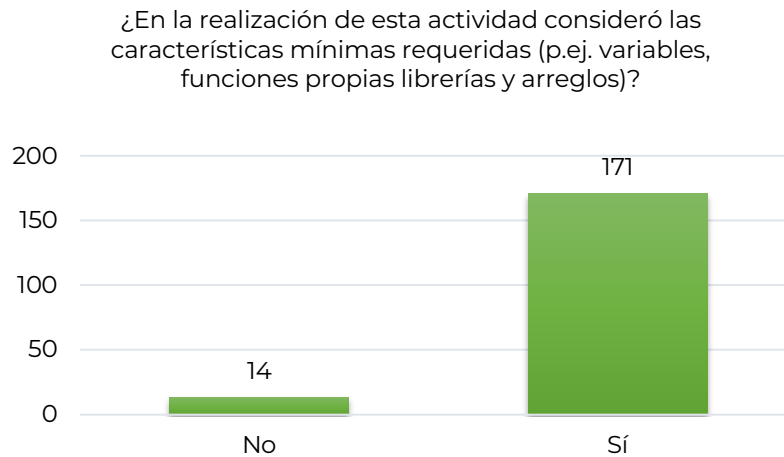


Figura 5. Gráfica que presenta si los estudiantes cumplieron con los requisitos solicitados.

A la pregunta de autocrítica y percepción “En una escala del 1-5 indique su nivel de aprendizaje” (ver Figura 6), donde 1 representa poco nivel de aprendizaje y 5 un nivel de aprendizaje alto, 6 respondieron 1, 16 respondieron 2, 44 respondieron 3, 86 respondieron 4 y 33 respondieron 5. Resumiendo, la información, 64.3% de los estudiantes consideran que su nivel de aprendizaje fue alto. Esto demuestra que, si bien en clase se les enseñan los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para comenzar a programar, los estudiantes deben participar activamente en la construcción de su aprendizaje por cuenta propia, mediante la práctica constante con o sin ayuda de IA.

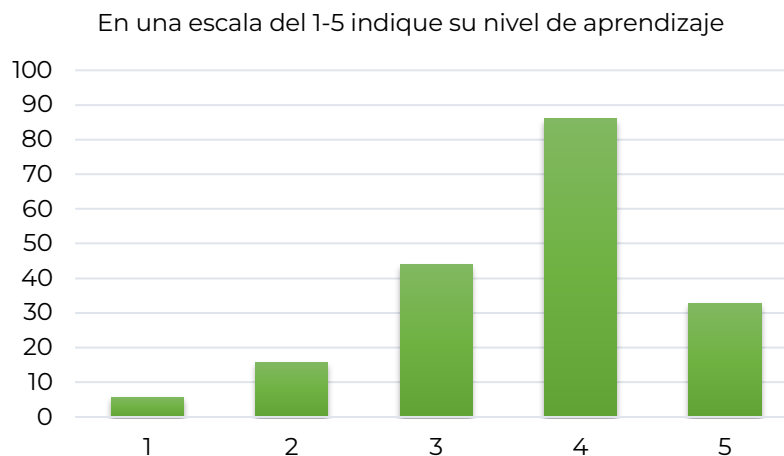


Figura 6. Gráfica que muestra el nivel de aprendizaje que los estudiantes consideran obtuvieron.

Para conocer si lo estudiantes seguirían usando la herramienta ChatGPT se les preguntó “¿Volvería a utilizar el ChatGPT en actividades similares a esta?”, en la Figura 7 se observa que 19 estudiantes respondieron “No” y 166 respondieron “Sí”, lo que indica que el 89.7% de los estudiantes pretenden seguir usando la herramienta. Lo cual es una buena idea, siempre que se emplee adecuadamente, es decir, que involucre un razonamiento que conlleve al aprendizaje.

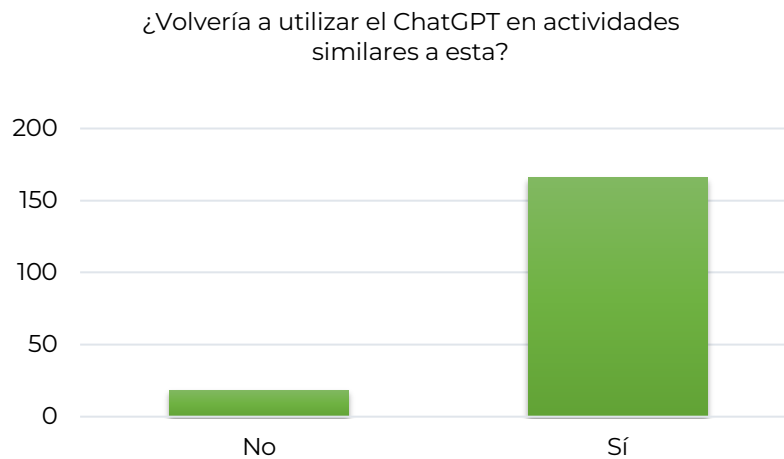


Figura 7. Gráfica que muestra si los estudiantes utilizarían la herramienta en otras actividades.

Podemos observar en los resultados la aceptación de los estudiantes hacia la herramienta de ChatGPT, con la cual se apoyaron para poder resolver problemas con grado de complejidad alto. Resalta también que al usar el ABP los educandos conocen la aplicación en situaciones a las que se podrían enfrentar para darle importancia a la materia en cuestión.

Trabajo a futuro

Dado que la metodología ABP, es una técnica de aprendizaje que basa la enseñanza en la resolución de problemas complejos del mundo real y promueve la participación estudiantil para resolver los retos planteados, se pretende que en futuras intervenciones los ejercicios involucren desafíos enfocados en la carrera formativa de los alumnos, abordando temas con los que se encuentran en interacción constante, esto para favorecer el entorno de aprendizaje y con ello promover el desarrollo del pensamiento crítico y creativo. Asimismo, se pretende aplicar la metodología previamente descrita en pequeños grupos, con miras a desarrollar habilidades de trabajo en equipo, de comunicación asertiva y evaluación por pares.

Conclusiones

La IA ha impactado en muchos sectores, incluyendo la educación, es innegable que el uso de esta tecnología representa desafíos en la comunidad académica y estudiantil, principalmente en temas de prácticas deshonestas y plagio. Sin embargo, los beneficios que esta tecnología puede ofrecer a través de su uso responsable son evidentes, algunos ejemplos son; la creación de ambientes de aprendizaje creativos, mejorar prácticas pedagógicas, tutorías virtuales personalizadas y como generador de fuentes de ideas.

En este trabajo se estudió el impacto de ChatGPT como herramienta innovadora de aprendizaje, para examinar la efectividad y eficiencia al resolver problemas de programación en Lenguaje Python para así fomentar su uso responsable y ético.

A través de los resultados obtenidos en la encuesta de percepción se logra constatar que la mayoría de los estudiantes que participaron en este estudio (70%) reconocen haber hecho uso previo de IA, y es notable que, para la resolución de los problemas con alto grado de dificultad el 77.8% de los participantes recurrió a la herramienta ChatGPT, evidenciando que sin la ayuda de esta herramienta la solución de estos ejercicios fue compleja.

Cuando el Internet se empezó a usar en la vida académica, en su momento era un problema parecido al que se enfrenta la sociedad actual con la IA, se está usando sin que los estudiantes analicen si la respuesta es correcta o no, solo copian y pegan. La IA llegó para quedarse, por lo tanto, es importante que orientemos y enfatizamos a los educandos a su uso correcto y razonado.

Referencias

- [1] F. A. I. Flores, D. L. C. Sanchez, R. O. E. Urbina, M. Á. V. Coral, S. E. V. Medrano, and D. G. E. Gonzales, "Inteligencia artificial en educación: una revisión de la literatura en revistas científicas internacionales," *Apuntes universitarios*, vol. 12, no.1, pp. 353-372, 2022. ISSN:2304-0335 doi:<https://doi.org/10.17162/au.v12i1.974>.
- [2] M. Martínez-Comesaña, X. Rigueira-Díaz, A. Larrañaga-Janeiro, J. Martínez-Torres, I. Ocarranza-Prado, and D. Kreibel, "Impacto de la inteligencia artificial en los métodos de evaluación en la educación primaria y secundaria: revisión sistemática de la literatura," *Revista de psicodidáctica*, 2023. [En línea]. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psicod.2023.06.001>.
- [3] F. J. García Peñalvo, F. Llorens Largo, and F. J. Vidal García, "La nueva realidad de la educación ante los avances de la inteligencia artificial generativa," *RIED. Revista iberoamericana de educación a distancia*, 2024. doi: <https://doi.org/10.5944/ried.27.1.37716>.
- [4] Kieran West , "Insights 2024: Attitudes to AI", Elsevier, 13 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://assets.ctfassets.net/o78em1y1w4i4/6BWRibyJNQLYkKWwKw7SVf/64c04b53ca9cc0795ac811f583f7eebb/Insights_2024_Attitudes_To_AI_Full_Report.pdf.
- [5] J. L. Reyes, "Chat GPT: ¿cuáles son sus alcances y limitaciones?," *Ciencia UNAM-DGDC*, 9 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://unamglobal.unam.mx/global_revista/chat-gpt-cuales-sonsus-alcances-y-limitaciones/
- [6] A. Casheekar, A. Lahiri, K. Rath, K. S. Prabhakar and K. Srinivasan, "A contemporary review on chatbots, AI-powered virtual conversational agents, ChatGPT: Applications, open challenges and future research directions," *Computer Science Review*, vol. 52, pp. 100632, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2024.100632>.
- [7] S. Aktay, S. Gök and D. Uzunoğlu, "ChatGPT in education," *Türk Akademik Yayınlar Dergisi (TAY Journal)*, vol. 7, no. 2, pp. 378-406, 2023. doi: <https://doi.org/10.29329/tayjournal.2023.543.03>.
- [8] V. J. Guamán Gómez and E. E. Espinoza Freire, "Aprendizaje basado en problemas para el proceso de enseñanza-aprendizaje," *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 14, no. 2, pp. 124-131, 2022. ISSN 2218-3620.

EVALUACIÓN DE LOS OBJETIVOS EDUCACIONALES DEL PROGRAMA DE ESTUDIO DE ITIC'S

García-Belmont, Reyna ^{1*}, Calderón-García, Erika Concepción², Puente-Pérez, María del Consuelo³, Ríos- Caballero, Eliezer⁴, Rodríguez-López, Marcela⁵,

¹Tecnológico Nacional de México / IT de Tlalnepantla-reyna.gb@tlalnepantla.tecnm.mx,

²Tecnológico Nacional de México / IT de Tlalnepantla-erika.cg@tlalnepantla.tecnm.mx, ³Tecnológico Nacional de México / IT de Tlalnepantla-maria.pp@tlalnepantla.tecnm.mx, ⁴Tecnológico Nacional de México / IT de Tlalnepantla-eliezer.rc@tlalnepantla.tecnm.mx, ⁵Tecnológico Nacional de México / IT de Tlalnepantla- marcela.rl@tlalnepantla.tecnm.mx

Área de participación: **Investigación Educativa**

Resumen

En el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, se genera información de diversas fuentes que permite obtener datos que representan la situación actual que se guarda en diferentes ámbitos y contextos relacionados con los alumnos, docentes y empresas, los cuales debieran ser utilizados para encontrar mejoras en el diseño y desarrollo de los programas educativos. Sin embargo, la falta de planeación causa que dicha información sea aislada, lo que dificulta el levantamiento y coordinación de esta. Partiendo de esta necesidad el presente trabajo muestra una aplicación que permite la medición de los objetivos educativos del programa educativo de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, la propuesta implica el uso de la ciencia de datos a fin de contar con una herramienta que facilite la evaluación periódica de las necesidades de las empresas del entorno y grupos de interés, a través de la identificación de indicadores que contribuyan a la calidad educativa.

Palabras clave: *Calidad educativa, Ciencia de datos, Objetivos educativos, Instrumento de medición.*

Abstract

At the Technological Institute of Tlalnepantla, information is generated from various sources that allows obtaining data that represents the current situation that is kept in different areas and contexts related to students, teachers and companies, which should be used to find improvements in the design and development of educational programs. However, the lack of planning causes this information to be isolated, which makes it difficult to collect and coordinate it. Based on this need, the present work shows an application that allows the measurement of the educational objectives of the educational program of Engineering in Information and Communication Technologies, the proposal involves the use of data science to have a tool that facilitates the periodic evaluation of the needs of companies in the environment and stakeholders. through the identification of indicators that contribute to educational quality.

Key words: *Educational quality, Data science, educational objectives, Measurement instrument.*

Introducción

Las tendencias de la educación en Ingeniería del Tecnológico Nacional de México (TecNM), en particular en el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla (ITTla), se basan en el desarrollo de competencias y habilidades que aseguren la inserción en el mercado laboral y el desempeño exitoso de una profesión. En el caso del Programa Educativo (PE) de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones (ITIC's), la práctica profesional va cambiando de manera acelerada, impulsada por las necesidades del entorno laboral, el avance tecnológico y la competencia, partiendo de la anterior premisa, se advierte la necesidad de evaluar los objetivos educacionales de forma periódica, con el fin de identificar la pertinencia de estos; considerando como marco de referencia los criterios señalados por el Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, Asociación Civil (CACEI), el cual incorpora tendencias y estándares internacionales establecidos por el Washington Accord [1], así como los requisitos establecidos en el Marco General para los Procesos de Acreditación de Programas Académicos del Nivel Superior, 2016, del COPAES [2].

Actualmente se desconoce hasta qué punto el proceso de ajuste en el campo laboral se está desarrollando de manera efectiva para los egresados de la carrera de ITIC's, siendo dable el presente trabajo con el fin de contar con un proceso sistemático que permita valorar el desarrollo y logro de los atributos de egreso de los estudiantes de ITIC's y así evidenciar la situación actual que se guarda en diferentes ámbitos y contextos relacionados con los egresados, buscando la oportunidad de incorporar mejoras en el diseño y desarrollo del PE [3], representando con ello una ventaja competitiva para los egresados, identificando con ello:

- ¿Qué competencias están siendo cubiertas por un ITIC en el mercado laboral?
- ¿Cuáles son las demandas de las empresas del entorno?
- ¿Cuáles son las fortalezas y debilidades de los programas de estudio de un ITIC?

Para medir la efectividad del PE de ITIC's, se requiere la participación de grupos de interés: estudiantes, profesores, egresados y empleadores, sin embargo, como primera instancia se considera el diseño de evaluación dirigida a egresados, utilizando para la recolección de datos el instrumento de medición para la evaluación de los objetivos educacionales de un ITIC's del ITTLA [4], lo anterior debido a que los instrumentos son indispensables para recoger y documentar los aspectos a verificar, los resultados facilitan el soporte para el registro de las evidencias [5].

Las competencias profesionales permiten a una egresado desenvolverse de la mejor manera posible en su trabajo, siendo la de mayor relevancia las competencias del "Ser" y "Saber hacer" [6]. Las variables que determinan las competencias del "Ser" fueron definidas a partir de la ideología del ITTLA [7] y de las características solicitadas en las empresas del entorno; por otro lado, las competencias del "Saber hacer" están basadas en el perfil profesional de egreso, considerando los conocimientos especializados que conforman el PE actual, el puntaje asignado depende del número de reactivos aplicados a cada variable. Los indicadores definidos en la Tabla 1, describen los elementos cualitativos que se analizan con el fin de encontrar la calidad de aspectos específicos del PE de ITIC's.

El presente trabajo inserta la ciencia de datos como una herramienta orientada al análisis de datos, con el fin de representar la información de manera gráfica y visualizar el comportamiento de los datos, analizando con ello tendencias y valores atípicos [8], abriendo con ello un abanico de posibilidades y oportunidades de mejora apegadas a las necesidades reales de las organizaciones, evaluando los factores que inciden en los saberes de un profesionista, para sentar las bases de una propuesta que permita a los egresados enfrentar eficientemente los retos en su ejercicio profesional [9].

Tabla 1. Identificación de variable e indicadores para la determinación de competencia
Adaptado de [4].

Competencias del ser			Competencias del saber hacer		
Variable	Indicador	Puntaje Asignado	Variable	Indicador	Puntaje Asignado
Pertinencia	<ul style="list-style-type: none"> • Docencia • Plan de estudio • Investigación • Infraestructura 	20	Redes	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar normas de seguridad en redes • Aplicar normas de calidad en redes • Aplicar técnicas de diseño de redes • Aplica técnicas de configuración de redes 	10
Compromiso	<ul style="list-style-type: none"> • Actitud • Lealtad • Competencia • Proactividad 	25	Desarrollo de software	<ul style="list-style-type: none"> • Programación • Bases de datos • Desarrollo Web • Aplicaciones móviles 	30
Responsabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Fiabilidad • Cumplimiento 	15	Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Legalidad • Consultoría • Auditoría • Protección de activos e integridad de datos 	25
Honestidad	<ul style="list-style-type: none"> • Coherencia • Sinceridad • Integridad 	15	Administración	<ul style="list-style-type: none"> • Empresa de TI • Administrar proyectos 	15
Respeto	<ul style="list-style-type: none"> • Consideración • Dignidad • Prudencia • Honorabilidad • Justicia 	15			
Disciplina	<ul style="list-style-type: none"> • Orden • Perseverancia 	10			
Total		100			80

Metodología

Dada la naturaleza del trabajo, donde se desea una integración tecnológica para hacer dinámico el intercambio de información, promover entornos que favorezcan la calidad de los datos y contribuir con la transformación de la información en conocimiento; se adoptó la metodología de Desarrollo Rápido de Aplicaciones (Rapid Application Development, o RAD), que se centra en gestionar servicios de “Entregar valor al negocio” [10]. Para definir la forma de trabajo se aplicaron las siguientes fases [11]:

- Modelado de gestión
- Modelado de datos
- Modelado de proceso
- Generación de aplicaciones
- Pruebas de entrega

Modelado de gestión

El flujo de información entre las funciones de gestión se modela, de forma que responda a las siguientes preguntas: ¿Qué información conduce el proceso de gestión? ¿Qué información se genera? ¿Quién la genera? ¿A dónde va la información? ¿Quién la procesa?, como se muestra en la Figura 1.

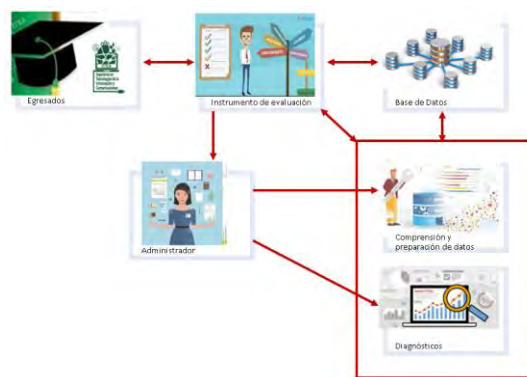


Figura 1. Modelado de gestión.
Adaptado de [11]

Como se observa en el flujo de información, el egresado colabora en responder un instrumento de medición de indicadores, los datos obtenidos se almacenan en una base de datos diseñada en MySQL, el administrador prepara los datos y genera los diagnósticos correspondientes, los cuales servirán en un futuro para teorizar estrategias de mejora. En la tabla 2 se muestran algunos de los requerimientos identificados para la configuración y operación de la aplicación.

Tabla 2. Identificación de variable e indicadores para la determinación de competencia
Adaptado de [12].

Área	Función	Descripción
Arquitectura de Aplicación	Aplicación	Tener información del modelo de datos: con las entidades y sus relaciones.
	Aplicación	La arquitectura de la aplicación debe tener la capacidad de ser configurable.
	Tecnología de Desarrollo	Incluir información de la tecnología de lenguajes de programación utilizados.
Integración de Datos	Datos	La aplicación debe validar todas las transacciones y proporcionar información inmediata al usuario.
	Archivos	La aplicación debe tener la capacidad de intercambiar datos y / o archivos (importación / exportación) con otras fuentes de información.
	Análisis	La aplicación debe tener mediciones de calidad y consistencia de los datos para ser analizados en el sistema.
Conectividad	Software Cliente	El software orientado al cliente debe permitir la conectividad, inalámbrica o por red móvil desde un dispositivo inteligente, o desde una página web.

Modelado de datos

El modelado de datos en la metodología RAD (Rapid Application Development) es un paso crucial dentro del ciclo de desarrollo iterativo, donde se enfoca en definir las estructuras de los datos necesarios para cada uno de los objetos y las relaciones entre estos objetos, como se observa en la figura 2.

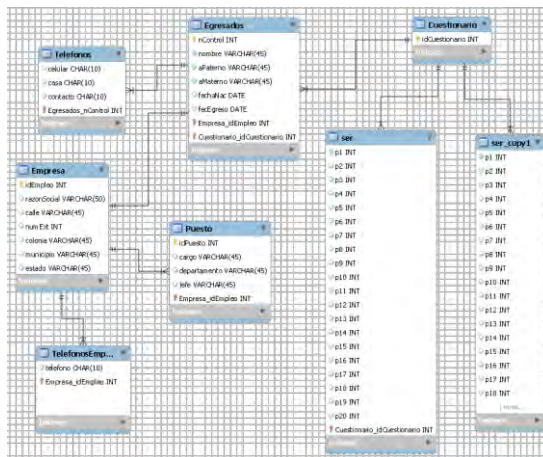


Figura 2. Modelado de datos.

Modelado de proceso

Se enfoca en definir y estructurar cómo interactúan los diferentes procesos del sistema para lograr los objetivos; se busca modelar los procesos de manera que reflejen las operaciones y flujo de información requerido, facilitando su adopción y uso (Figura 3).



Figura 3. Modelado de proceso.

La obtención, consolidación, administración y resguardo de datos se realizan a través de un sitio web, considerando la importancia de que el internet es un lugar para todos y permite una presencia siempre disponible para quien desee colaborar; el almacenamiento se realiza en la nube, para prevenir el volumen de información y no depender de la arquitectura de una computadora y así evitar futuros problemas en la implementación.

Generación de aplicaciones

La generación de aplicaciones se basa en la planificación, la cual garantiza que los recursos se coordinen adecuadamente para cumplir las especificaciones del diseño, así como minimizar el impacto en las incidencias del servicio que se presta al usuario. En primera instancia aparece la página principal (<https://indicadores.org/public/index.php>), donde se hace un preámbulo sobre la importancia de contar con la participación de los grupos de interés y se cuenta con el acceso a la encuesta dirigida a egresados. Para la elaboración de la aplicación se utilizó PHP, MySQL, Python, con fin de garantizar que los recursos se coordinen adecuadamente para cumplir las especificaciones del diseño, así como minimizar el impacto en las incidencias del servicio que se presta al usuario.

Prueba de entrega

Es una fase clave en la que la aplicación se somete a un conjunto final de pruebas para asegurar que cumple con los requisitos del usuario y que está listo para ser implementado. Esta etapa tiene lugar después de múltiples iteraciones y prototipos funcionales que ya han sido revisados y validados parcialmente, por lo que el foco se centra en comprobar la estabilidad y la funcionalidad de acuerdo con las exigencias establecidas. En el módulo de usuario se muestra una pantalla de registro, lo único que se tiene que hacer es indicar correo y contraseña asignada, para ingresar a la función correspondiente (Figura 4).



Figura 4. Inicio de sesión.

En el módulo de Cliente, la opción de egresados muestra la encuesta correspondiente, la cual podrá ser visible en cualquier dispositivo, en ella se podrán plasmar los datos necesarios para realizar un diagnóstico y estar en contacto con los egresados (Figura 5).

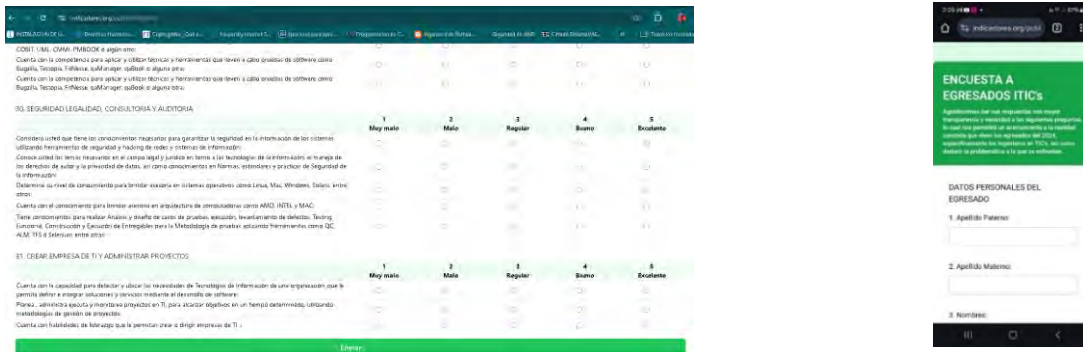


Figura 5. Vista de encuesta a egresados del PE de ITIC's en PC y móvil.

El módulo de Servicios y/o Productos es esencial para el egresado y administrador, ya que tiene una relevante importancia en establecer y promover los resultados bien documentados para brindar credibilidad y tomar decisiones basadas en evidencias.

Resultados y discusión

La analítica gira en torno a la agregación de datos procedentes de la aplicación del instrumento de evaluación para reflejar la situación actual de los egresados, pero sobre todo busca visualizar nuevos enfoques que permitan enriquecer las prácticas educativas [13].

Para este apartado se realizaron pruebas con una muestra de 59 encuestas aplicadas a egresados de diversas generaciones, los datos obtenidos se sometieron a evaluación haciendo uso de código Python para el proceso de carga y limpieza de datos con datos de prueba (Figura 6).

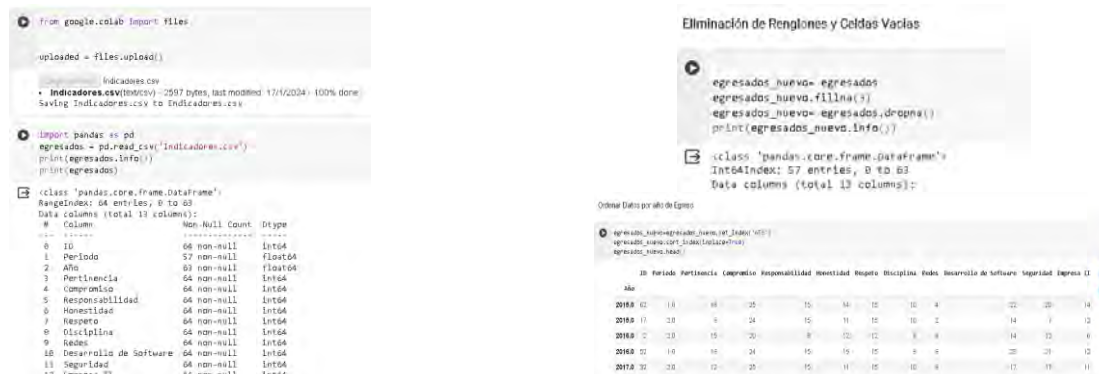


Figura 6. Preparación de datos a partir de Python.

El conjunto de datos preparado pasa por un proceso de análisis a través de código Python, dando como resultado la interpretación de las competencias evaluadas con el apoyo de gráficos como se muestra en la Figura 7 [14].

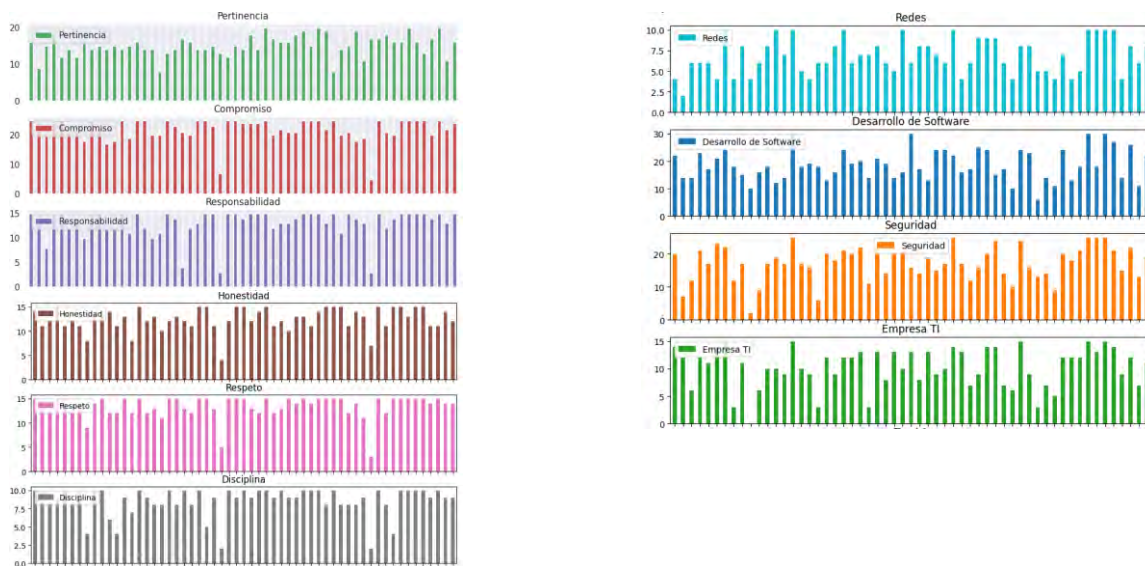


Figura 7. Interpretación de competencias del Ser y Hacer a partir de Python.

En el gráfico de la evaluación del “Ser”, se observa que la mayor frecuencia de respuesta de los egresados recae en un rango de 75 a 95 puntos, ubicando entre el logro regular y bueno en compromiso, responsabilidad, honestidad, respeto y disciplina, lo que indica cómo los egresados perciben su formación a lo largo de la carrera, destacando que estas competencias son relevantes para afrontar retos laborales, adaptarse a los cambios y crecer profesionalmente. Sin embargo, en la evaluación de las competencias del “Saber hacer” la frecuencia de las respuestas varía, reflejando con ello una anomalía. En la tabla 3 se muestra a detalle de cómo están funcionando nuestros procesos educativos en la formación de ingenieros y hasta qué punto las competencias desarrolladas por nuestros egresados son adecuadas y en cuales fallan, considerando los datos de prueba.

Tabla 3. Identificación de variable e indicadores para la determinación de competencias

Competencias del “Ser”				Competencias del “Saber Hacer”			
Variable	Puntuación Máxima	Puntuación Promedio	Nivel de Logro	Variable	Puntuación Máxima	Puntuación Promedio	Nivel de Logro
Pertinencia	20	15	75%	Redes	10	6	60%
Compromiso	25	22	88%	Desarrollo de Software	30	12	40%
Responsabilidad	15	13	87%	Seguridad	25	15	60%
Honestidad	15	12	80%	Administración	15	8	53%
Respeto	15	13	87%				
Disciplina	10	9	90%				
Total	100	84	84%	Total	80	41	51%

El puntaje obtenido revela que los conocimientos y actitudes no siempre avanzan en forma paralela y coherente, la capacidad de actuar del egresado como profesionista y los valores éticos son positivos hacia la carrera profesional, sin embargo, el dominio de conocimientos de la carrera no es alto; situación que invita a realizar un estudio de mayor profundidad y con relación a diversos factores para explicar este hecho.

La aplicación del instrumento de medición para la evaluación del perfil de egreso de un ITIC’s tiene la intención de captar una serie de habilidades y competencias que no necesariamente pueden ser

evaluadas por medio de calificaciones de cursos, sino por una serie de características con las cuales se desempeña como profesionista y a partir de un análisis de diagnóstico verificar los resultados de acuerdo con las competencias del “Ser” y “Saber hacer” para determinar el grado de cumplimiento de los objetivos educacionales y en su caso generar estrategias para la mejora continua del programa educativo de ITIC’s [5].

Trabajo a futuro

El alcance de este trabajo abarca una estrategia de análisis de los objetivos educacionales de un ITIC’s en el I.T.Tla, por lo que se recomienda trabajar a futuro:

- La Implementación de la aplicación de evaluación a través de los canales formales de la institución
- Considerar los criterios necesarios para mejorar la calidad de datos obtenidos
- Diseñar los instrumentos de evaluación de los objetivos educacionales de un ITIC’s dirigido a estudiantes y empleadores
- Implementar en la aplicación los instrumentos de evaluación correspondientes a empleadores y estudiantes

Conclusiones

La definición de los objetivos educacionales son el inicio de todo el sistema académico, por lo que es necesario fortalecer los vínculos con los grupos de interés (estudiantes, egresados, empleadores y organismos acreditadores) para su adecuada definición y actualización, es por ello que, la inclusión de analíticas en la evaluación sea constante ya que es una forma de realizar una revisión de habilidades a partir de nuevos objetivos educacionales que se lleguen a integrar al PE en sintonía con los cambios que demandan los grupos de interés, de tal forma que se logre el éxito en el impacto que se busca del programa educativo de ITIC’s, teniendo como desafío la mejora de la educación a través del uso de la ciencia de datos, para así identificar y comprender los problemas académicos y formalizar evidencias de evaluación que permitan:

- Visibilizar las competencias laborales
- Conocer las fortalezas y áreas de mejora en el desempeño laboral de los egresados en ITIC’s
- Mejorar sus condiciones de empleabilidad
- Profesionalizar su función
- Orientar mejor una trayectoria formativa o de desarrollo de carrera

La implementación del instrumento de evaluación servirá como medio para formalizar las evidencias de evaluación y con ello crear un proceso que se aplique semestralmente y mantener información actualizada con el fin de orientar mejor una trayectoria formativa de desarrollo de profesional que contribuya a la mejora de la enseñanza y calidad educativa, así como evaluar la pertinencia de los objetivos educacionales del PE de ITIC’s del I.T.Tla.

Agradecimientos

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México, al Instituto Tecnológico de Tlalnepantla y a la jefatura de Proyectos de Vinculación por la información proporcionada, para el éxito del presente proyecto, cuya finalidad es coadyuvar a elevar la calidad educativa del programa educativo de ITIC’s.

Referencias

- [1] International Engineering Alliance, «International Engineering Alliance,» 21 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.internationalengineeringalliance.org/>. [Último acceso: 17 Julio 2024]. [2] Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería A.C., Marco de Referencia 2018 para la acreditación de programas de Ingeniería (Criterios e Indicadores) Versión 3, Copaes, A.C., 2020, p. 127.
- [3] I. Mata Ortega, «Propuesta para la adquisición de una solución tecnológica que permita recolectar y difundir la información relacionada con las actividades de investigación en el tecnológico de Costa Rica,» Repositorio Institucional del Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica, 2020.
- [4] E. C. Calderón García, R. García Belmont, V. Calderón García, M. Rodríguez López y D. N. González Vieyra, «Definición de indicadores y trazado del instrumento de medición para la evaluación de los objetivos educacionales de un ingeniero en Tecnologías de la Información y Comunicaciones del ITTLA,» Innovación Científica y Tecnológica en las Ingenierías, n° 5, pp. 115-120, Septiembre 2022.
- [5] K. Ortega, «Saint Leo University,» 07 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://worldcampus.saintleo.edu/noticias/cuantos-tipos-de-analisis-de-datos-hay-cuales-son-los-tipos-de-analisis-de-datos#:~:text=Existen%20cinco%20tipos%20de%20an%C3%A1lisis,Veamos%20cada%20uno%20de%20ellos..> [Último acceso: 06 Noviembre 2023].
- [6] E. Barañano, «Grupo Castilla,» 29 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.grupocastilla.es/sabes-cuales-son-las-competencias-mas-valoradas-por-las-empresas/> [Último acceso: 20 Agosto 2024].
- [7] Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, «Instituto Tecnológico de Tlalnepantla,» 05 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.tlalnepantla.tecnm.mx/ideologia/>. [Último acceso: 01 Julio 2022].
- [8] Tableau Software, LLC, «Tableau from Salesforce,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.tableau.com/es-mx/learn/articles/data-visualization#:~:text=La%20visualizaci%C3%B3n%20de%20datos%20es,y%20patrones%20en%20los%20datos..> [Último acceso: 28 Junio 2024].
- [9] F. Santoya, «Analytics an Data Science in vocational training,» Revista Ecuatoriana de Investigación Educativa, vol. 1, n° 1, pp. 7-18, 27 Abril 2022.
- [10] Microsoft, «Herramientas de desarrollo rápido de aplicaciones (RAD),» Microsoft, Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://www.microsoft.com/es-es/power-platform/products/power-apps/rapid-application-development-rad/>. [Último acceso: 19 Agosto 2024].
- [11] M. Castro, «Incentro Spain,» 25 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.incentro.com/es-es/blog/stories/metodologia-rad-desarrollo-rapido-aplicaciones/>. [Último acceso: 10 Febrero 2021].
- [12] N. Malik, «One EA Team, Three EA Functions,» 11 junio 2008. [En línea]. Available: <http://blogs.msdn.com/nickmalik/archive/2008/06/11/one-ea-team-three-ea-functions.aspx>. [Último acceso: 19 Octubre 2019].

13] R. A. Perdomo Salcedo y G. Victorovich Buslaev, «Como las tecnologías de análisis de datos pueden ayudar a desarrollar el propósito de la educación de la ciencia y la ingeniería con big data en el siglo XXI,» Docencia Universitaria, vol. 21, n° 1, pp. 19-39, Marzo 2020.

[14] J. B. Rollins, «IBM Analytcs,» 01 junio 2023. [En línea]. Available: <https://ebac.mx/blog/que-es-la-ciencia-de-datos#:~:text=La%20%E2%80%9CMetodolog%C3%ADa%20Fundamental%20para%20la,artificial%20y%20el%20machine%20learning..> [Último acceso: 30 Octubre 2023].

IMPACTO DEL APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS EN MATERIAS DE FÍSICA PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA

Palomino-Rojas, Luis A^{1*}, Galindo-López Víctor¹, García-Cruz José A¹, Zenteno-Mateo Benito^d, Saavedra-Cruz Nubia^{1**}

¹Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería, C.U., Blvd. Capt. Carlos Camacho Espíritu y Av. San Claudio S/N Col. San Manuel, C.P. 72570,

Puebla, Puebla, México. ^{*}luis.palomino@correo.buap.mx, victor.galindo@correo.buap.mx, alejandro.garciacruz@correo.buap.mx, benito.zenteno@correo.buap.mx,

^{**}nubia.saavedra@correo.buap.mx

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

En el presente trabajo de investigación se examina el impacto del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), en el aprendizaje significativo de los conceptos físicos aplicados en diferentes materias del área de ingeniería. Para este estudio se analizaron los resultados obtenidos de una encuesta cuantitativa aplicada a los estudiantes participantes en el primer concurso de bazucas mecánicas de la Facultad de Ingeniería. Se observó que el proyecto fue considerado por el 79.2% de los estudiantes como una actividad que permite reforzar sus conocimientos, 63.4% de los estudiantes no conocían a profundidad los temas teóricos involucrados, al 73.3% de los estudiantes el trabajo en equipo les resultó satisfactorio y cumplieron en gran medida con los requisitos planteados para el prototipo de la bazuca. Por último, este estudio nos permitió identificar puntos de mejora para próximas implementaciones de proyectos tipo concurso.

Palabras clave: *proyectos, aprendizaje, física*)

Abstract

This research work examines the impact of Project Based Learning (PBL) on the significant learning of physical concepts applied in different areas of engineering. For this study, the results obtained from a quantitative survey applied to the students participating in the first mechanical bazooka competition of the School of Engineering were analyzed. It was observed that the project was considered by 79.2% of the students as an activity that allowed them to reinforce their knowledge, 63.4% of the students did not know in depth the theoretical topics involved, 73.3% of the students found the teamwork satisfactory and met the requirements for the bazooka prototype largely. Finally, this study allowed us to identify points of improvement for future implementations of contest-type projects.

Keywords: *projects, learning, physics*

Introducción

No es una novedad que las ciencias exactas son las materias que tienen mayor grado de complejidad y reprobación en los estudiantes, aunado al acceso a tecnologías e información en la que están involucrados, ha provocado que como docentes se trabajen estrategias de enseñanza-aprendizaje dinámicas. Las estrategias de aprendizaje son

métodos que aplica el estudiante para generar conocimiento, muchas de las veces establecidas por los docentes a través de actividades [1]. Existen diferentes estrategias que permiten el aprendizaje activo y centrado en los estudiantes como el ABP, estrategia usada para el desarrollo de esta investigación.

Cobo et al. definen al ABP como, “una metodología que se desarrolla de manera colaborativa que enfrenta a los estudiantes a situaciones que los lleven a plantear propuestas ante determinada problemática” [2, p. 5].

Córdoba et al. mencionan que “este tipo de técnica pedagógica propicia la indagación, el cuestionamiento, la resolución de problemas, el descubrimiento de oportunidades de mejora e integra ayudas tecnológicas como mecanismos para dinamizar la adquisición de conocimientos” [3, p. 34]. El ABP es una estrategia centrada en los estudiantes que permite el aprendizaje activo, para llevarla a cabo se siguieron los pasos que se muestran en la Figura 1.

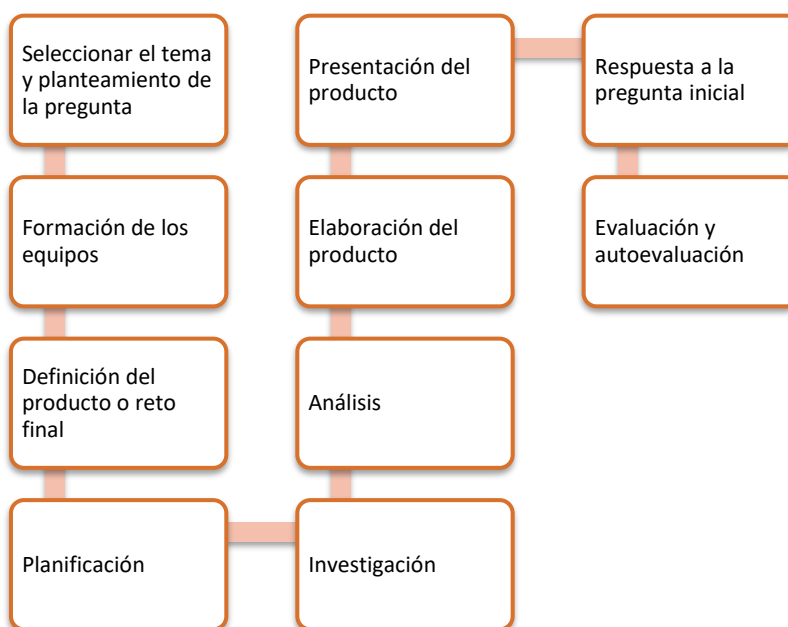


Figura 1. Pasos sugeridos para llevar a cabo el ABP[4].

Para las materias de Ingeniería donde se estudian las leyes de la física aplicada es importante que el aprendizaje sea relevante en la formación académica de los estudiantes. De lo anterior surge la idea de trabajar el ABP a través de un concurso de bazucas mecánicas, donde además de la creatividad, se desarrollen, apliquen y sustenten leyes de la Física. Este proyecto muestra que la implementación del ABP mediante un concurso, puede incrementar el interés en las materias de ciencias exactas y promover el aprendizaje significativo en los estudiantes.

Metodología

Convocatoria

Para llevar a cabo el proyecto, se convocó a los alumnos a participar en un concurso de bazucas mecánicas, llamado “Reto de bazucas mecánicas”; dentro de los requisitos se indicó el uso de materiales reciclados, el trabajo en equipos de tres estudiantes,

la exposición de los conceptos teóricos involucrados en el dispositivo a través de un cartel y que los materiales utilizados en el diseño del fueran los siguientes:

1. Tubo de PVC de 1.00 m a 1.20m
2. Base de madera
3. Ligas o resorte
4. Pelota de tenis
5. Complementos de metal, como tornillos, armellas, etc.

En la convocatoria se establecieron los lineamientos para la evaluación de los conceptos teóricos y técnicos para el funcionamiento de la bazuca correspondiente. Además, se hizo del conocimiento de los estudiantes que el concurso consistía en dos fases; en la primera se evaluaron los conceptos teóricos a través de un cartel y su correspondiente rúbrica. Los equipos ganadores de la primera fase pasaron al segundo nivel donde un jurado compuesto por tres docentes evaluó el funcionamiento de la bazuca mecánica a través de una rúbrica.

El concurso

En la fase uno se evaluaron 35 carteles de los equipos participantes. Los 10 carteles con mayor calificación obtenida pasaron a la siguiente fase. En la fase dos, los 10 equipos finalistas realizaron tres intentos de disparo con su bazuca para que pudieran ser evaluados por el jurado calificador. La tabla 1 muestra los criterios utilizados para la evaluación del cartel y la bazuca

Tabla 1. Criterios usados en la evaluación de los carteles y las bazucas

Criterios para la evaluación del cartel	Criterios para la evaluación de la bazuca
<ol style="list-style-type: none"> 1. Notación y modelación matemática 2. Interpretación de resultados 3. Contenido 4. Creatividad y organización 5. Ortografía y gramática 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Materiales 2. Mecanismo de disparo 3. Creatividad del diseño 4. Trabajo en equipo y comunicación efectiva

Encuesta

Posterior al concurso se obtuvieron resultados mediante una encuesta cuantitativa aplicada a los concursantes, la cual consistió en ocho preguntas cerradas. Del análisis y evaluación de los resultados obtenidos en la encuesta se observaron puntos de mejora de la estrategia ABP mediante un concurso, para rediseñar los lineamientos del concurso orientándolo a una nueva edición de éste.

Resultados y discusión


Al presentar el desarrollo del proyecto como un concurso en equipos de máximo tres personas, este representó a su vez un reto y un entusiasmo a los estudiantes; en la primera fase del concurso donde presentaron un cartel con la parte teórica y los cálculos matemáticos del desarrollo de la bazuca mecánica, se recibieron 35 carteles y un total de 105 participantes.

BAZUCA MECÁNICA

Ley de Hooke y Tiro Parabólico

1) Introducción

El desafío consiste en lanzar una pelota de tenis desde una bazuca y encestarla en una canasta de baloncesto, buscando la máxima distancia en tres intentos. Para lograrlo, se emplearán métodos matemáticos, incluyendo la ley de Hooke para gestionar la elasticidad y el tiro parabólico que combina movimiento horizontal uniforme y vertical rectilíneo uniformemente variado. Esto permitirá optimizar el lanzamiento y lograr la máxima distancia.



3) Desarrollo

Debemos de calcular: la velocidad en cada eje, así como su altura y distancia máxima.

Datos:
 $V_0 = 10m/s$
 $\theta = 40^\circ$
 $g = 9.81m/s^2$

Var: Velocidad inicial en x
 V_{0x} Velocidad inicial en y
 t_x tiempo en x
 X_{max} distancia máxima
 Y_{max} altura máxima

Sacaremos la velocidad del tiro parabólico, vejam:
 $V_{0x} = 10m/s * \sin 40^\circ$
 $V_{0x} = 6.42 m/s$
Sacamos el tiempo:
 $t_x = 6.42m/s / 9.81m/s^2$
 $t_x = 0.95 segundos$
Y por último sacamos la altura máxima que tiene el lanzamiento:
 $Y_{max} = (6.42m/s)^2 / 2(9.81m/s^2)$
 $Y_{max} = 4.2 m$

Calcularemos la distancia máxima que le damos a la pelota caso, primero sacaremos la velocidad en el eje x :
 $V_{0x} = 10m/s * \cos 40^\circ$
 $V_{0x} = 7.86m/s$
Sacamos el tiempo:
 $t_x = 7.86 / 9.81m/s^2$
 $t_x = 10.76 segundos$
Y al final sacamos la distancia máxima:
 $X_{max} = 7.86 m/s * 2(10.76m/s) / 9.81m/s^2$
 $X_{max} = 18.02 metros$

Terminado esto en cuenta, también podemos sacar la fuerza a la que se le aplica a nuestro resorte, para así sacar la constante k :
 $C = 20 \text{ cm} = 0.0508(100m/s) = 0.56N$
 $K = 0.56N / 0.2m = 2.8N/m$
Y velocidad:
 $V_{max} = 0.03m / 1.31s = 7.65m/s$

2) Marco Teórico

Paso 1: Definir marco inercial

Paso 2: utilizar las ecuaciones velocidad, alturas máximas en x , y , y el tiempo que hacen en su trayectoria en cada eje

Paso 3: análisis del Resorte Ley de Hooke

Para calcular la constante k : $k = F / \Delta x = k = (F_2 - F_1) / (x_2 - x_1)$

4) Conclusión

En este experimento que hemos realizado, podemos ocupar materiales sencillos de tener, entonces con esto podemos calcular distintos fenómenos físicos que lleguemos a ver, en este caso no los vemos afectados por la resistencia al aire, ya que ahí tendríamos distintas pérdidas por fricción.

5) Bibliografía

Olivera, A. S. (2019). *Resorte y Bazuca*. Recuperado de <https://www.repositorio.unl.edu.ar/handle/document/10000>

Bazuca mecánica

Introducción

Las principales características de una bazuca es que se compone por un tubo metálico abierto por ambos extremos cuyo objetivo es disparar proyectiles mediante su mecanismo interno a base de propulsión a chorro. Para este proyecto se requiere que el mecanismo debe ser en base a ligas o resortes, de ahí su nombre de **bazuca mecánica**. Esta es una máquina que combina poder, precisión y versatilidad por medio de sus componentes: proyectil y cámara de propulsión. El primero es el objeto lanzado que depende de propulsión precisa por lo que requiere de una fuerza externa. El movimiento del proyectil en una trayectoria parabólica dependiendo la resistencia del aire, en base a esto se harán los cálculos. En esta composición técnica describiremos esta bazuca con la finalidad de presentar una pelota de tenis con precisión, partiendo de un análisis teórico del modelo ideal.

Diseño de la bazuca



Marco Teórico

El estudio del movimiento de un proyectil se obtiene mediante las ecuaciones de posición de dicho fenómeno. Fijado considerando lo siguiente:

- El movimiento en la dirección horizontal es uniforme, por lo tanto:

$$x(t) = v_{0x} t$$
- El movimiento en la dirección vertical es uniformemente acelerado, entonces:

$$y(t) = v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2$$

Las **posiciones máximas** se calculan de la siguiente manera:

Para x : $x_{max} = v_{0x} t_{total}$

Para y : $y_{max} = \frac{v_{0y}^2}{2g}$

Por otro lado, el estudio de la **fuerza de propulsión** del proyectil se obtiene por medio de la **Segunda Ley de Newton**:

$$F = ma$$

donde la propulsión se puede recibir como:

$$F = \frac{dp}{dt}$$

La **fuerza** al disparar un resorte, surge entonces así:

$$F = kx$$

Ley de Hooke

Para obtener el **seno** de los ángulos que no se proporcionen podemos hacer los cálculos sobre el resorte con dos modos:

$F_1 = m_1 g$	$F_2 = m_2 g$
$kx_1 = m_1 g$	$kx_2 = m_2 g$
$x_1 = \frac{m_1 g}{k}$	$x_2 = \frac{m_2 g}{k}$

La **suma** de x_1 y x_2 será la resta de la medida del resorte original menos la medida del resorte que se comprimió al aplicar la fuerza. De la función de k se saca la medida de cuánto se comprime el resorte al aplicar la fuerza para que el proyectil se disparado.

Para realizar el estudio de la bazuca, se determina un **marco inercial** del siguiente modo:

Desarrollo



Proceso de armado:

- El elemento que se realiza una abertura a los lados para poder pillar el mecanismo de disparo.
- Se usa una perla para base al resorte, el cual va en el elemento B a mecanismo de disparo, y este se introduce en el elemento C, se le introduce un tubo pequeño antes o después para poder comprimir el resorte.
- Se aplica el elemento 1 al elemento 3, que en nuestra bazuca, mediante flexión o un tubo pequeño.

Base de la bazuca:

- Cilindro elaborado a base de perlas y engrudo de tal forma que nos firme y no que la condición de la masa establecida.
- Bolitas de plástico ligadas con tiritas y cuentas.
- Se usa de madera o vidrio para no generar desperdicio.

Se abre la abertura del cilindro si se requiere la bazuca.

Para cumplir con el objetivo diseñado, se utilizaron los materiales aproximados de una cancha de básquet de tal forma que guardamos obtener la fuerza aproximada necesaria que requiere el proyectil para encestar. Donde la posición máxima en x y en la altura de la cancha y la posición horizontal en una distancia depende un punto propuesto hasta la cancha.

Determinar el marco inercial:



Obtención de la velocidad inicial en el eje x :

$$v_{0x} = \frac{dx}{dt}$$

Obtención de la velocidad inicial:

$$v_{0y} = \frac{dy}{dt}$$

Obtención de la velocidad en la posición máxima en el eje y :

$$v_y = v_{0y} - gt$$

Obtención de la fuerza necesaria para encestar la pelota de tenis:

$$F = ma$$

Obtención del tiempo transcurrido conociendo la velocidad inicial en el eje x :

$$t = \frac{x}{v_{0x}}$$

Figura 2. Ejemplo de carteles entregados.

De los 35 carteles que fueron evaluados a través de una rúbrica se seleccionaron los 10 que obtuvieron un mayor puntaje para que pasaran a la fase de la presentación en físico de la bazuca, las cuales fueron evaluadas por un comité de 3 evaluadores por medio de una rúbrica, donde se premiaron a los tres equipos con mayor puntaje.

De la encuesta que se presentó a los estudiantes, se recibieron 101 respuestas de 105 participantes equivalentes al 96.2% del total. A la pregunta, "¿Considera que el reto de las bazucas fue buena idea para reforzar sus conocimientos?" 2 respondieron que "No", 80 respondieron que "Sí", 19 respondieron "Tal vez"; esto nos indica que el 79.2% de los estudiantes consideran el desarrollo del reto como una actividad óptima para reforzar sus conocimientos, este tipo de proyectos permiten la aplicación de la teoría y trabajan el aprendizaje kinestésico.

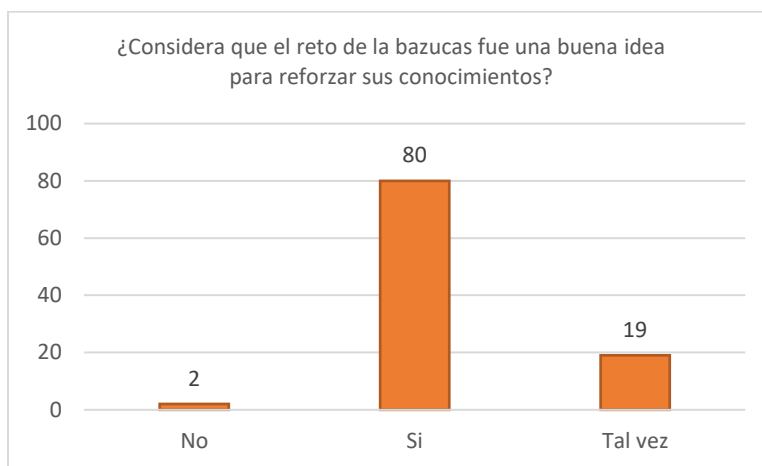


Figura 3. Respuesta a la consideración del reto como una buena idea para reforzar conocimientos.

Para conocer si en el desarrollo del proyecto trabajaron las leyes de la física involucradas en el mismo se definió la siguiente pregunta: “¿Qué conceptos utilizó?”, de la que se observa que 99 de los 101 encuestados identificó “Tiro parabólico”, 58 de los 101 las “Leyes de Newton” y 51 de los 101 “Ley de Hooke”. Lo esperado a esta pregunta era, que se identificaran las tres teorías de forma homogénea, lo cual no sucede por lo que observamos, que el proyecto en cierta medida se resolvió de forma empírica.

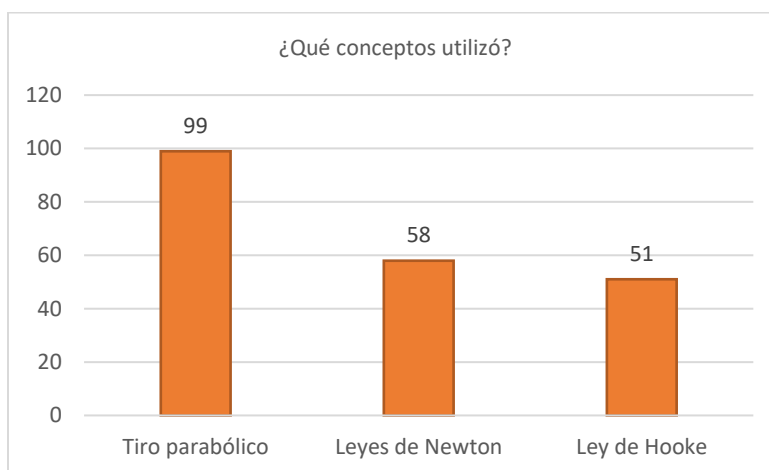


Figura 4. Respuesta al uso de las leyes teóricas involucradas en el proyecto.

Profundizando en los conocimientos teóricos y la aplicación de los mismos en el proyecto se les preguntó “¿Tenía conocimientos previos de los conceptos?”, donde 3 estudiantes respondieron que “No”, 34 respondieron “Sí, en gran medida” y 64 respondieron “Sí, en poca medida”. Lo anterior nos indica que 63.4% de los estudiantes, no conocían a profundidad los temas teóricos involucrados.

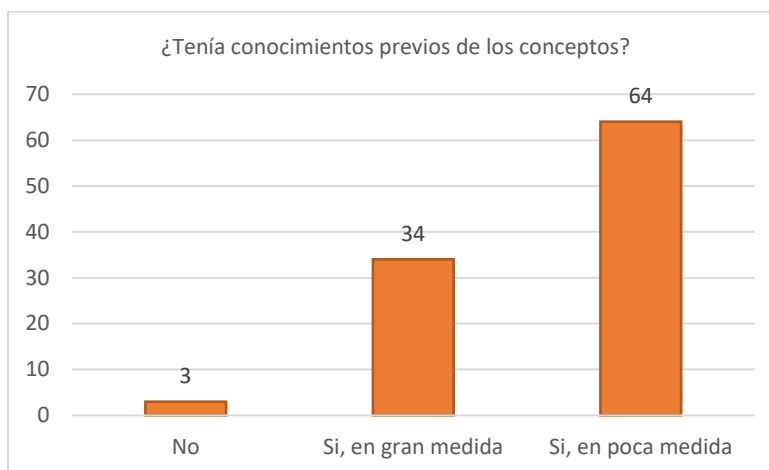


Figura 5. Respuesta al grado de conocimiento de los temas teóricos involucrados en el proyecto.

En cuanto al proceso técnico del desarrollo de la bazuca, se les preguntó “En la parte técnica, ¿qué fue lo más difícil?”, 36 estudiantes respondieron “Armar el prototipo”, 14 respondieron “Buscar las partes” y 51 respondieron “Hacer que funcionara”; es decir al 50.5% de los estudiantes el reto de hacer que su diseño de bazuca fuera funcional fue lo más complejo de resolver.

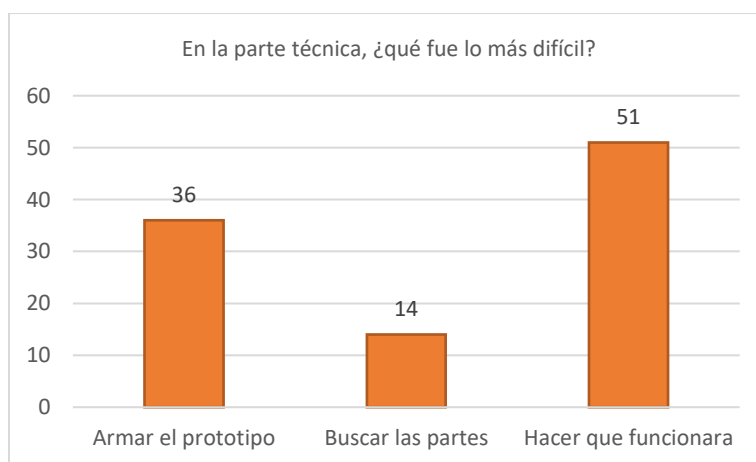


Figura 6. Respuesta a lo más difícil de resolver técnicamente en el desarrollo del proyecto.

Una de las características del diseño de la bazuca era que usaran materiales reciclados, por lo que se les preguntó “¿En qué porcentaje consideras que usaste materiales reciclados?”, 11 estudiantes respondieron que 40%, 22 el 60%, 51 el 80% y 17 el 100%, de lo que se concluye que la mayoría de los estudiantes cumplió con dicho requisito.

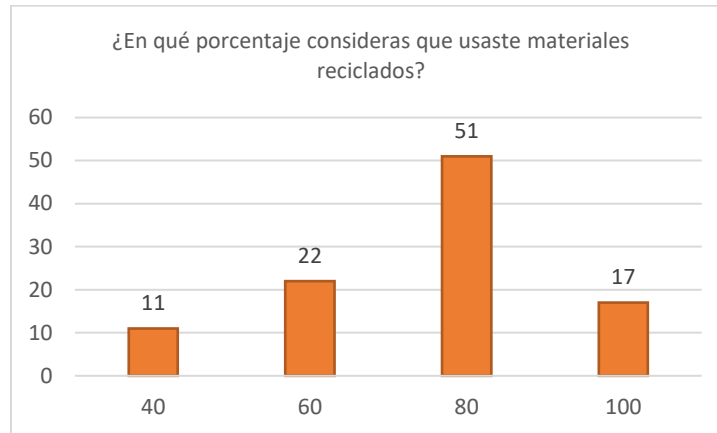


Figura 7. Respuesta al porcentaje de material reciclado usado en el proyecto.

El proyecto implicó un grado de dificultad que requería de experiencia en los temas, para indagar en quién se apoyaron para resolver dudas se les preguntó “¿De quién necesitaste algún tipo de asesoría?”, a la que 18 estudiantes respondieron “De mi profesor”, 53 respondieron “De mis compañeros” y 30 respondieron “No necesité”; lo anterior nos permitió concluir que el trabajo en equipo se desarrolló en buena forma.

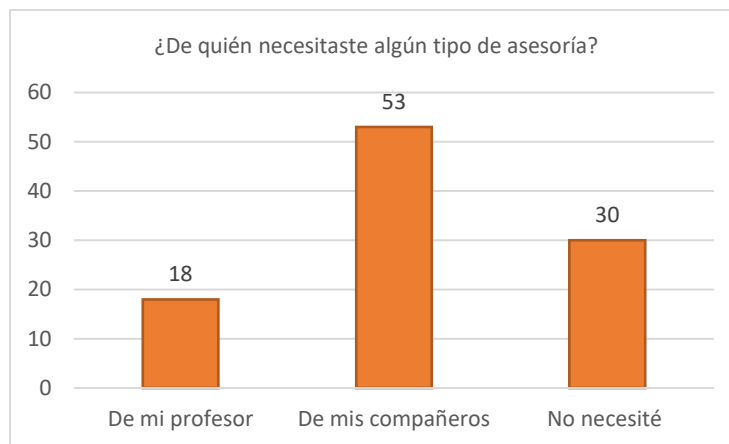


Figura 8. Respuesta al tipo de asesoría buscada para resolver dudas.

En conjunto con la pregunta anterior para conocer sus fuentes de información se les preguntó “¿Sus principales fuentes de información fueron?”, donde 47 contestaron “Información de internet”, 12 contestaron “Libros de texto”, 19 contestaron “Notas de los cursos” y 23 contestaron “Vídeos de internet”. Observamos que la mayor fuente de información para los estudiantes fueron los vídeos e información en internet.

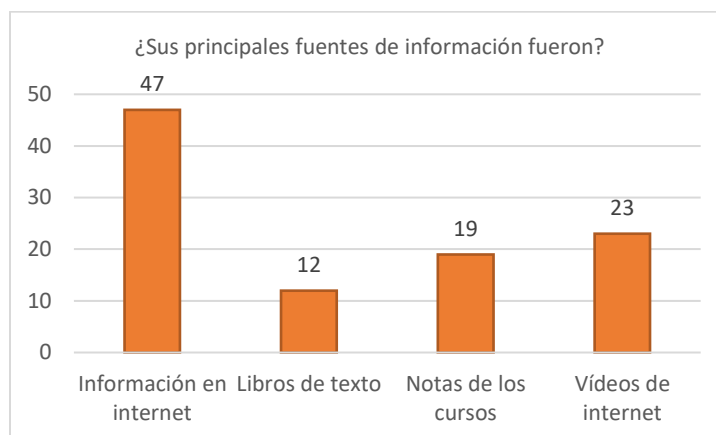


Figura 9. Respuesta a las fuentes de información usadas.

Por último se les preguntó el grado de satisfacción con el trabajo en equipo con la pregunta “¿Considera que el trabajo en equipo fue satisfactorio?”; observamos que 5 estudiantes respondieron que “No”, 74 respondieron “Sí, en gran medida”, 22 respondieron “Sí en poca medida”; lo que nos permite resumir que al 73.3% de los estudiantes el trabajo en equipo les fue satisfactorio.

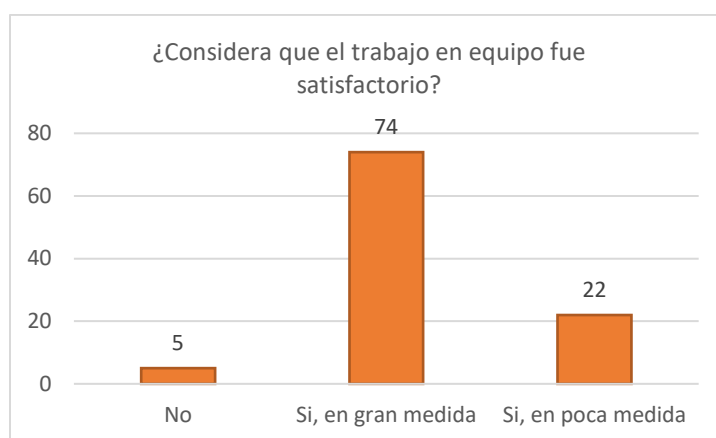


Figura 10. Respuesta al grado de satisfacción en el trabajo en equipo.

De los resultados analizados se identifica que la estrategia ABP es aceptada en buena medida por los estudiantes, les permitió indagar y resolver el reto en equipos. Así mismo, el trabajo en equipo permitió la comunicación efectiva entre ellos.

Trabajo a futuro

Dada la importancia en el contexto educativo de este proyecto de investigación y de los resultados obtenidos se puede enfatizar el desarrollo de habilidades blandas. Este enfoque aborda un aspecto crucial en la formación de ingenieros como la colaboración, resolución de conflictos, liderazgo, la capacidad de explicar conceptos complejos, generación de la creatividad en la solución a problemas. La implementación del concurso, permitiría involucrar otras materias transversales al área de física para así permitir a los estudiantes observar donde se aplican en su ámbito profesional temas teóricos.

Conclusiones

De acuerdo con la Real Academia de la Lengua Española, la ingeniería es el “conjunto de conocimientos orientados a la invención y utilización de técnicas para el aprovechamiento de los recursos naturales o para la actividad industrial” [5]. Los estudiantes de ingeniería requieren de conocimientos sustentados en ciencias exactas, de ahí la importancia que se trabajó con estrategias tanto de enseñanza como de aprendizaje que permitan su aprendizaje significativo.

El aprendizaje significativo es la adquisición de conocimientos con significado, con comprensión. Es saber decir y saber hacer; es ser capaz de explicar, de describir, de aplicar conocimientos, incluso a situaciones nuevas, pero siempre con significado [6].

Existe una gama amplia de estrategias de aprendizaje a utilizar en los procesos cognitivos, para la selección de las mismas se debe tomar en cuenta todos los factores implicados en dichos procesos. Para el área de la Física cuyo contenido temático tiende a ser muy teórico, el uso de estrategias activas y centradas en los estudiantes que permita su participación activa dentro del proceso de adquisición de sus conocimientos.

Barrera et al. comentan que el ABP “permite la participación de los estudiantes en su aprendizaje al diseñar, planificar, controlar y evaluar sus capacidades en un contexto real” [7]. Debido a lo anterior, el ABP es una estrategia de aprendizaje adecuada que se puede aplicar para la enseñanza en el área de ingeniería.

El concurso de bazucas como un proyecto tangible, permitió a los estudiantes indagar y conocer los conceptos físicos (tiro parabólico, Leyes de Newton, Ley de Hooke) involucrados en el desarrollo del funcionamiento de su mecanismo, que los llevó a entender la importancia de la física en un contexto real. Además, permitió el desarrollo de habilidades blandas, en específico, la comunicación.

Referencias

- [1] A. A. d. C. Campos Gómez, M. A. Hernández Hernández y P. F. Aniceto Vargas, «Análisis documental del concepto estrategias de aprendizaje aplicado en el contexto universitario,» *Psicumex*, vol. 11, n° 1, pp. 1-28, 2022.
- [2] G. Cobo Gonzales y S. M. Valdivia Cañotte, *Aprendizaje basado en proyectos*, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017.
- [3] E. Córdoba Zúñiga, J. J. Mena Barco y E. Mayorga, «Aprendizaje Basado en Proyectos,» de *Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP): Camino hacia el desarrollo de la creatividad y la innovación pedagógica en maestros en formación*, Colombia, SedUnac, 2023, p. 35.
- [4] S. García Martínez, R. Estrada Tejedory A. Macarulla Arenaza, *Aprendizaje basado en proyectos*, Madrid: Universidad Pontificia Comillas, 2022.

- [5] REA, «Real Academia de la Lengua Española,» [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/ingenier%C3%ADa>. [Último acceso: 9 8 2024].
- [6] M. A. Moreira, «Predisposición para un aprendizaje significativo de la física: intencionalidad, motivación, interés, autoeficacia, autorregulación y aprendizaje personalizado,» *Revista de enseñanza de la física*, vol. 33, n° 1, pp. 101-110, 2021.
- [7] F. Barrera Arcaya, J. I. Venegas Muggli y L. Ibacache Plaza, «El efecto del Aprendizaje Basado en Proyectos en el rendimiento académico de los estudiantes,» *Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, vol. 21, n° 46, pp. 277-291, 2021.
<https://dx.doi.org/10.21703/0718-5162.v21.n46.2022.015>

EVALUACIÓN DE RIESGOS ERGONÓMICOS DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO MEDIANTE EL MÉTODO RULA

Rodríguez-Bustos, Norma ^{1*}, Ríos-Barreto, Adrian²

¹Tecnológico Nacional de México / ITS de Irapuato, norma.rb@irapuato.tecnm.mx, ²Tecnológico Nacional de México / ITS de Irapuato, adrian.rb@irapuato.tecnm.mx

Área de participación: **Ingeniería Industrial**

Resumen

En las áreas operativas, los riesgos ergonómicos son difíciles de eliminar debido a la naturaleza inherente de las actividades, pero pueden reducirse con medidas adecuadas. El método RULA (Rapid Upper Limb Assessment) se utiliza para analizar posturas y detectar posibles lesiones musculoesqueléticas, tomando en cuenta factores de riesgo como movimientos repetitivos, trabajos musculares estáticos, fuerzas aplicadas y posturas inadecuadas. El objetivo de este estudio es evaluar los riesgos ergonómicos en una cabina diseñada específicamente para mejorar el bienestar del trabajador. La investigación busca obtener una puntuación mediante el método RULA, la cual permite establecer un nivel de intervención que indique si la postura es aceptable o requiere ajustes. La metodología incluye la selección de posturas a evaluar, la observación de los ciclos de trabajo, y la recolección de datos pertinentes. Los resultados indican que el colaborador evaluado presenta un nivel de riesgo medio, lo que sugiere la necesidad de realizar mejoras ergonómicas para reducir dicho riesgo.

Palabras clave: *Riesgos ergonómicos, método RULA, estación de trabajo.*

Abstract

In operational areas there are ergonomic risks that are difficult to eliminate due to the nature of the activities, but we can reduce them. The RULA method (Rapid Upper Limb Assessment) is a method that analyzes postures and detects possible musculoskeletal injuries considering risk factors such as: repetitive movements, static muscle work, forces and postures. The objective of this research is evaluating the risks of a cabin specially designed to improve the ergonomics of the worker, the purpose is to obtain a score using the RULA method from which a level of action is established that indicates whether the posture is acceptable or if it is necessary to change it. The steps to consider within the methodology in this work are: select the positions to evaluate, determine and observe the cycles, take the data. Once the task was evaluated, the results showed that collaborating presents a medium level of risk.

Key words: *Ergonomic risks, RULA method, workstation.*

Introducción

La ergonomía es un aspecto clave en el diseño de estaciones de trabajo, cuyo objetivo principal es garantizar la salud y seguridad de los colaboradores, además de reducir los riesgos derivados de malas posturas. La adopción prolongada de posturas incorrectas durante las tareas laborales provoca, a largo plazo, sobreesfuerzos que constituyen una de las principales causas de trastornos musculoesqueléticos (TME), afectando no solo la salud de los trabajadores, sino también la

Métodos

Para realizar correctamente la evaluación de riesgos del prototipo de la estación de trabajo por medio del método RULA es necesario realizar una serie de pasos previamente establecidos por esta metodología, los cuales se encuentran en la Figura 2, la cual muestra la secuencia de actividades que se deben realizar considerando las posturas que adopta el colaborador y los ciclos de trabajo previamente ya establecidos y finaliza rediseñando el puesto de trabajo si fuera el caso. [2].

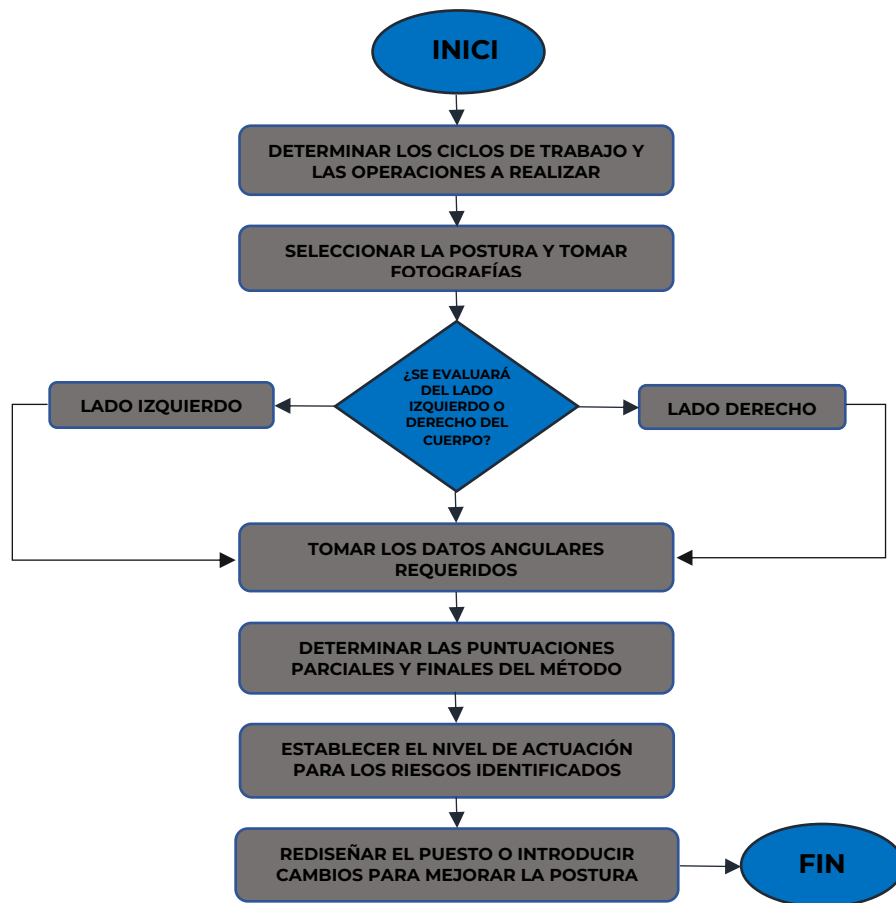


Figura 2. Diagrama de flujo del método RULA. Adaptado de [2]

Desarrollo

Tomando en consideración las actividades de la Figura 2. En el primer paso se determinan los ciclos de trabajo de la operación de ensamblaje de una llave de agua considerando el inicio cuando alcanza los materiales y el fin del ciclo cuando termina de ensamblar la llave y la deja sobre la mesa de trabajo.

En el segundo paso se seleccionan las posturas para la evaluación: postura del brazo, antebrazo, muñecas, cuello, tronco y piernas dividiendo el cuerpo en Grupo A y Grupo B tal como se muestra en la Tabla 1 y Figura 3. En el tercer paso se determinó que el lado a evaluar es el izquierdo.

Tabla 1. Grupos que evalúa el método RULA

GRUPO A	GRUPO B
Brazo	Cuello
Antebrazo	Tronco
Muñeca	Piernas
Giro de muñeca	



Figura 3. Grupos de miembros en RULA. Tomado de [2]

En el paso número 4 es crucial asegurarse de que los ángulos a medir aparezcan en su verdadera magnitud en las imágenes, es decir, que el plano en el cual se encuentra el ángulo esté paralelo al plano de la cámara. Para llevar a cabo estas mediciones, se utiliza la herramienta RULER del portal web Ergonautas, se miden los ángulos ingresando las fotografías del colaborador realizando la actividad en la cabina de trabajo del perfil izquierdo como se muestra en la Figura 4. [3]



(a)

(b)

Figura 4. Datos angulares del lado izquierdo del cuerpo (a) y datos angulares del lado derecho (b)

El siguiente paso es realizar la evaluación de riesgos para **determinar las puntuaciones del subgrupo A** y B respectivamente y se emplean las tablas correspondientes al miembro respectivo; estas tablas ya están establecidas por este método y sirven para obtener las puntuaciones finales y parciales. Para determinar la puntuación del subgrupo A: en la Tabla 2, Figura 5 se sitúa la postura del brazo que se encuentra de 20 a 45 grados (puntuación 2), luego la del antebrazo que está flexionado por debajo de 60 grados (puntuación 2), a continuación, la de la muñeca está entre 0 y 15 grados de flexión o extensión (puntuación 2), y por último la del giro de muñeca (2).

Tabla 2. Tabla para determinar la puntuación del subgrupo A
Adaptado de [5]

		PUNTUACIÓN DE LA MUÑECA							
		1		2		3		4	
BRAZO	ANTEBRAZO	GIRO		GIRO		GIRO		GIRO	
1	1	1	2	1	2	1	2	1	2
	2	1	2	2	2	2	3	3	3
	3	2	2	2	2	3	3	3	3
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Para determinar la puntuación del subgrupo B: en la Tabla 3, se sitúa la puntuación de los miembros que lo componen (tronco, cuello y piernas). El tronco está flexionado entre 0 y 20 grados (puntuación 2), El cuello está flexionado por encima de 20 grados (puntuación 3), el trabajador está sentado con las piernas y pies bien apoyados (puntuación 1).

Tabla 3. Tabla para determinar la puntuación del subgrupo B
Adaptado de [5]

		PUNTUACIÓN DE LA POSTURA DEL TRONCO											
		1		2		3		4		5		6	
PUNTUACIÓN DE LA POSTURA DEL CUELLO	PIERNAS	PIERNAS		PIERNAS		PIERNAS		PIERNAS		PIERNAS		PIERNAS	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7	
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7	
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7	
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8	
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	

Para obtener la puntuación final se utiliza la siguiente Tabla F que se muestra en la tabla 4, en la cual se identifica el nivel de riesgo presente en el prototipo de la estación de trabajo diseñada.

Tabla 4. Tabla F para determinar la puntuación final del método RULA
Adaptado de [1]

PUNTUACIÓN D (cuello, tronco, pierna)

	1	2	3	4	5	6	7+	
PUNTUACIÓN C (miembro superior)	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8	5	5	6	7	7	7	7

como se muestra en la Tabla 4, resulta imprescindible determinar si realmente se presentan riesgos asociados a la carga postural dentro de la estación de trabajo y así establecer el nivel de actuación. El nivel de actuación indica en qué medida es necesario realizar cambios o rediseños a la estación de trabajo y también si las posturas adoptadas por el colaborador son aceptables.

Resultados y discusión

Primeros resultados

Posterior a la construcción del prototipo de la cabina, se determina la puntuación del subgrupo A y B de la actividad de ensamble, como se muestra en la Figura 5 en la que se observa el resumen para determinar el nivel de riesgo considerando que la puntuación final del grupo A fue de 3 y del subgrupo B fue de 4, por tanto, el resultado final considerando la Tabla F fue de 4.

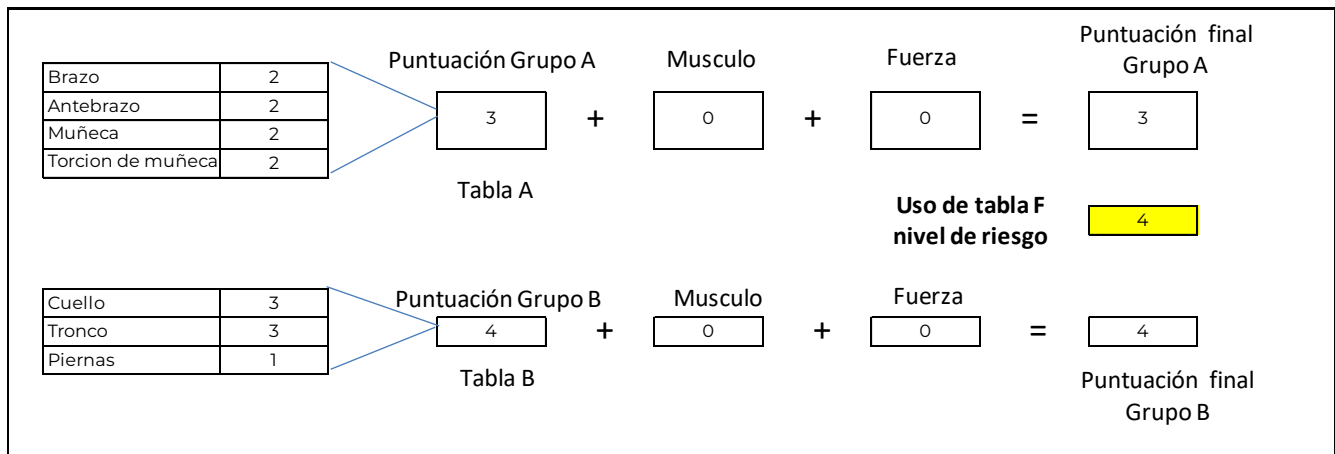


Figura 5. Tabla para determinar la puntuación del subgrupo A y B para determinar el nivel de riesgo Adaptado de [6]

Últimos resultados

La puntuación final de la evaluación de la actividad de ensamble evaluando el lado izquierdo del trabajador se encuentra en la Figura 6, la cual indica que la puntuación final fue de 4.

Puntuaciones finales, riesgo y nivel de actuación (lado izquierdo)

A partir de las puntuaciones C y D se obtiene la Puntuación Final Rula.

Puntuación Final: 4

Nivel de actuación: 2

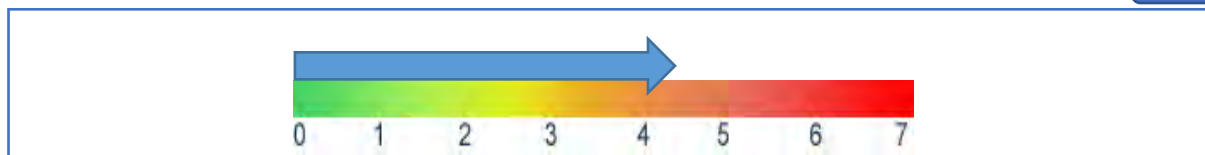


Figura 6. Puntuación final de la evaluación del ensamble. Adaptado de [6]

Obtenida la puntuación final se analiza el nivel de actuación (que se refiere a las acciones que se requieren realizar para disminuir el nivel de riesgo), en base a la tabla 5 el nivel de actuación obtenido de la evaluación final con el método RULA es nivel medio, ya que la puntuación final fue de 4. El nivel de actuación requerido es profundizar el estudio y pueden requerirse cambios en la estación de trabajo.

Tabla 5. Nivel de actuación en base a la puntuación final del método RULA
Adaptado de [1]

Puntuación	Nivel	Actuación
1 o 2	1	Riesgo aceptable
3 o 4	2	Pueden requerirse cambios en la tarea; es conveniente profundizar el estudio
5 o 6	3	Se requiere el rediseño del área
7	4	Se requieren cambios urgentes en la tarea

Trabajo a futuro

Con base en los resultados obtenidos donde se identificó un nivel de actuación 2, se trabajará en acciones correctivas para que a la mesa de la estación de trabajo se le incorpore un motor para que la altura pueda ajustarse a las necesidades del trabajador y disminuir la flexión del cuello. También se realizará una capacitación a los usuarios de la estación para el correcto uso de las instalaciones y evitar el riesgo de sufrir TME.

Conclusiones

Una vez analizados los resultados obtenidos, se estableció que el nivel de actuación requerido en la estación de trabajo es de nivel medio (2), por lo tanto se requiere tomar acciones preventivas y realizar la modificación de la estación de trabajo para que pueda ser ajustable a la altura del trabajador, esto implica hacer una investigación a fondo y detallada del proceso y de las actividades que realiza el colaborador con la finalidad de corregir las posturas que adopta a lo largo de la actividad y así salvaguardar su salud y protegerlo de enfermedades profesionales relacionadas con la excesiva carga postural. El diseñar una cabina ergonómica desde cero permite realizar adaptaciones para lograr mejorar las condiciones de trabajo y disminuir los riesgos a los que está expuesto el colaborador.

Es de suma importancia tomar en cuenta los estudios obtenidos a partir del método RULA ya que es recomendado debido a su capacidad de puntuar los niveles de riesgo de TME en operaciones repetitivas. Finalmente es importante destacar que el diseño adecuado de estaciones de trabajo contribuye de manera significativa a la disminución de trastornos musculoesqueléticos en los trabajadores, este primer prototipo demostró que la fase inicial ha sido correcta para comenzar a mejorar la calidad de vida del colaborador.

Referencias

- [1] Ergonautas, «Ergonautas. Método RULA,» [En línea]. Available: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php/?ini=Normaelizab&tmp=0&ed=NO>. [Último acceso: 13 08 2024].
- [2] J. A. Diego-Mas, « Evaluación postural mediante el método RULA. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php>. [Último acceso: 2024 08 15].
- [3] Organización Internacional del Trabajo, «Ergonomics and human factors,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.ilo.org/global/topics/ergonomic-and-human-factors/lang--en/index.htm>. [Último acceso: 2024 08 15].
- [4] E. B. Payan, V. Juárez Rivera, R. Rojas Durán, R. Velásquez Calderón y I. S. B. Gerardo Leyva Martínez, «Aplicación de la técnica RULA en el área de empaquetado mediante tecnología Kinect,» *IDE Revista Iberoamericana Para La Investigación Y El Desarrollo Educativo,* n° 5(10), pp. 433 - 456, 2015. [Último acceso: 2024 08 15].
- [5] C. G. Roberto, G. M. Alejandro y T. M. J. Patricio, «APLICACIÓN DEL MÉTODO RULA PARA EVALUAR LAS CONDICIONES,» *Revista de Ingeniería y Tecnologías para el Desarrollo Sustentable* 9. ISSN: 2448 - 7198, n° 9, pp. 27-30, 2021. [Último acceso: 12 08 2024].
- [6] Instituto Nacional de seguridad y salud en el trabajo, «Factores de riesgo para los TME,» 2019. [En línea]. Available: www.insst.es/-/factores-de-riesgo-para-los-t-1. [Último acceso: 12 08 2024].

MARKETING DIGITAL Y POSICIONAMIENTO DE MARCA EN UNA EMPRESA DE SERVICIOS EN COATZACOALCOS, VERACRUZ

Antonio-Pacheco, Belizario ^{1*}, Ordaz-Hernández, Mónica Berenice², Sainz-Barajas, Ma. Teresa de la Luz³, Chiñas-Valencia, Juan José⁴, Bautista-Antonio, Yeni Feranda⁵
Universidad Veracruzana, Facultad de Contaduría y Administración, antpacheco@uv.mx^{1*},
mordaz@uv.mx², tsainz@uv.mx³, jchinas@uv.mx⁴, zs20018357@estudiantes.uv.mx⁵

Área de participación: **Ingeniería Administrativa**

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo establecer la relación entre el marketing digital y el posicionamiento de la marca en una empresa de servicios dedicada al transporte de pasajeros en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz durante el primer cuatrimestre del año 2024. Se delimitó a un enfoque cuantitativo, de tipo correlacional y de corte transversal. Se encuestó a un total de 384 utilizando el método de muestro probabilístico con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%. Para la recopilación de la información, se utilizaron dos cuestionarios validados y confiables, uno de marketing digital con cuatro dimensiones: flujo, funcionalidad, feedback y fidelización; y otro de posicionamiento con tres dimensiones: lealtad, la calidad y el valor percibido y la imagen de la marca. Los resultados arrojaron una relación positiva muy alta entre ambas variables, encontrando también que, a mayor edad, mejor percepción del marketing digital y posicionamiento de marca. Se concluye que entre mayor estrategia de marketing digital mayor posicionamiento de la empresa.

Palabras clave: *marketing digital, posicionamiento, clientes.*

Abstract

The objective of this research was to establish the relationship between digital marketing and brand positioning in a service company dedicated to passenger transportation in the city of Coatzacoalcos, Veracruz during the first quarter of 2024. It was delimited to a Quantitative, correlational and cross-sectional approach. A total of 384 were surveyed using the probability sampling method with a confidence level of 95% and a margin of error of 5%. To collect the information, two validated and reliable questionnaires were used, one on digital marketing with four dimensions: flow, functionality, feedback and loyalty; and another positioning with three dimensions: loyalty, quality and perceived value and brand image. The results showed a very high positive relationship between both variables, also finding that, the older the age, the better the perception of digital marketing and brand positioning. It is concluded that the greater the digital marketing strategy, the greater the company's positioning.

Key words: *digital marketing, positioning, customers.*

Introducción

En un mercado de competencia global, el posicionamiento empresarial es un factor decisivo para el éxito y supervivencia de las organizaciones, implementar un plan de marketing estratégico y operativo de manera adecuada logrará cautivar la atención de los consumidores. En esta alineación, el marketing digital juega un papel fundamental para posicionar un producto y/o servicio en la mente de los compradores.

Los orígenes del marketing como una disciplina en el mundo empresarial, emana después de la tercera revolución industrial a principios de la década de 1950 con el desarrollo de la microelectrónica, lo que en el ámbito de los negocios se le conoce como marketing 1.0, caracterizado por el auge de la industria, la producción masiva y la

comunicación unidireccional, sin identificar las necesidades y percepciones de los consumidores. Para la década de 1960, el marketing se centra en el consumidor, surgen los conceptos de fidelización, retención del cliente, segmentación, focalización y posicionamiento, se crean los centros de atención al cliente y la web 2.0, todo este desarrollo se le conoce como el Marketing 2.0 [1].

Con la introducción del Internet en la economía y en la sociedad, en los años 2000 emerge la era del Marketing 3.0 caracterizado por la exigencia de las nuevas generaciones en el desarrollo de nuevos productos y/o servicios con un impacto social y ambiental. El cliente se cataloga como un individuo con inteligencia, corazón y espíritu, donde sus necesidades y deseos deben ser atendidos. La era del marketing digital comienza alrededor del 2010, con el Marketing 4.0 donde las compañías buscan generar confianza y fidelidad con los consumidores basadas en las estrategias del marketing tradicional y el marketing digital, dando como resultado el incremento de las plataformas digitales y redes sociales. En esta década surge la big data que permite la recopilación de gustos y deseos de los consumidores a partir del almacenamiento de la interacción con las plataformas digitales. Con la llegada del comercio electrónico, las empresas han tenido que adaptarse para tener presencia omnicanal [1].

El Marketing 5.0 tiene su apogeo en el 2020, centrándose en la experiencia del consumidor, distinguiéndose por el marketing de datos, uso de métodos predictivos para estimaciones y proyecciones de la interacción empresa-consumidor, el análisis del entorno físico de los consumidores a través de las interfaces disponibles de los gadgets, uso de *chatbots*, asistentes virtuales y el desarrollo de profesionales dinámicos, flexibles y competentes con las aptitudes para hacer frente al ambiente interno y externo de las organizaciones [1].

El marketing digital se trata de un conjunto de estrategias centradas hacia la promoción de una marca a través de los medios innovadores, canales publicitarios tecnológicos y digitales como Internet, el móvil o el Internet de las cosas (bT). [2]. Entre las estrategias que abarca se encuentran [3]:

- **Posicionamiento en buscadores o Search Engine Optimization (SEO):** adecua un sitio de Internet para que los motores de búsqueda como Google, Safari, Bing, Yahoo!, entre otros, la posicionen entre los primeros lugares que se presentan a los usuarios, incrementando su presencia en la red sin pagar por ello.
- **Marketing de contenidos:** busca atraer a los clientes e incrementar la red de leads. Se genera un lead cada vez que un usuario proporciona sus datos.
- **Marketing en buscadores o Search Engine Marketing (SEM):** implica la utilización de las herramientas que proporcionan las plataformas de búsqueda con el objetivo de posicionar un sitio web entre los primeros lugares, por ello, las páginas de las empresas aparecen entre los primeros puestos desde el primer día.
- **Email marketing:** se basa primordialmente en el envío de mensajes por correo electrónico para atraer a nuevos clientes, crear lealtad, interactuar y generar confianza en una marca para incrementar las ventas.
- **Marketing en redes sociales o Social Media Marketing (SMM):** consiste en el uso de las redes sociales como el Facebook, WhatsApp, Instagram, LinkedIn, YouTube, Twitter o TikTok para crear oportunidades de negocio, construir la imagen de una marca, atraer nuevos clientes e incrementar la fidelidad de los que ya se tienen.
- **Video marketing:** se enfoca en el uso de material audiovisual en Internet para promover una marca, producto o servicio, mismo que puede mejorar la imagen de la empresa e incrementar sus ventas.
- **Inbound marketing:** combina diversas estrategias de marketing digital como el SEO, SEM, email marketing, de contenidos y de redes sociales para atraer clientes.

Entre los beneficios que obtienen las empresas al implementarlas es que les resulta más económica con relación a otras estrategias tradicionales, además, de lograr un mayor reconocimiento de la marca, aumentar su participación en el mercado y lograr la fidelización de los clientes [4]. Para lograr esta conexión, es necesario aplicar el modelo de las 4F del marketing digital propuesto por Paul Fleming en el año 2000, mismo que se describe a continuación [5]:

- **Flujo:** hace referencia al estado mental en el que se encuentra el usuario al sumergirse en la web, es decir, su experiencia al navegar en la plataforma de una marca. Para captar la atención del usuario, es

necesario que la publicidad sea atractiva, porque se dice que, si existe una buena interacción, existe un buen estado de flujo.

- **Funcionalidad:** el sitio web de las marcas no solo deben ser visiblemente atractivas, si no, que deben cumplir con el propósito de dar información objetiva y necesaria a los usuarios.
- **Feedback:** se basa en mantener una relación activa con los clientes, para identificar sus emociones, gustos y preferencias, también implica la apertura para recibir quejas, comentarios o reclamos, que, son necesarias para que las empresas mejoren los productos y/o servicios.
- **Fidelización:** busca que el cliente visite de nueva cuenta el sitio web, aplicando estrategias promocionales como los descuentos, ofertas u otros para reconocer la preferencia de los clientes constantes. La personalización y diferenciación son estrategias que harán que se sientan especiales e importantes y así obtener la lealtad.

El marketing digital tiende a actuar como pieza clave para mejorar el posicionamiento de la marca aumentando la posibilidad de construir relaciones más estrechas con los clientes. Esto permite a las empresas diferenciarse de la competencia al impactar significativamente en la decisión de compra del consumidor. Aquellas empresas que no logran aprovechar las estrategias del marketing digital en esta era de desarrollo tecnológico es más probable que se estanquen y dejen de cumplir con las expectativas del cliente, perder capacidad de crecimiento, menos fidelización, obsolescencia en la productividad, incremento de los precios, además, de no existir en el mercado digital [6]. En un estudio desarrollado por McKinsey, se encontró que la personalización es imprescindible para tener éxito en el entorno moderno, las empresas que lo hacen generan un 40% más de ingresos que las empresas que tienen un nivel medio. También se demostró que el 71% de los clientes espera que las empresas ofrezcan interacciones personalizadas y de ellos, el 76% se frustra cuando esto no sucede [7].

El posicionamiento consiste en diseñar la oferta comercial de tal forma que ocupe un lugar claro, distintivo y deseable en relación con los productos competidores en las mentes de los consumidores [8]. En otras palabras, es el lugar que ocupa una marca en la mente del consumidor al pensar en un producto y/o servicio, por ejemplo, si al pensar en teléfonos celulares, lo primero que se le viene a la mente un consumidor es la marca Apple, significa que su posicionamiento es excelente [9]

El posicionamiento de marca no solo mejora la imagen y reputación de las empresas, sino que permite incrementar sus ventas, ganar credibilidad inmediata y por supuesto, influir en la decisión de compra de los consumidores. Si una compañía busca generar un impacto positivo y duradero, la mejor vía es a través de los valores, aquello que los consumidores no pueden palpar, pero que pueden percibir en los servicios, la calidad y puesta en marcha de cualquier proyecto. Por lo tanto, el posicionamiento de marca permite a las empresas la oportunidad de crecer, fidelizar a los clientes y lograr un puesto privilegiado en la mente de los consumidores, con el objetivo de que cada vez que deseen comprar un producto y/o servicio, solo piensen en una marca [10].

A pesar de que no existe un modelo definitivo para valorar el posicionamiento basado en el valor de la marca, las variables más comunes están relacionadas con la lealtad, la calidad y el valor percibido y la imagen de la marca. La lealtad es la disposición que tiene el cliente para seguir consumiendo productos y/o servicios de la misma marca. La calidad tiene que ver con la satisfacción generada en el consumidor de acuerdo con su juicio, y que pueda considerar como excelencia o superioridad. Por su parte, la imagen de la marca tiene que ver con el significado que toma para el consumidor la marca, involucra percepciones, asociaciones y vínculos de recuerdos [11].

En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo, establecer la relación entre el marketing digital y el posicionamiento de la marca en una empresa de servicios dedicada al transporte de pasajeros en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz, durante el primer cuatrimestre del año 2024. Por ello, se plantea la siguiente hipótesis de investigación (Hi): Existe una relación positiva entre el marketing digital y el posicionamiento de la marca en una empresa de servicios dedicada al transporte de pasajeros en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz, durante el primer cuatrimestre del año 2024.

Según el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), en el primer trimestre de 2024, las empresas de transportes, correos y almacenamiento registraron un producto interno bruto de \$2.41B MX,

evidenciando un alza de 1.75% con respecto al trimestre anterior y un alza de 10.4% respecto al mismo periodo del año anterior [11]. En este sentido, las empresas de transporte son fundamentales no únicamente para la movilidad de las personas, sino también de bienes materiales, debido a que siempre ha existido la necesidad de trasladarse de un punto a otro.

Como antecedente de investigación, a nivel internacional se encuentra el denominado “Marketing digital para el posicionamiento de la marca de la empresa ST Express S.A.C. Chiclayo, 2021”, mismo que buscó analizar el posicionamiento de la marca St Express S.A.C., con respecto al marketing digital que esta emplea con sus clientes. Tuvo un enfoque cuantitativo no experimental y de tipo descriptivo. La población estuvo constituida por 613 clientes recurrentes de la empresa St Express S.A.C., teniendo una muestra de 65 personas. Para la recopilación de información, se utilizaron dos cuestionarios, uno de marketing digital con cuatro dimensiones: flujo, feedback, funcionalidad y fidelización, y el segundo cuestionario de posicionamiento con tres dimensiones: atributos, imagen y competencia. Con el análisis de los datos, se determinó que el nivel de marketing digital de la empresa no se encuentra muy presente en los clientes, debido que el 40% opina que el marketing digital es regular, el 30,77% indica que es deficiente y solamente el 29,23% indica que es bueno. Respecto a la variable posicionamiento de la marca, el 38,45% indica que el posicionamiento de la marca es regular, el 33,85% indica que es deficiente y solo el 27,69% indica que es bueno. Respecto a la variable de marketing digital, se recomendó la creación de una página web, elaboración de una base de datos para ofrecer promociones personalizadas y uso de herramientas digitales como las redes sociales, las cuales contribuirán con la captación de nuevos clientes [12]. El estudio denominado “Marketing digital y posicionamiento de mercado de la empresa de transporte provincial de Turismo Sallique S.R.L., Jaén 2021”, tuvo como objetivo analizar la relación entre marketing digital y posicionamiento de mercado de la empresa de transporte provincial Turismo Sallique S.R.L., Jaén 2021. Se trató de un estudio de tipo aplicado, nivel correlacional y diseño no experimental. La técnica de recopilación de información fueron dos cuestionarios, uno de marketing digital con tres dimensiones: redes sociales, tienda virtual y página web, la segunda tiene que ver con la variable de posicionamiento con tres dimensiones: competencia, fidelidad del cliente e imagen corporativa. La muestra en la investigación fue una muestra censal, debido a que se encuestó a la población total constituida por 50 clientes. En la investigación se ha determinado que existe una relación positiva considerable entre el marketing digital y posicionamiento de la empresa de Transportes Turismo Sallique S.R.L., se concluye que existe correlación entre ambas variables, es decir, a medida que aumenta una conlleva a un incremento sostenido de la otra variable [13].

Metodología

El presente estudio tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y de corte transversal. Se tomó como población a los clientes de una empresa de transporte de pasajeros en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz, que viajaron durante el primer cuatrimestre del año 2024. Al desconocerse el total de pasajeros que utilizaron el servicio en el periodo mencionado, para la determinación de la muestra se hizo uso de la fórmula de poblaciones infinitas del método de muestreo probabilístico. Se sustituyeron los datos considerando un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, en donde el valor de $z=1.96$, $p=0.25$ y $q=0.25$. El resultado final arrojó una muestra de 384 sujetos encuestados. La recolección de información se realizó en un solo momento a través de la herramienta de “Google Forms” mismo que fue compartido a los sujetos de estudio. El análisis estadístico fue desarrollado en el programa IBM SPSS Statistics versión 29.0 y el diseño de las gráficas en el programa Excel. Para la recopilación de la información, se utilizaron dos cuestionarios, uno de marketing digital propuesto por Ortiz [5] con cuatro dimensiones correspondientes a las 4 F: flujo, funcionalidad, feedback y fidelización; el segundo de la variable posicionamiento propuesto por López et al. [5] con tres dimensiones: lealtad, la calidad y el valor percibido y la imagen de la marca. El nivel de confiabilidad original de 0.984 para el cuestionario de marketing digital de 0.986 para el cuestionario de posicionamiento, mismos que son excelentes [5]. El cuestionario aplicado fue adaptado quedando con un total de 35 ítems con opciones de respuesta tipo Likert: 1) Totalmente en desacuerdo (2) En desacuerdo (3) Neutral (4) De acuerdo (5) Totalmente de acuerdo, con cuatro secciones: la primera, hace referencia a los datos generales tales como género, edad, ocupación y la frecuencia de viaje (ítems 1-4); la segunda sección corresponde a preguntas relacionadas con las cuatro dimensiones de estudio de la

variable marketing digital (ítems 5-21); la tercera sección corresponde a las preguntas de la variable posicionamiento de marca (ítems 22-34) y la cuarta corresponde a comentarios o sugerencias (ítem 35). En la Tabla 1 se aprecia la distribución de los ítems y el alfa de Cronbach de cada variable.

Tabla 1. Distribución de los ítems de las variables marketing digital y posicionamiento de marca y Alfa de Cronbach

Variables	Dimensiones	Ítems	Alfa de Cronbach	Total de casos
Marketing digital	Flujo	5,6,7,8	0.965	384
	Funcionalidad	9,10,11,12,13		
	Feedback	14,15,16,17,18		
	Fidelización	19,20,21		
Posicionamiento de marca	Calidad y valor percibido	22,23,24,25,26,27,28	0.954	
	Imagen de la marca	29,30,31		
	Lealtad	32,33,34		

Resultados y discusión

Para la recopilación de información, el cuestionario fue capturado en el formulario de Google Forms, mismo que se compartió a los clientes de la empresa, posteriormente se descargó la base de datos en el programa Excel última versión para realizar el cálculo de medias y diseño de gráficas. Para obtener el nivel de confiabilidad y calcular la correlación entre ambas variables, se utilizó el programa SPSS 29.0.2.0 (20).

Los datos demográficos arrojaron la participación de un 54% del género masculino y el resto femenino. Respecto a la edad, el 61% osciló de 18 a 25 años, 24% de 26 a 33 años, 7% de 34 a 41 años y el 8% de 42 años en adelante. Con relación a la ocupación, el 43% fueron estudiantes, el 31% colaboraban para una empresa del sector privado, 15% para una institución pública, el 9% emprendedor y 2% desempleados. Respecto a la frecuencia de viaje, el 47% lo hace bimestralmente, el 22% mensualmente, 13% quincenalmente, 10% diariamente y solo el 8% semanalmente.

En la Figura 1 se aprecia una gráfica cruzada de la percepción de los clientes del marketing digital por edad, es interesante apreciar que conforme incrementa la edad, existe una apreciación positiva del marketing digital que implementa la compañía de transporte de pasajeros.

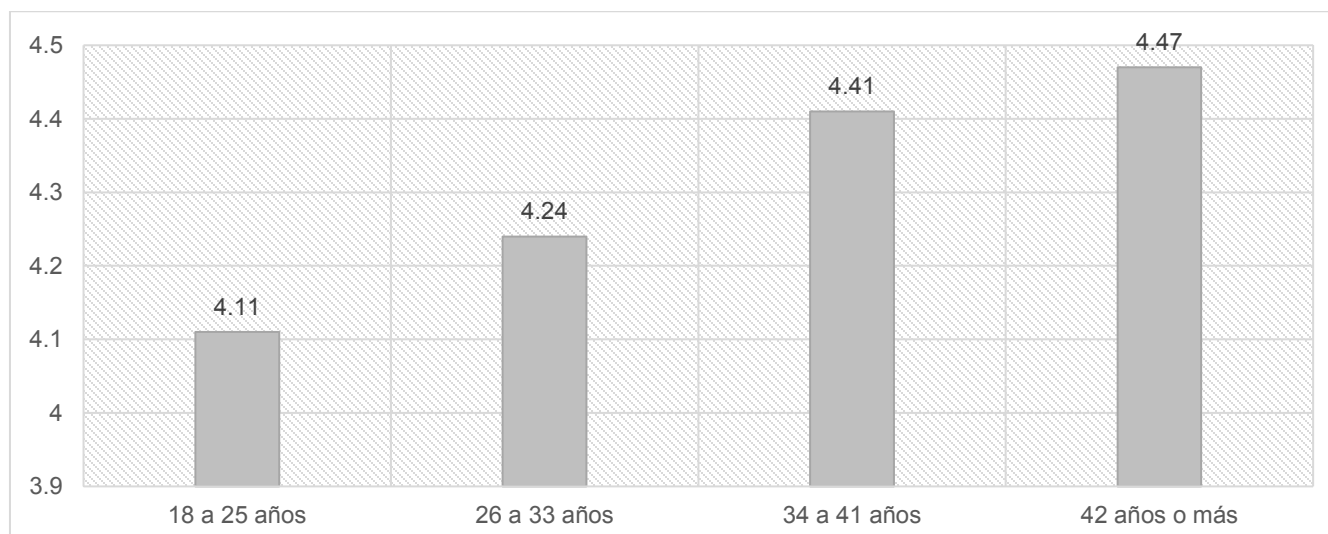


Figura 1. Gráfica cruzada de la percepción del marketing digital de la empresa por edad.

En la Figura 2 se visualiza la gráfica cruzada de la percepción del posicionamiento de marca por edad, donde de igual forma que la Figura 1, conforme incrementa la edad, existe una mejor apreciación del posicionamiento de marca de la empresa.

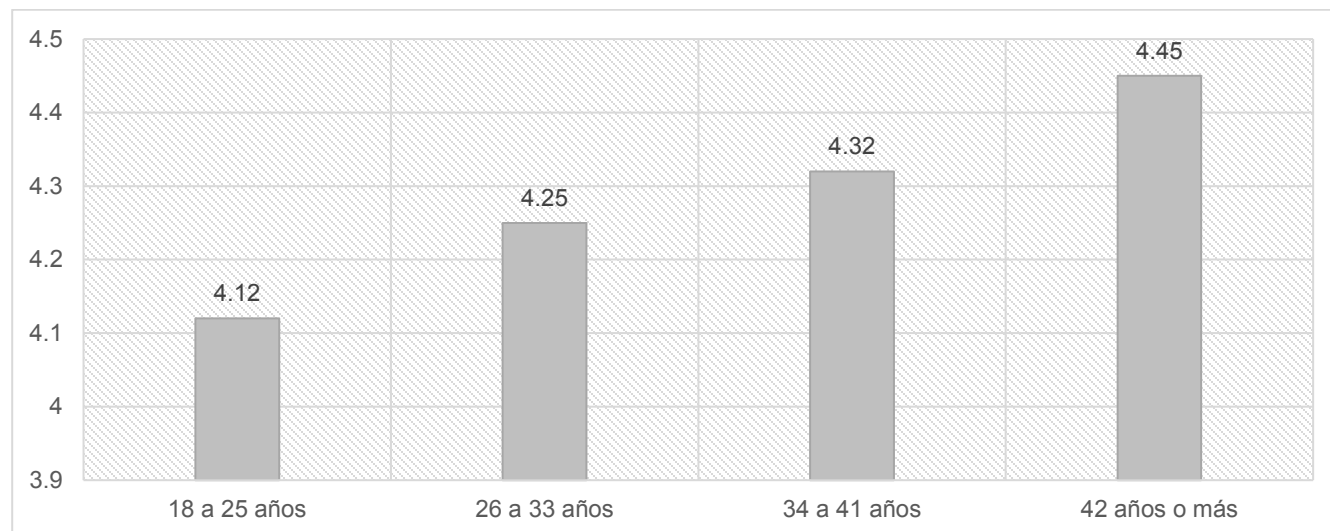


Figura 2. Gráfica cruzada de la percepción del posicionamiento de marca de la empresa por edad.

La percepción del marketing digital por dimensiones se aprecia en la Figura 3, donde la dimensión de flujo posee la media más alta con 4.24, seguido de la funcionalidad, fidelización y feedback respectivamente. Al resultar la dimensión de flujo con la media más alta, se comprende que el usuario tiene un estado mental positivo al navegar en la plataforma de esta marca, ya sea en su sitio web o en la aplicación móvil; del lado contrario, perciben en que existen áreas de oportunidad en las quejas, comentarios o reclamos que estos realizan en relación con el servicio que ofrece la empresa. Si bien es cierto, que la dimensión feedback resulta con la media más baja, también es indudable que, las cuatro dimensiones se encuentran por arriba de 4 de un intervalo del 1 al 5; sin embargo, es necesario prestar atención en las dimensiones que resultan bajas.

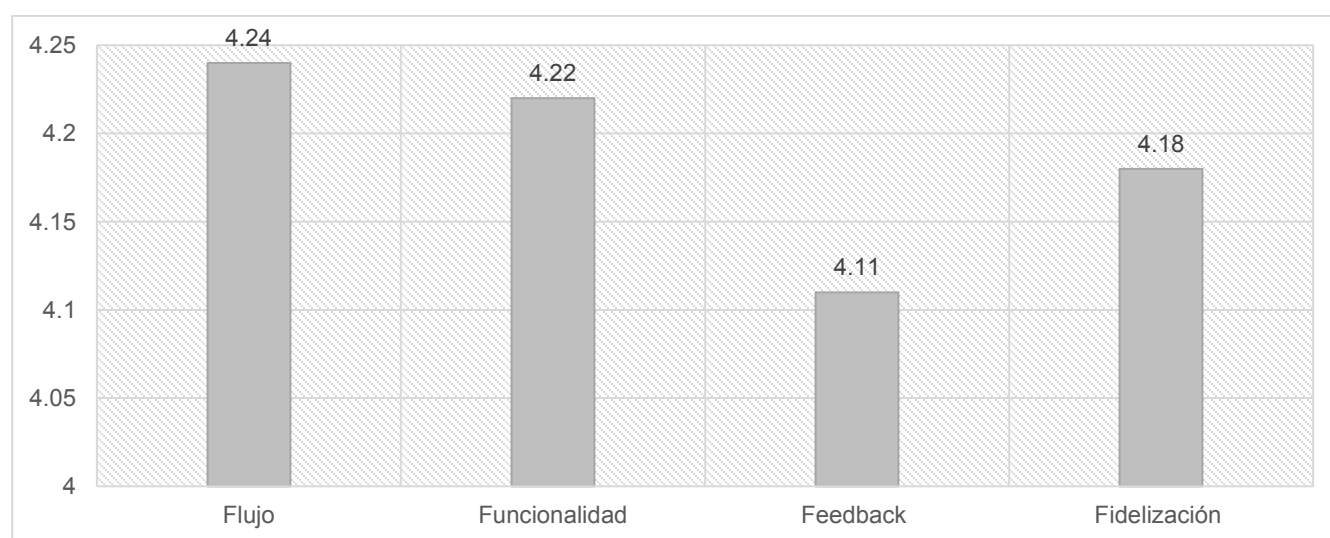


Figura 3. Percepción del marketing digital por dimensiones.

La percepción del posicionamiento de marca por dimensiones se aprecia en la Figura 4, donde sobresale con la media más alta la imagen de la marca, seguido de la lealtad, ocupando el último lugar la calidad y el valor percibido. Al sobresalir la dimensión de imagen de la marca, los usuarios se sienten vinculados con ella, debido a que lo asocian y relacionan con determinados recuerdos, además de que, se sienten conectados y que, si tuvieran la oportunidad de volver a viajar, viajarían con la línea de transporte de esta empresa lo que indica que ocupa un lugar positivo en su mente; por el contrario, perciben baja satisfacción en la calidad del servicio; se debe hacer hincapié que la calidad enfatiza en las instalaciones físicas de la terminal, autobuses cómodos, limpios, ordenados y apropiados para viajar, relación del precio con el servicio, por solo mencionar algunos.

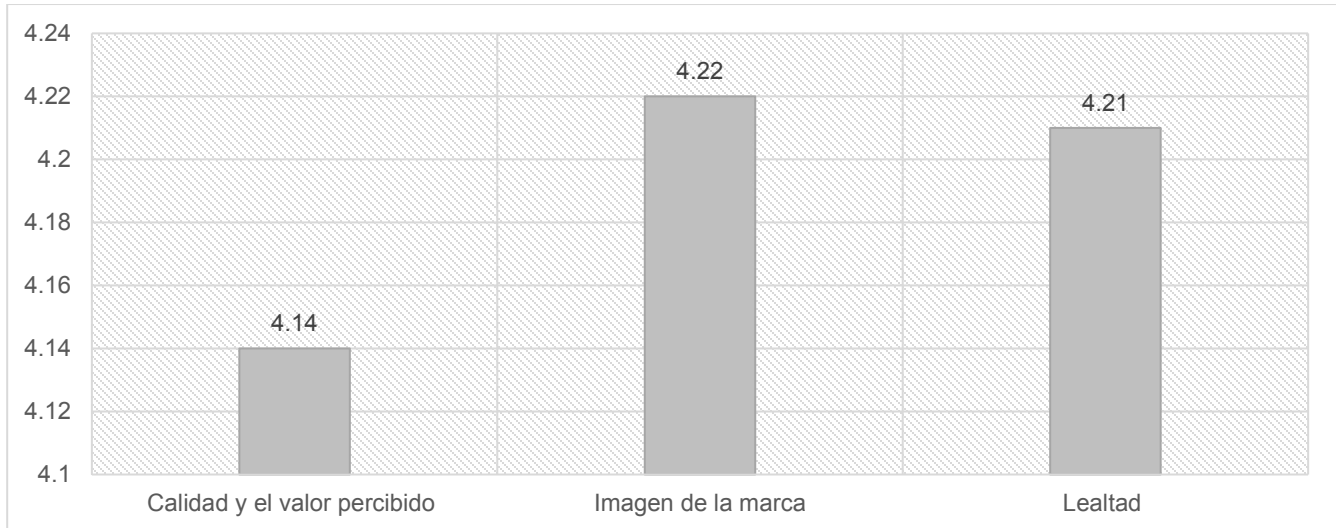


Figura 4. Percepción del posicionamiento de marca por dimensiones.

Para dar cumplimiento al objetivo que busca identificar la relación de la variable de marketing digital y posicionamiento de marca, es necesario identificar que coeficiente de correlación emplear, para ello, se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov o Shapiro-Wilk mismos que permitieron identificar si los datos proceden una distribución normal o no. Cuando los datos tienen una distribución normal se utiliza la prueba R de Pearson; por el contrario, se emplea Ro de Spearman. La prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov también es conocida como prueba K-S, es una prueba de significación estadística para verificar si los datos de la muestra proceden de una distribución normal. Se emplea para variables cuantitativas cuando el tamaño muestral es mayor de 50 [14]. En la Tabla 2 se aprecia el nivel de la prueba de normalidad, el valor de significancia estadística ha sido 0.001, es decir, menor de 0,05 lo que significa que ambas variables no siguen una distribución normal, por lo tanto, se hará uso de las muestras no paramétricas de Rho de Spearman.

Tabla 2. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov.

	Estadístico	gl	Sig.
Marketing digital	.224	384	<.001
Posicionamiento de marca	.232	384	<.001

En la Tabla 3 se muestran la relación de las variables de marketing digital y posicionamiento de marca, donde se observa un valor de .849 que se encuentra dentro de un intervalo de $1 \leq r < 0.80$ y este es considerada muy alta [15], lo cual se interpreta de la siguiente manera: el marketing digital que ha estado implementando la empresa si influye directa y significativamente en su posicionamiento de marca en el mercado, y con ello, se confirma y acepta la hipótesis de investigación que afirma que existe una relación positiva entre el marketing digital y el

posicionamiento de la marca en una empresa de servicios dedicada al transporte de pasajeros en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz, durante el primer cuatrimestre del año 2024.

Tabla 3. Correlación de Spearman de las variables de marketing digital y posicionamiento de marca.

		Marketing	Posicionamiento
Marketing digital	Correlación de Spearman	1000	.849**
	Sig. (bilateral)		<.001
	N	384	384
Posicionamiento de marca	Correlación de Spearman	.849**	100
	Sig. (bilateral)	<.001	
	N	384	384

Los resultados arrojados en esta investigación se asemejan a los obtenidos en la empresa de transporte provincial de Turismo Sallique S.R.L., Jaén, debido a que el análisis estadístico mostró la presencia de una relación positiva considerable entre el marketing digital y posicionamiento de la empresa, lo que indica que, a medida que aumenta una conlleva a un incremento sostenido de la otra variable [13]. Respecto al estudio realizado en ST Express S.A.C. Chiclayo [12], los resultados difieren con relación a la percepción del marketing digital y el posicionamiento de la marca debido a que, en el presente análisis las medias se encuentran superiores o iguales a 4.11 permitiendo identificar una posición favorable en la mente de los consumidores. En definitiva, estos resultados pueden variar en las empresas y esto se debe a que las estrategias que implementa cada organización son diversas, unas de menor y mayor intensidad, así como la antigüedad que estas tiene en el mercado, lo que da apertura a estudios futuros.

Trabajo a futuro

A partir de los resultados obtenidos, se proponen las siguientes recomendaciones y trabajos futuros:

- Respecto a la dimensión de feedback de la variable de marketing digital: ofrecer una red gratuita de wifi, misma que cuando los clientes ingresen a la conexión les solicite crear una cuenta y utilizar el correo electrónico que proporcionen para pedir retroalimentación poco tiempo después de la visita. Así como, designar a un profesional para monitorear con prontitud la actividad en redes sociales, los usuarios activos esperan respuestas rápidas.
- Respecto a la dimensión de fidelización de la variable de marketing digital: hacer uso de todos los canales del marketing para seguir promocionando ofertas y notificar a los usuarios de las recompensas a las que pueden acceder. Así como crear programas de fidelización para los clientes leales incentivando con la acumulación de puntos que podrán utilizar más adelante para viajar.
- Con relación a la dimensión de calidad y valor percibido de la variable de posicionamiento de marca, dar mantenimiento a las terminales de llegada y salida, así como de los autobuses, desde la comodidad de los asientos, limpieza y las buenas condiciones de los aires acondicionados.

Conclusiones

La evolución del marketing tradicional a la digital ha permitido una conexión más directa y eficaz con los consumidores, optimizando la percepción de la marca como de la experiencia del usuario. Una de las ventajas más reconocidas del marketing digital es la capacidad de aumentar la visibilidad y el reconocimiento de la marca. Las diversas plataformas digitales como las redes sociales, los motores de búsqueda y los sitios web especializados le permiten a la empresa tener presencia omnicanal. En el presente estudio aplicado a una empresa de servicios dedicada al transporte de pasajeros en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz, durante el primer cuatrimestre del año 2024 se obtuvieron los siguientes resultados:

- Conforme incrementa la edad, existe una apreciación positiva por parte de los usuarios sobre el marketing digital y el posicionamiento de la marca que implementa la compañía de transporte de pasajeros.

- Respecto a la variable de marketing digital, la dimensión de flujo posee la media más alta, seguido de la funcionalidad, fidelización y feedback, respectivamente.
- Respecto a la variable de posicionamiento de la marca, sobresale con la media más alta la dimensión de la imagen de la marca, seguido de la lealtad, ocupando el último lugar la calidad y el valor percibido.
- La relación de las variables de marketing digital y posicionamiento de marca arrojó una relación positiva muy alta, mismo que se corrobora al encontrar un valor de .849 de correlación de Spearman, lo que representa que los valores de ambas variables tienden a incrementarse juntos, por lo que, entre mayor estrategia de marketing digital, mayor posicionamiento de la empresa.

Referencias

- [1] D. E. Villalba-Ávila, "La evolución del marketing a lo largo del tiempo: del marketing 1.0 al marketing 5.0," *Revista de Análisis y Difusión de Perspectivas Educativas y Empresariales*, vol. 3, no. 5, pp. 64-66, 2023/05/17/ 2023, doi: <https://doi.org/10.56216/radee012023jun.a06>.
- [2] IEBS Business School, "Marketing Digital: Qué es y sus ventajas," 2024/06/05/ 2024, url: <https://www.iebschool.com/blog/que-es-marketing-digital-marketing-digital/>.
- [3] Universidad Internacional de La Rioja (UNIR), "Principales estrategias de marketing digital," 2022/01/22/ 2022, url: <https://mexico.unir.net/noticias/comunicacion-mercadotecnia/estrategias-marketing-digital/>.
- [4] L. M. Rendón-Londoño, Y. Ospin- Londoño, M. Palacio-Pareja, C. A. Arcila-Acosta, M. C. Bermeo Giraldo, María Camila, "Factores perceptuales del uso del marketing digital en pequeñas y medianas empresas," *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, vol. 18, no. 35, pp. 1-11, 2022/02/16/ 2022, url: https://revistas.unbosque.edu.co/index.php/cuaderlam/article/view/marketing_digital/3376.
- [5] V. C. Díaz-Landero, "Marketing Digital y Posicionamiento de Marca en una Microempresa Hotelera: Rancho San Román.," *Repositorio Institucional Universidad Autónoma de Tabasco*, 2022/09/13/ 2022, url: <https://ri.ujat.mx/handle/200.500.12107/4055>.
- [6] Cibernos Grupo, "Los riesgos de no sumarse a la transformación digital de las empresas," 2024, <https://www.grupocibernos.com/blog/los-riesgos-de-no-sumarse-a-la-transformacion-digital-de-las-empresas#:~:text=La%20fidelizaci%C3%B3n%20de%20clientes%20es,fomenta%20el%20trabajo%20en%20equipo>
- [7] Monetate, "Spotlight on Personalization: Building a Culture of Personalization Within Your Organization," 2024, url: <https://monetate.com/resources/blog/building-culture-of-personalization-within-your-organisation/>
- [8] P. Kotler, G. Armstrong, "Fundamentos de marketing," Pearson Educación, México, 2013, p. 50, 2016.
- [9] Escuela de Marketing y Web, "Posicionamiento de Marca: qué es, ejemplos, tipos y estrategias," 2022/12/09/ 2022, url: <https://escuela.marketingandweb.es/posicionamiento-de-marca/>.
- [10] Ó. Villacampa, "Los beneficios de un buen posicionamiento de marca con ejemplos, 2021/07/29/ 2021, url: <https://ondho.com/blog/beneficios-buen-posicionamiento-marca-ejemplos>.
- [11] Gobierno de México, "Otro Transporte Terrestre de Pasajeros," 2024, url: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/industry/other-transit-and-ground-passenger-transportation?yearSelectorGdp=timeOption0>.
- [12] O. A. Ortiz-Davila, N. D. Pupuche-Delgado, "Marketing digital para el posicionamiento de la marca de la Empresa ST Express S.A.C. Chiclayo, 2021," *Repositorio Institucional de la Universidad Señor de Sipán*, pp. 6-75, 2021, url: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/12227>.
- [13] Y. C. Agurto-Rodríguez, J.J. Quiquia-Julca, "Marketing digital y posicionamiento de mercado de la empresa de transporte provincial de Turismo Sallique S.R.L., Jaén 2021," *Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo*, pp. 7-36, 2021, url: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/87745>
- [14] M. Romero-Saldaña, "Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal," *Revista Enfermería del Trabajo*, vol. 6, no. 3 pp. 105-114, 2016/09/03/ 2016, url: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5633043>.
- [15] H. Galindo-Domínguez, " Estadística para no Estadísticos. Una guía básica sobre la Metodología cuantitativa de trabajos académicos," 3 ciencias, 1º ed, pp. 90-92, 2020, doi: <https://doi.org/10.17993/EcoOrgyCso.2020.59>.

APLICACIÓN DE HOJA DE RUTA BAJO ECONOMÍA CIRCULAR EN LA INDUSTRIA METALMECÁNICA: CASO MÉXICO

Flores Galindo, Diana¹, Gil Herrera, Richard de Jesús²
(UNADE-México, diana.floresg04@gmail.com)¹, (UNIR-Spain, richard.dejesus@unir.net)²

Área de participación: **Ingeniería Industrial**

Resumen

Aún en este siglo, en México pequeñas y medianas empresas no han incorporado conceptos como manufactura esbelta, industria 4.0, industria 5.0 o economía circular. En México, se han realizado proyectos para incorporar conceptos como la Economía Circular en diversos sectores. En este artículo, se muestra una compilación de marco teórico base, los estudios previos encontrados, a nivel mundial y en México, así como una propuesta para la incorporación de manera estructurada como una hoja de ruta. Dentro de la parte experimental, se muestran los resultados de una primera fase de incorporación en una empresa en México, dedicada a la fabricación de componentes metal mecánicos. Se enlistan los beneficios y las barreras encontradas en la aplicación del primer modelo.

Palabras clave: *Economía Circular, Manufactura Esbelta, Industria 5.0, Despliegue Estratégico.*

Abstract

Even in this century, in Mexico small and medium-sized companies have not incorporated concepts such as lean manufacturing, industry 4.0, industry 5.0 or circular economy. In Mexico, there are projects to incorporate concepts such as the Circular Economy in various sectors. This article presents a compilation of the basic theoretical framework, the previous studies found, worldwide and in Mexico, as well as a proposal for incorporation in a structured way as a roadmap. Within the experimental part, the results of a first phase of incorporation in a company in Mexico, dedicated to the manufacture of metal-mechanical components, are shown. The benefits and barriers found in the application of the first model are listed.

Key words: *Circular Economy, Lean Manufacturing, Industry 5.0, Strategy Deployment.*

Introducción

Dentro de la naturaleza de todas las empresas, se busca orquestar todos sus recursos para lograr sus metas, estas dependerán del giro y la naturaleza de cada una con la que se haya establecido. Para lograr dichos objetivos existen diversas herramientas de gestión, optimización y también de desarrollo tecnológico. Hoy en día, el tomar en cuenta un desarrollo holístico de la compañía implica el incluir las vertientes social y ambiental. En México, aún hay empresas en las que conceptos como Manufactura Esbelta (ME), Industria 4.0 (I4.0) y también ya Industria 5.0 (I5.0) no se encuentran dentro de sus operaciones cotidianas. Hablar de conceptos y principios de Economía Circular (EC) no fungen como prioridades. Se encontraron muy pocos casos de estudio en México, dentro de los cuales no hay evidencia de despliegue en el sector metal mecánico.

El objetivo principal de este artículo consiste en establecer los pasos básicos para la incorporación de un mapeo holístico, que incluya los indicadores clave de desempeño propios del negocio, que

pueda ser aplicable en cualquier pequeña y mediana empresa (PyME) en México y en cualquier parte del mundo.

Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Reunir los conceptos.
2. Revisar la propuesta metodológica.
3. Analizar un caso de implementación.
4. Formular siguientes pasos de acuerdo a los resultados.

Marco referencial

Conceptos clave, marco referencial

Manufactura Esbelta

Lean Manufacturing (LM) se caracteriza por la eliminación de desperdicios, la estandarización de procesos y el enfoque en el cliente, todo esto mediante la colaboración de los empleados [1]. Aspectos culturales que caracterizan la metodología de LM son pensamiento a largo plazo, respeto por las personas, retar el proceso actual constantemente, un gran enfoque en la solución de problemas, la mejora continua y el aprendizaje constante [2]. Todo esto se puede aplicar no solo a la parte operacional, sino también a la parte administrativa, esto es conocido como gestión lean o lean Management. Esta metodología tiene sus principios en la industria automotriz, pero se tiene una gran cantidad de historias de éxito en diversos sectores industriales [3]. Las actividades llamadas “desperdicios” son todas aquellas que no agregan valor. Dentro de esta metodología, existen algunas herramientas que la caracterizan, por ejemplo el mapeo de la cadena de valor o Value Stream Mapping (VSM), la metodología de las 5S, la identificación de los 7 + 1 desperdicios, siempre con la finalidad de eliminación de lo que no agregue valor [4]. Otra herramienta utilizada son los llamados A3 o formato A3, el cual es un método originario del Sistema de Producción de Toyota, el cual promueve mediante un sistema basado en hechos la resolución de problemas, llamado así por el tamaño de papel A3 [5].

En esta propuesta, se pretende mejorar el alcance de un VSM tradicional, el cual se utiliza normalmente para identificar y eliminar desperdicios en los procesos operativos, desde la materia prima hasta el producto terminado, buscando hacer visibles cualquier restricción o también llamados cuellos de botella [6].

Industria 4.0

Es el término con el cual fue estipulada la cuarta revolución industrial caracterizada por incorporación de principios ciber físicos [7]. Mediante la comunicación instantánea entre máquinas y objetos, así obteniendo cambios y productos más flexibles ante eventos inesperados. Conceptos claves son los llamados internet de las cosas (internet of things IoT), o también internet de los servicios (internet of services IoS), big data, inteligencia artificial y la llamada cloud computing [8], son elementos básicos de la cuarta revolución industrial. Un aspecto clave a considerar es la inversión en el capital intelectual, el que estará trabajando con todas las herramientas de la I4.0, así como la infraestructura necesaria para poder obtener todos los beneficios [9].

Industria 5.0

En la Comisión Europea en el 2021, se mencionó por primera ocasión un concepto con un alcance más holístico, con el objetivo de poner en el centro la parte humana de la industria. Comparando la cuarta revolución centrada en la tecnología, la quinta revolución industrial surge de la necesidad de

centrar en el valor, alineando los indicadores sociales para promover la resiliencia, y así proporcionar prosperidad, poniendo a las personas en el centro de los procesos de producción [10]. Algunas empresas han mostrado un compromiso superficial; a pesar de los beneficios y del nuevo enfoque holístico, la creencia central es que las empresas pueden tener resultados sostenibles y organizaciones resilientes[11].

Economía circular

Es un término bastante interesante, que es lo opuesto a la tradicional economía lineal, o también conocida como economía clásica. Si bien, no es algo nuevo, realmente puede ser una solución ideal para los problemas globales que surgen debido a la escasez de recursos y la generación de residuos. Se busca establecer un marco de referencia holístico haciendo un cambio sistemático en la adopción de prácticas de sostenibilidad en los procesos de fabricación existentes a nivel de PYMES [12]. La expectativa es transformar la relación entre los sistemas económicos y ecológicos [13]. El mayor desafío de las empresas es incorporar desde el diseño del producto hasta las áreas operativas [14] Kurdve & Bellgran diseñaron un llamado *Green Performance Map* que incluye 8 aspectos ambientales, con una jerarquía para encontrar soluciones que van desde eliminar el uso, reducir, reutilizar, reciclar y recuperar energía, hasta los vertederos de materiales residuales. El objetivo principal de la economía circular es maximizar el flujo de valor proveniente del uso de los recursos, lo que implica un compromiso genuino y sostenido, tomando como prioridad clave a lo largo de los procesos [4].

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible

Un interés común en establecer acuerdos y alianzas a lo largo del mundo, para mejorar no solo los aspectos económicos, sino también los ambientales. En el 2015, se establecieron “Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible”, el más reciente esfuerzo de las Naciones Unidas, como resultado se tiene la llamada “Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible” [15]. Las temáticas cubiertas fueron relacionadas al agua, energía, urbanización, ciencia y tecnología, transporte, océanos e igualdad.

Actualmente, a medio camino del inicio, el pasado mes de junio de 2023 el informe de progreso muestra que necesitamos incrementar el esfuerzo para difundir la importancia de los ODS y empezar a actuar ahora, porque el 50 por ciento de los resultados son débiles o insuficientes y el 30 por ciento ha parado o incluso en marcha atrás [15].

Estudios en México

La integración de conceptos ambientales y sociales en la economía no ha sido ampliamente investigada en las economías emergentes o en las PYME de estos países, como por ejemplo, América Latina [16]. En México se han realizado una serie de estudios sobre la aplicación de la economía circular (EC), en los que se destacan proyectos relacionados con el uso del agua, el reciclaje de componentes eléctricos como teléfonos celulares, alternativas a los residuos sólidos, metales en general, entre otros [17], [18], [19]. No se han encontrado estudios sobre la aplicación de la CE en una empresa metalmeccánica, no hay otros indicios de un estudio global.

Los estudios realizados en México, utilizando los modelos propuestos, enfatizan los beneficios de reducir costos, optimizar la gestión o manejo de residuos, así como los impactos económicos [20].

En estos casos de aplicación, se hace referencia a estándares mexicanos y a indicadores globales, como el Producto Interno Bruto que es una medida del valor total de la producción de un país, generalmente en un año. Este indicador se considera clave en el análisis de la salud de la nación [18], [19].

Métodos de despliegue de objetivos organizacionales

Existen métodos para garantizar que se asegure la correcta implementación de los objetivos empresariales como el Balanced Scorecard, que es simplemente un cuadro de mando integral [21], [22] y la “Matriz X” de Hoshin Kanri [23] que se analiza en este artículo.

Hoshin Kanri (HK) es una herramienta que permite que los objetivos estratégicos permeen en toda la organización, de arriba abajo [24], permitiendo a los altos directivos concentrar el talento en las necesidades clave. Este método fue elaborado por el profesor Yoji Akao quien, a finales de los años 50, incluye la filosofía de la cooperación y el enfoque en las personas en los principios básicos [16]. “Hoshin” viene de dirección o aguja de brújula, y “Kanri”, de gestión o dirección [25]. Si bien Hoshin Kanri no es un método nuevo, sigue siendo una herramienta útil para lograr objetivos a corto, mediano y largo plazo. Así que, el despliegue de políticas, otro término para HK, es “el sistema nervioso de la producción Lean”, según Pascal Dennis, experto en Lean en Patrick Graupp [26]. HK también ayuda a “crear constancia de propósito”, uno de los elementos clave para desempeñarse con excelencia [26].

El desarrollo de la estrategia debe ser asistido mediante técnicas como SWOT (Strengths, Weakness, Opportunities and Threats), PESTEL (Political, Economic, Social, Technological, Legal and Environmental), y/o el análisis de las cinco fuerzas de Porter, entre otras [25]. De los autores que describen los pasos metodológicos a seguir, algunos mencionan 10 pasos, otros 14, mientras que otros resumen el proceso en 5 pasos, respectivamente en [23][16] [27]. Este caso de estudio aplica de forma directa los cinco pasos mencionados por Kesterson [23]: Scan (proceso de formulación de la estrategia), Plan (inicio del proceso HK), Do, Check y Adjust.

Bajo la perspectiva ágil, el proceso de soporte involucra equipos de al menos 3-5 personas, como parte fundamental de la realización de un análisis FODA de una empresa [3]. Hoshin Kanri busca involucrar a los empleados para analizar la situación, crear planes de mejora, verificar la efectividad y tomar medidas de acción, cuya función se ejecuta como el ciclo PDCA de Deming [27]. Hoshin Kanri es una competencia para que los líderes tengan estabilidad. Objetivos transparentes y seguimiento de los desafíos, con la recompensa o el reconocimiento adecuados [28].

Enfoque metodológico

Análisis temático, vínculos entre los conceptos y similitudes

Si bien, varios autores han buscado establecer vínculos entre los conceptos de Lean Manufacturing e Industria 4.0, se han hecho trabajos para demostrar la interrelación y similitudes entre ambos enfoques [3], [29], [30], así como establecer una forma fácil de como incorporar estas corrientes. Al implementar cualquier herramienta o metodología, es fundamental hacer la revisión de las capacitaciones al personal [3], [31]. En esta investigación se muestra una propuesta de modelo, como hoja de ruta de fácil incorporación a cualquier empresa de cualquier giro, en especial, empresas que su naturaleza no involucren conceptos como economía circular, y que tengan nociones básicas de Lean Manufacturing e Industria 4.0. Estudios recientes quieren demostrar la importancia de la incorporación de múltiples enfoques para el beneficio de los desafíos actuales, como la comparación entre EC y los 17 ODS y la fuerte conexión que ambos tienen, también cómo la Industria 4.0 está vinculada a los ODS y contribuye al éxito y logro de los objetivos [32], [33].

No hay forma de mantener la mentalidad tradicional de producción lineal para obtener mejores resultados holísticos. Asimismo, el principio de creación de valor y eliminación de desperdicios es

común tanto a CE como a LM, sin embargo, utilizan un enfoque diferente, su combinación parece ser natural de esta manera [12]. La cuarta revolución trajo consigo nuevos desafíos, como relacionados al personal, cadena de suministro y seguridad de datos; la quinta revolución ayuda a superarlos a través del enfoque en las personas [31].

En la Figura 1 se plantea, con aportación propia, una comparación y similitudes entre los conceptos de Lean Manufacturing, Industria 4.0, Industria 5.0 y Economía Circular. La intención es mostrar con tres dimensiones (enfoque, proceso y personas) las similitudes o perspectivas que promueve cada tendencia. La incorporación de métodos de producción innovadores para reducir el impacto ambiental también se denomina fabricación verde, para lograrlo se deben generar cambios desde las prácticas corporativas, de fabricación y en el pensamiento de todas las partes interesadas[34].

Incorporando la Economía Circular mediante indicadores clave de desempeño

Teniendo como base el hecho de que las empresas basan su visión en satisfacer las necesidades de las partes interesadas, desde clientes, accionistas, gobierno y empleados, el Hoshin Kanri o despliegue estratégico de los objetivos nos ayuda a implementar desde el nivel gerencial más alto hasta el nivel operativo [24], esta herramienta puede ser muy fácilmente utilizada por compañías que no son lucrativas o tienen enfoque social [22]. El éxito de la incorporación de conceptos y principios de economía circular, para transformar de política lineal a circular, es necesario implementar acciones y políticas clave así como monitorearlas.

	Manufactura Esbelta	Industria 4.0	Industria 5.0	Economía Circular
Enfoque principal	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir desperdicio. • Valor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimizar procesos. • Información en tiempo real. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sustentabilidad. • Centrado en la humanidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir desperdicio. • Reducir la huella de carbón.
Relacionado al proceso	Mejorar el proceso actual.	Mejorar el proceso mediante tecnología.	Mejorar los servicios a largo plazo.	Negocios innovadores.
Relación con las personas	Orientado a las personas.	Educación en tecnología.	Centrado en las personas.	Promueve el bienestar.

Figura 1. Comparación, similitudes e interrelación de las corrientes expuestas. Fuente investigación y aplicación propia.

Al considerar la implementación de EC, se considera tanto el diseño del producto como la operación de producción que tienen todo el ciclo de vida del producto [14]. Se debe definir el alcance, o la fase a la que se aplicará la EC, para monitorear si las acciones implementadas son exitosas.

Los indicadores de Economía Circular deben considerar los indicadores de triple resultado (triple bottom line indicators TBL), económico, ambiental y social; Algunos indicadores a considerar son la efectividad general del equipo ambiental, las emisiones de carbono, la huella de carbono, el consumo de energía, el consumo de materiales, la satisfacción de los empleados, el nivel de ruido, el consumo de energía, la tasa de accidentes, el índice de carga física, solo por mencionar algunos ejemplos de KPI [6].

Despertando la conciencia en el mundo.

Al implementar la economía circular, el estudio de la cadena de suministro es fundamental, desde la adquisición de materia prima hasta la entrega del producto al cliente final. El concepto holístico se denomina gestión de la cadena de suministro verde o Green Supply Chain Management. La sostenibilidad empresarial es la corriente que tiene como objetivo generar valor agregado para las

actividades de una empresa y minimizar el impacto ambiental y social negativo [16] a través del Triple Bottom Line (TBL).

Varios autores [23], [26], [27], [35] concuerdan en que los objetivos de la EC deben estar dirigidos a las dimensiones ambiental, económica y social. Estas dimensiones se consideran Excelencia Sostenible cuando son integradas, como se mencionó anteriormente, mediante el involucramiento de las partes interesadas y por medio de una planeación estratégica [36]. En 2010 se lanzó la estrategia "Europa 2020" para poner fin a la explotación excesiva de los recursos naturales. Después en 2015, se lanzó "Transformar Nuestro Mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible", también conocida como la Agenda 3P [28].

Estado del arte, marco metodológico.

En esta estrategia de investigación se realizó una revisión sistemática de literatura, con el objeto de obtener evidencia de estudios primarios, consiste en 3 fases, desde pacificación, realización y documentación de la revisión [37]. Con los objetivos o preguntas anteriores mencionados en la fase introductoria, la segunda fase fue establecer el protocolo de búsqueda: las dos herramientas principales para encontrar la literatura base, fueron Scopus y Google Scholar. Se buscaron conceptos y métodos asociados a "Lean Manufacturing", "Industria 4.0", "Industria 5.0", "Economía Circular", "Hoshin Kanri", "VSM", "E-VSM", "diagrama IPO", "A3". Se tienen en cuenta criterios de inclusión y criterios de exclusión. Como parte de criterios de inclusión, el objetivo fue recopilar información y datos de investigaciones de estos temas provenientes de toda América, Europa y Asia. La parte excluyente, se tomó de filtro casos de aplicación del 2017 al 2024, para establecer una propuesta metodológica más fácil de aplicar a las necesidades actuales. Los criterios de calidad seleccionados son: objetivo de estudio, aportación, utilidad, afinidad, facilidad de aplicación.

Se tomaron como referencia 72 artículos de los cuáles solo se encontraron 5 provenientes de México, lo cual remarca la necesidad de casos prácticos para la aplicación en territorio nacional y Latinoamérica. Se hizo revisión de bibliografía tanto en inglés como en español.

Las similitudes entre los diferentes autores, entre las diferentes industrias donde se aplicó, fue tomado en cuenta la parte teórica y se buscó casos prácticos, buscando principalmente estudios en industria metalmecánica, sin embargo, no se encontraron resultados satisfactorios. Se procede a realizar una propuesta base para la aplicación en cualquier ramo industrial, en este estudio se considera para aplicación en una unidad de negocios de una empresa dedicada a la fabricación y pintura de ensambles metal mecánicos.

En base de la bibliografía se genera un modelo-propuesta estilo hoja de ruta para la incorporación a un sistema con procesos enfocados a un nivel *triple bottom*; se programa una prueba piloto, tomando en cuenta todos los comentarios positivos y negativos. Se monitorea por 3 meses el proyecto piloto y se procede a establecer modificaciones y siguientes pasos.

Modelo de implementación. Caso Práctico.

Tras la revisión bibliográfica de los conceptos mencionados, se elige la herramienta VSM (value stream mapping) para reflejar la fotografía actual del proceso, en el cual se establecerán mediante "estrellas" aquellas áreas donde se requiera una mejora. El diseño típico del VSM esta basado en una producción lineal [4]. Es importante seleccionar la línea/producto a mapear [38], asignando prioridad de acuerdo a los objetivos estratégicos.

Comparando estudios similares, Chaparrin Japa [5] establece un VSM ligado a un A3, pero no se menciona el cómo cascadear los objetivos de una alta gerencia hasta las operaciones en piso. En el modelo de Chaparrin, el primer paso es la recopilación de datos y luego el mapeo de la situación actual, la selección de las herramientas de Lean Manufacturing a aplicar depende de la identificación del problema en cada paso. El uso de modelos de simulación, para analizar el desempeño del sistema en diferentes escenarios. La importancia es la adición de los indicadores de triple fondo. Abu-Bakr [39], propuso un modelo cuantitativo para investigar si las herramientas de manufactura esbelta pueden mejorar los indicadores de triple fondo. Después de una larga lista de estudios previos, la intención es llenar el vacío en la literatura que se muestra. Díaz-Reza [40] en su modelo de ecuación estructural, se enfoca en solo tres herramientas de manufactura esbelta para mejorar la sustentabilidad social, que son Kaizen, Gemba y 5 Por qué. Miden a través de la técnica de dinámica de sistemas para simular diferentes escenarios, en maquiladoras mexicanas. Este estudio tiene como objetivo reforzar la importancia de aplicar las herramientas de LM y demostrar los años de trabajo para cosechar los beneficios. Batwara [6] propone un VSM sustentable inteligente (SI-VSM) para PYMES (propietarios, formuladores de políticas o gerentes). El método alternativo sugerido, que pretende potenciar el VSM, además de incluir aspectos sociales y ambientales, es el uso de lo que la literatura denomina el análisis Input-Process-Output (IPO) [41], [42] en cada uno de los pasos o partes que se considere técnicamente aconsejable. Se consideran los controles y facilitadores de cada proceso así como la retroalimentación de los resultados obtenidos al inicio. Los procesos en las fábricas constan de muchos niveles, siendo la salida de un proceso la entrada de un paso posterior y se puede desglosar de acuerdo con el nivel de detalle deseado para ser analizado [25].

Como mencionan algunos de los autores citados [12], [43], [44], [45], [46], [47], se pueden incluir además de los indicadores económicos más comunes a los VSM en cada casilla de proceso. Las dimensiones extra por considerar son la parte social, la cual pudiéramos agregar indicadores ergonómicos, nivel de matriz de entrenamiento o experiencia de los operarios y para la parte ambiental pudiera aplicar los residuos generados, tanto de manejo especial o manejo común, nivel de ruido, luz, gases, etc.

Para dar mayor claridad a las áreas de oportunidad, se decide agregar un diagrama IPO debajo de cada caja del proceso (figura 2), incluyendo una salida/output producto y residuo. Otro aspecto que hace este una propuesta más útil es la posibilidad de permear y alinear los objetivos estratégicos mediante la metodología Hoshin Kanri, así como para establecer el área funcional y/o procesos a los que el equipo dirigirá sus esfuerzos desde la visión de largo plazo de la empresa.

La hoja de ruta propuesta es la siguiente (figura 3):

1. Tomar la decisión/estar dispuesto a incorporar no solo aspectos económicos, sino también sociales y ambientales desde el diseño del producto hasta la fabricación. Definir el alcance en cada uno de los sectores.
2. Establecer métodos de medición para cada aspecto.
3. Definir el primer proceso a trabajar.
4. Definir el estado actual:
 - a. Realizar un VSM que incluya los aspectos económicos, ambientales y sociales seleccionados a monitorear.
 - b. Detectar desperdicios o áreas de oportunidad a través de conceptos de LM e identificar puntos a mejorar con la Industria 4.0.

5. Establecer equipos de trabajo.

Para este ejercicio ilustrativo, en la etapa de VSM, en el estado actual o real, se analiza la situación inicial del proyecto, se detecta la forma de medición y se identifican los responsables de gestionar estos indicadores, o campeones del proyecto son identificados.

En la empresa de ensamblajes y pintura de productos metal mecánicos se procedió a realizar el siguiente caso práctico de implementación. Como antecedente, la empresa tiene varios años que ha colocado dentro de sus objetivos estratégicos rubros que abarcan seguridad y medio ambiente, política de Calidad e indicadores de calidad, medición de las entregas, costo y eficiencia, así como programas de desarrollo a la excelencia e innovación y desarrollo del personal. Se desea correr una prueba piloto con el modelo mencionado anteriormente. Al realizarse un VSM holístico con el triple bottom line se elige la línea de pintura, esto debido a que se concentra la mayor cantidad de consumo de insumos que se van a disposición de manejo especial.

Aplicando los pasos de la hoja de ruta:

Paso uno: Tomar la decisión/estar dispuesto a incorporar aspectos sociales y ambientales, completo como se mencionó anteriormente. La sustentabilidad, equidad, diversidad e inclusión son parte de los valores de la empresa estudiada. Además, la empresa cuenta con las certificaciones ISO 14001 e ISO 45001.

Paso dos: Establecer métodos de medición para cada aspecto. Ejemplos de las métricas desarrolladas por la empresa incluyen la Tasa Total de Incidentes Registrables (TRIR), Días Fuera del Trabajo (DART), nivel de riesgo EHS.

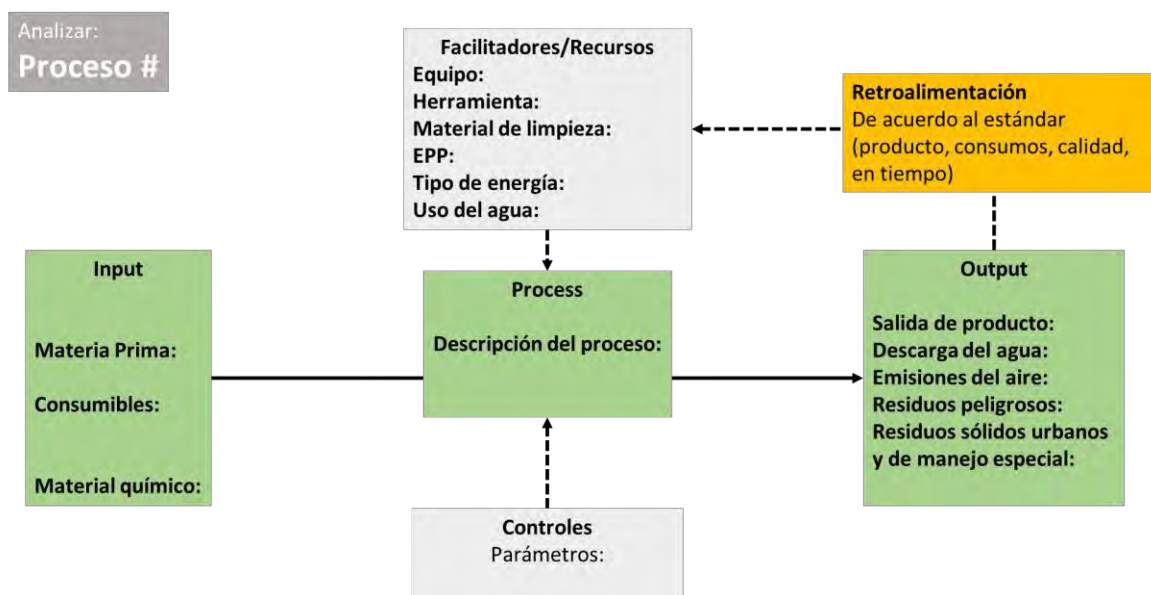


Figura 2. Despliegue de diagrama IPO holístico. Fuente investigación y aplicación propia.

Paso tres: Definir el primer proceso en el que trabajar.

En las instalaciones de México, uno de los modelos de productos metalmecánicos elegidos para la aplicación de un VSM holístico a nivel micro.

Paso cuatro: Definir el estado actual:

a. Desarrollar un VSM que incluya los aspectos económicos, ambientales y sociales seleccionados para ser monitoreados.

La caja del VSM, antes y después de aplicar los principios del triple fondo (ver tabla 1).

b. Detectar desperdicios o áreas de oportunidad a través de los conceptos LM e identificar puntos a mejorar con I4.0, ver en figura 4.

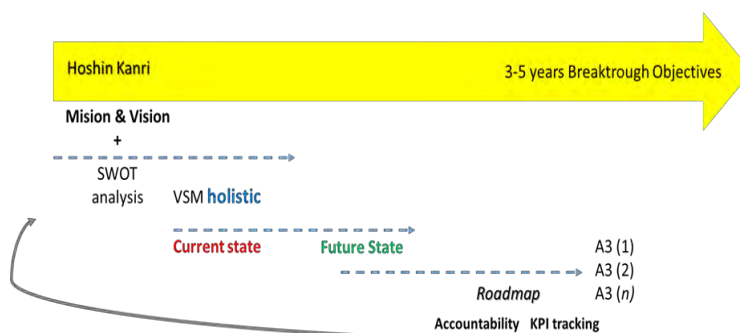


Figura 3. Cascadear mediante Hoshin Kanri desde la alta dirección las iniciativas de Economía Circular. Fuente investigación y aplicación propia.

Paso cinco: Establecer equipos de trabajo. Tras la recolección de datos y la identificación de áreas de oportunidad, se elabora el listado de eventos para establecer un líder y el equipo que debe asistir al evento para garantizar el éxito del mismo. Luego de conformar los equipos de trabajo, contar con un cronograma de los proyectos ayudará a dar seguimiento a las necesidades del triple resultado, teniendo un líder específico, fecha y KPI a seguir. Enfocando a nuestra gente en las principales áreas de oportunidad.

Tabla 1 Caja del VSM antes y después. Referencia [43] y adaptación propia.

Caja VSM antes	Caja VSM después
# Operadores	# Operadores
# de turnos	# de turnos
T. Neto Disponible	T. Neto Disponible
Tiempo Ciclo Maquina	Tiempo Ciclo Maquina
Tiempos muertos	Tiempos muertos
DPU	DPU
	Nivel Ergonómico
	Nivel de riesgo
	% Entrenamiento
	Nivel de ruido
	Residuos ambientales (KG por día)
	Humos
	Nivel de luz

Resultados y discusión

Revisión de cifras actuales.

De los tres (3) eventos a realizar, uno es una acción puntual con entrenamiento, y dos eventos kaizen se proceden a programar. En esta investigación se procede a plasmar los resultados del evento ambiental. En la figura 5 se observan los datos de respaldo donde se sostiene la importancia de tomar cartas en el asunto en Planta Pintura. El 87% de los residuos peligrosos y de manejo especial son provenientes de los procesos de Planta Pintura, y el 13% es proveniente de las Procesos de Ensamble, ver en figura 5.

Como seguimiento al VSM y diagrama IPO holístico, se realizan los diagramas IPO de cada una de las estaciones del proceso de Pintura, ver figura 6, ejemplo de diagrama del proceso de estación 1 Preparación.

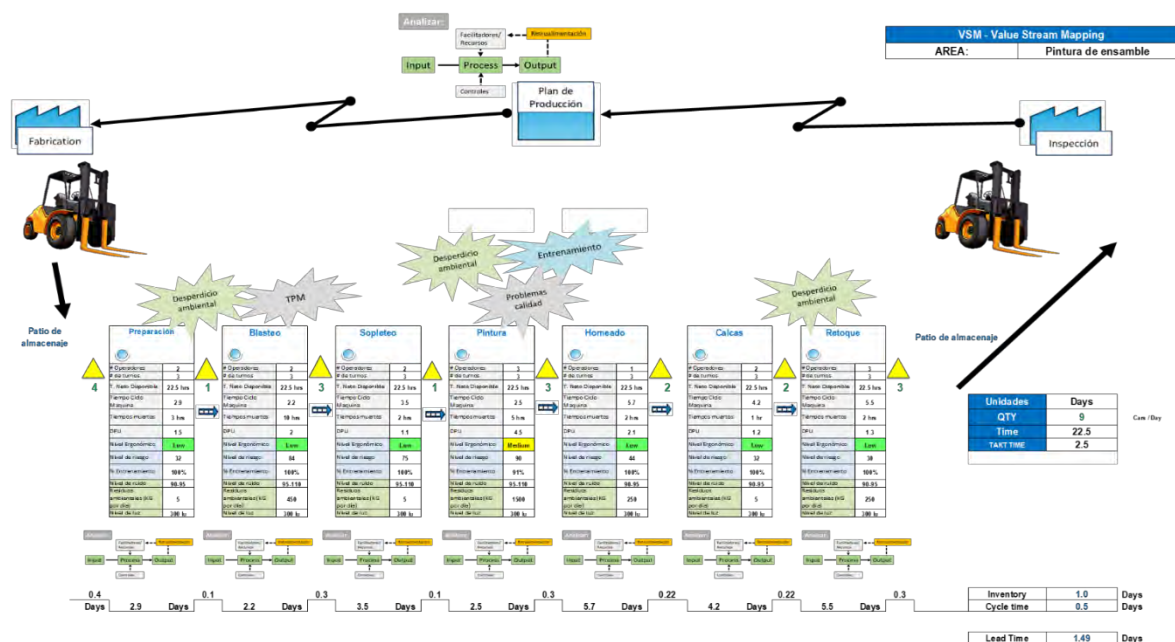


Figura 4. Aplicación de VSM holístico a unidad de negocios Pintura. Fuente elaboración propia.



Figura 5. Estratificación del origen de residuos contaminados y de manejo especial en Planta 1 México. Datos del 2023 elaboración propia.

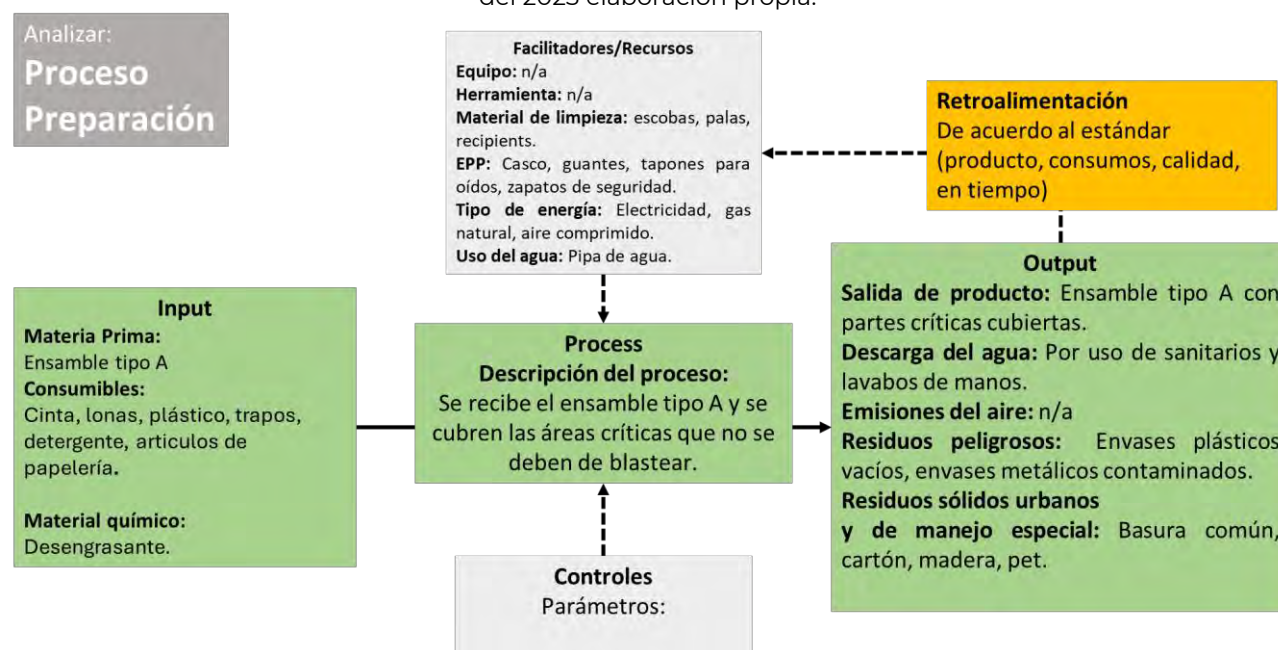


Figura 6. Diagrama IPO holístico propuesto del primer proceso, estación *Preparación*. Elaboración propia.

Actividades Evento Kaizen desarrollado para impacto ambiental

El VSM holístico se realiza en el mes de febrero, se detecta una tendencia promedio de 350 kg de desechos por ensamble, resultando del promedio de 2023 y los primeros 2 meses del 2024.

En el evento kaizen se realizan las siguientes actividades de manera resumida:

- Día 1, se procede a desarrollar la semana Kaizen, donde se comienza con entrenamiento técnico de principios Lean, así como conocimientos específicos de Medio Ambiente y relacionados a Economía Circular.
- Día 2 del evento se procede a realizar levantamiento de hallazgos y anomalías, se recorre el *gemba* y se entrevista a los operadores en turno, así como personal administrativo.
- Día 3 se comienza a hacer el análisis de las desviaciones detectadas, así como se procede a realizar el análisis de costo beneficio e impacto dificultad de los hallazgos y sus posibles soluciones. Para este paso se busca implementar actividades o soluciones de Lean Manufacturing así como identificación de tecnología y herramientas de Industria 4.0. Todo esto con la finalidad de garantizar procesos más esbeltos, menos desperdicios y mejorar la satisfacción de los empleados (industria 5.0).
- Día 4 se procede a cerrar las actividades que son de acción inmediata.
- Día 5 se realiza el informe para los ejecutivos sobre todo lo detectado y las actividades que no se pudieron cerrar y se colocarán en un listado de acciones a monitorear por los siguientes 30 días. Se muestran los métricos y parámetros de éxito. En este caso se medirá mediante kilogramos de desecho por ensamble producido. Se establece una meta de 272 kg por ensamble.

Últimos resultados: seguimiento al KPI

Se genera un canal de comunicación entre los diversos participantes del Kaizen Ambiental. Estableciendo reuniones periódicas tanto vía remota como visitas al gemba, con la finalidad de monitorear el cierre de los hallazgos.

Las primeras acciones cerradas traen consigo una disminución de 30% de los residuos por ensamble fabricado, lo cual trae beneficios ambientales, sociales, culturales y económicos. Figura 7 muestra los kg por ensamble que se registraron en el 2023, así como cada uno de los meses del 2024.

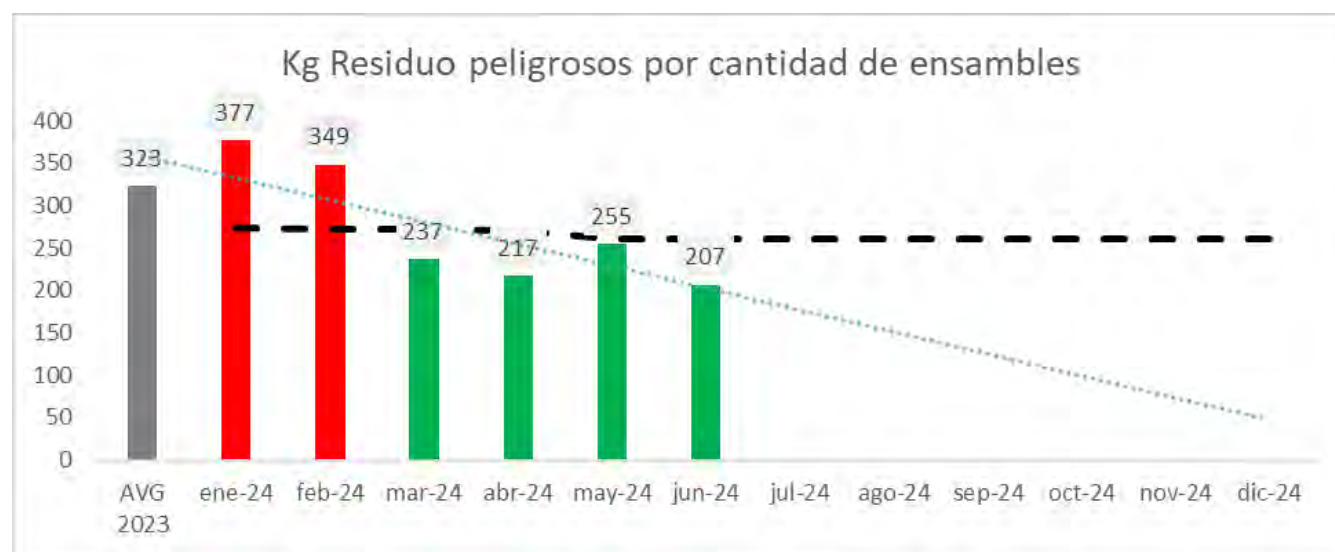


Figura 7. Seguimiento al primer evento Kaizen Ambiental en Planta Pintura. Investigación y resultados del proyecto.

Trabajo a futuro

Como se puede ver en la gráfica (figura 7) de sostenimiento del evento, se ha tenido la disminución de residuos de manejo especial de un más de un 30%. Los datos fueron modificados por cuestiones de confidencialidad de la empresa estudiada, sin embargo, guardan proporción del impacto favorable.

El siguiente paso es hacer la expansión horizontal en otra unidad de negocio en otra localidad, para comparar similitudes con el modelo y limitaciones.

Se pretende hacer un análisis del impacto económico de esta disminución de residuos generados, sin embargo, el impacto social, cultural y ambiental, es lo más valioso que deja este tipo de seguimiento e incorporación.

Algo importante de mencionar, es que antes de la implementación de este VSM holístico, no se había realizado ningún proyecto Kaizen ambiental.

Conclusiones y recomendaciones

Existe un campo de estudio y aplicación de los conceptos y metodología. Existen casos de éxito a nivel mundial de empresas que incorporan conceptos como LM, Industria 4.0, HK y CE.

Sin embargo, no se encontró ningún caso específico de aplicación en México, y menos en una empresa metalmeccánica que no esté cimentada en estos conceptos (LM e Industria 4.0), como las empresas automotrices. Este caso de estudio es de aplicación de una industria metalmeccánica en México, donde se incorporaron los conceptos de LM, Industria 4.0 y CE, a diferencia de los casos de VSM que no incorporan aspectos ambientales y sociales.

Esto abre un abanico de posibilidades para orientar a las empresas en este campo. Entre los principales beneficios presentados se encuentra la promoción de aspectos de bienestar social y ambiental en pro de la salud de la empresa, la huella ambiental, el cuidado del uso adecuado de los recursos naturales y el fomento de la mejora continua en los procesos. Otros beneficios incluyen apelar al talento humano para desarrollar nuevos métodos y estrategias en pro de la salud humana y ambiental, así como mejorar el ciclo de vida de los productos finales, dependiendo del nivel organizacional en el que se adopte. Esto ayudará a sentar las bases para la Industria 5.0.

Dentro de este primer Kaizen ambiental se utilizaron herramientas de Ingeniería Industrial y Manufactura Esbelta, desde el VSM, estudio de tiempos y movimientos, diagrama de espagueti, diagrama IPO, así como el cascadeo del Hoshin Kanri, la metodología A3. Para la parte de Industria 4.0 se buscaron alternativas "*inteligentes*" para el control y almacenaje de pintura, se tiene una sala que cuenta con realidad virtual para capacitación en el proceso de simulación del proceso de pintura, así como blasteo, así como espacios para hacer prácticas en campo. En la dinámica de la incorporación de conceptos de economía circular, se buscó acciones específicas para reducir, reusar, reciclar y recuperar materiales y consumibles. Si bien las herramientas de manufactura esbelta e ingeniería industrial no son nuevas, su uso y aplicación hacen una gran diferencia en procesos y por ende los resultados. Al momento de aplicar junto con los tópicos del triple bottom line, en un principio se tenía dificultad de que hay indicadores que solo se tienen por nave de producción o algunos otros por toda la unidad de negocio, lo cual hacía muy difícil el estratificar el área de oportunidad de una manera rápida.

Entre las recomendaciones asociadas a la aplicación del caso destacan:

Las barreras identificadas para el desarrollo de esta propuesta incluyen madurez de las empresas para darse cuenta de la importancia de salvaguardar su huella ambiental, falta de regulaciones que obliguen a las empresas a tomar mayores acciones, falta de conocimiento sobre temas básicos de LM e Industria 4.0 y cascada de la estrategia a través de todos los departamentos y capas de la empresa.

Por otro lado, los beneficios incluyen:

Crear una herramienta visual para detectar las principales áreas de mejora de los procesos, priorizar eventos donde los miembros del equipo establecerán sus esfuerzos, establecer un enfoque holístico para apoyar los desafíos actuales, desarrollar un marco de trabajo que sea fácil de aplicar a diferentes industrias y una metodología probada con resultados económicos que podría mejorar los factores sociales y ambientales.

Referencias

- [1] F. Rosin, P. Forget, S. Lamouri, y R. Pellerin, "Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles", *Int J Prod Res*, vol. 0, núm. 0, pp. 1–18, 2019, doi: 10.1080/00207543.2019.1672902.
- [2] Gerard. Kaufmann, *Aligning Lean and Value-based Management*. 2020.
- [3] D. Flores-Galindo, R. G. Herrera, A. L. M. Methodology, L. Thinking, y L. Management, "The Journey from Lean Manufacturing to Industry 4.0: The Rail Manufacturing Process in Mexico", *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, vol. 15, núm. 6, pp. 294–299, 2021, [En línea]. Disponible en: <https://publications.waset.org/10012109/the-journey-from-lean-manufacturing-to-industry-40-the-rail-manufacturing-process-in-mexico>
- [4] F. Kalemkerian, J. Santos, M. Tanco, J. A. Garza-Reyes, y E. Viles, "Analysing the alignment between the Green Lean and Circular strategies: towards a Circular Lean approach", *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2022, doi: 10.1108/JMTM-11-2021-0480.
- [5] R. D. P. Chaparin, E. Ramos, y L. Sequeiros, "Sustainable Lean Manufacturing model to reduce waste in a dairy company in Peru", *LACCEI (Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions)*, dic. 2023. doi: 10.18687/leird2023.1.1.465.
- [6] A. Batwara, V. Sharma, M. Makkar, y A. Giallanza, "Impact of Smart Sustainable Value Stream Mapping-Fuzzy PSI Decision-Making Framework". [En línea]. Disponible en: <https://ssrn.com/abstract=4632586>
- [7] A. Sanders, C. Elangeswaran, y J. Wulfsberg, "Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing", *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 9, núm. 3, pp. 811–833, 2016, doi: 10.3926/jiem.1940.
- [8] M. M. Huidobro, M. A. M., Vera, A. D. C., & Aranda, "Estrategias del sector público y privado para la implementación de la Industria 4.0 en México Strategies of the public and private sector for the implementation of Industry 4.0 in Mexico", vol. 6, pp. 13–31, 2020.
- [9] J. H. Ávila-Bohórquez y R. de J. Gil-Herrera, "Proposal and Validation of an Industry 4.0 Maturity Model for SMEs", *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 15, núm. 3, pp. 433–454, 2022, doi: 10.3926/jiem.3673.
- [10] X. Xu, Y. Lu, B. Vogel-Heuser, y L. Wang, "Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception", *J Manuf Syst*, vol. 61, pp. 530–535, oct. 2021, doi: 10.1016/j.jmsy.2021.10.006.
- [11] V. Cillo, G. L. Gregori, L. M. Daniele, F. Caputo, y N. Bitbol-Saba, "Rethinking companies' culture through knowledge management lens during Industry 5.0 transition", *Journal of Knowledge Management*, vol. 26, núm. 10, pp. 2485–2498, nov. 2022, doi: 10.1108/JKM-09-2021-0718.
- [12] S. P. Nadeem, J. A. Garza-Reyes, A. I. Anosike, y V. Kumar, "Coalescing the lean and circular economy", *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, vol. 2019, núm. MAR, pp. 1082–1093, 2019.
- [13] M. Oliveira et al., "Circular Economy and the Transition to a Sustainable Society: Integrated Assessment Methods for a New Paradigm", *Circular Economy and Sustainability*, vol. 1, núm. 1, pp. 99–113, jun. 2021, doi: 10.1007/s43615-021-00019-y.

- [14] M. Kurdve y M. Bellgran, "Green lean operationalisation of the circular economy concept on production shop floor level", *J Clean Prod*, vol. 278, p. 123223, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123223.
- [15] United Nations, "The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023", 2023, Consultado: el 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023.pdf>
- [16] R. M. Vivas, "Propuesta De Implementación Del Modelo Hoshin Kanri En Una Mipyme Del Sector Constructor", 2018.
- [17] V. F. Vladimir, N. C. Mercedes, C. M. M. Francisca, y M. V. D. José, "Balanced scorecard: Key tool for strategic learning and strengthening in business organizations", *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, vol. 9, núm. 3, pp. 1–11, 2020, doi: 10.36941/ajis-2020-0036.
- [18] G. Moraga et al., "Circular economy indicators: What do they measure?", *Resour Conserv Recycl*, vol. 146, núm. April, pp. 452–461, 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.03.045.
- [19] P. Morseletto, "Targets for a circular economy", *Resour Conserv Recycl*, vol. 153, núm. October 2019, p. 104553, 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104553.
- [20] M. Kaya, "Industrial applications of circular economy for e-waste recycling", *Horizons in Earth science research*, vol. 22, p. 117, 2021.
- [21] R. Malagueño, E. Lopez-Valeiras, y J. Gomez-Conde, "Balanced scorecard in SMEs: effects on innovation and financial performance", *Small Business Economics*, vol. 51, núm. 1, pp. 221–244, 2018, doi: 10.1007/s11187-017-9921-3.
- [22] L. M. M. Pérez, "Balanced Scorecard for the Management of Social Impact in Inclusive Employment Organizations", *CIRIEC-Espana Revista de Economía Publica, Social y Cooperativa*, núm. 98, pp. 153–188, 2020, doi: 10.7203/CIRIEC-E.98.13368.
- [23] R. Kesterson, Hoshin Kanri. 2017. doi: 10.4324/9781315587035.
- [24] M. H. A. Soliman, "The Toyota Way to Effective Strategy Deployment: How Organizations Can Focus Energy on Key Priorities Through Hoshin Kanri to Achieve the Business Goals", *Journal of Operations and Strategic Planning*, vol. 3, núm. 2, pp. 132–158, 2020, doi: 10.1177/2516600x20946542.
- [25] M. Baudin y T. Netland, *Introduction to Manufacturing: An Industrial Engineering and Management Perspective*. 2022.
- [26] P. Graupp, S. Steward, y B. Parsons, *Creating an effective management system: Integrating policy deployment, TWI, and Kata*. 2019.
- [27] A. O. Paraschivescu, "Hoshin Kanri and Total Quality Management.", *Economy Transdisciplinarity Cognition*, vol. 21, núm. 1, pp. 91–98, 2018, [En línea]. Disponible en: <http://ezproxy.liberty.edu/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=131469948&site=ehost-live&scope=site>
- [28] I. S. Gatell y L. Avella, "Impact of Industry 4.0 and circular economy on lean culture and leadership: Assessing digital green lean as a new concept", *European Research on Management and Business Economics*, vol. 30, núm. 1, ene. 2024, doi: 10.1016/j.iemeen.2023.100232.

- [29] N. Yadav, R. Shankar, y S. P. Singh, "Impact of Industry4.0/ICTs, Lean Six Sigma and quality management systems on organisational performance", *TQM Journal*, vol. 32, núm. 4, pp. 815–835, 2020, doi: 10.1108/TQM-10-2019-0251.
- [30] L. Varela, A. Araújo, P. Ávila, H. Castro, y G. Putnik, "Evaluation of the relation between lean manufacturing, industry 4.0, and sustainability", *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, núm. 5, pp. 1–19, 2019, doi: 10.3390/su11051439.
- [31] M. Khan, A. Haleem, y M. Javaid, "Changes and improvements in Industry 5.0: A strategic approach to overcome the challenges of Industry 4.0", *Green Technologies and Sustainability*, vol. 1, núm. 2, p. 100020, may 2023, doi: 10.1016/j.grets.2023.100020.
- [32] R. Panchal, A. Singh, y H. Diwan, "Does circular economy performance lead to sustainable development? – A systematic literature review", el 1 de septiembre de 2021, Academic Press. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112811.
- [33] T. E. T. Dantas, E. D. de-Souza, I. R. Destro, G. Hammes, C. M. T. Rodriguez, y S. R. Soares, "How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals", el 1 de abril de 2021, Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.spc.2020.10.005.
- [34] A. Haleem, M. Javaid, R. P. Singh, R. Suman, y M. A. Qadri, "A pervasive study on Green Manufacturing towards attaining sustainability", *Green Technologies and Sustainability*, vol. 1, núm. 2, p. 100018, may 2023, doi: 10.1016/j.grets.2023.100018.
- [35] G. Tortorella, P. A. Cauchick-Miguel, y P. Gaiardelli, "Hoshin Kanri and A3: a proposal for integrating variability into the policy deployment process", *TQM Journal*, vol. 31, núm. 2, pp. 118–135, 2019, doi: 10.1108/TQM-06-2018-0076.
- [36] R. Ennals, "Hoshin Kanri The Strategic Approach to Continuous", núm. February, 2015, doi: 10.1007/s00146-009-0203-8.
- [37] D. Cordova-pizarro, I. Aguilar-barajas, y D. Romero, "Circular Economy in the Electronic Products Sector: Material Flow Analysis and Economic Impact of Cellphone E-Waste in Mexico", 2019, doi: 10.3390/su11051361.
- [38] J. Abisourour, M. Hachkar, B. Mounir, y A. Farchi, "Methodology for integrated management system improvement: combining costs deployment and value stream mapping", *Int J Prod Res*, vol. 58, núm. 12, pp. 3667–3685, jun. 2020, doi: 10.1080/00207543.2019.1633482.
- [39] M. A. Abu-Bakr, M. G. Abdel-Kader, y A. F. Elbayoumi, "Measuring the Impact of Lean Manufacturing Practices on Sustainability Performance: A Proposed Model): Roadmaps for Sustainable Businesses: Egypt Measuring the Impact of Lean Manufacturing Practices on Sustainability Performance: A Proposed Model", 2017.
- [40] J. Roberto Díaz-Reza, J. Luis García-Alcaraz, A. J. Gil-López, y A. Realyvasquez-Vargas, "Lean Manufacturing Tools as Drivers of Social Sustainability in the Mexican Maquiladora Industry", doi: 10.17632/4fphc32fj3.1.
- [41] X. Chen, Y. Zhu, y J. Shen, "Input-output dynamic model for optimal environmental pollution control", *Appl Math Model*, vol. 83, pp. 301–321, 2020, doi: 10.1016/j.apm.2020.02.029.
- [42] J. Decius, N. Schaper, y A. Seifert, *Work Characteristics or Workers ' Characteristics ? An Input-Process-Output Perspective on Informal Workplace Learning of Blue-Collar Workers*. Springer Netherlands, 2021. doi: 10.1007/s12186-021-09265-5.

- [43] R. R. Hartini S, Manurung J, “Sustainable-value stream mapping to improve manufacturing sustainability performance : Case study in a natural dye batik SME ’ s Sustainable-value stream mapping to improve manufacturing sustainability performance : Case study in a natural dye batik SME ”, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1072/1/012066.
- [44] N. Jamil, H. Gholami, M. Zameri, M. Saman, S. Sharif, y N. Zakuan, “DMAIC-based approach to sustainable value stream mapping : towards a sustainable manufacturing system”, *Economic Research-Ekonomiska Istraživanja*, vol. 33, núm. 1, pp. 331–360, 2020, doi: 10.1080/1331677X.2020.1715236.
- [45] A. Muñoz-villamizar, J. Santos, J. J. Garcia-sabater, U. P. De Valencia, P. Grau, y S. Sebastian, “Green value stream mapping approach to improving productivity and environmental performance”, 2018, doi: 10.1108/IJPPM-06-2018-0216.
- [46] L. Ngo, “The influence of ICT on the accommodation industry in”, 2019.
- [47] T. Phuong, N.A., Guidat, “Sustainable value stream mapping and technology Industry 4.0 in manufacturing process re-configuration: a case study in apparel company.”, pp. 85–90, 2018.

CHATBOTS COMO HERRAMIENTA DIDÁCTICA EN LA ENSEÑANZA DE LA PROGRAMACIÓN PARA ESTUDIANTES DE NIVEL LICENCIATURA

Montes-Almanza, Ma. Elena^{1*}, Montes-Almanza, María Luisa², Frias-Maldonado, Ma. Del Consuelo³, Guzmán- Rivera, Miguel Ángel⁴, Ramírez, Pedro Celestino⁵.

^{1*}TecNM campus Querétaro, *elena.ma@queretaro.tecnm.mx, ²TecNM campus Querétaro, luisa.ma@queretaro.tecnm.mx, ³TecNM campus Querétaro, consuelo.fm@queretaro.tecnm.mx, ⁴TecNM campus Querétaro, miguel.gr@queretaro.tecnm.mx, ⁵TecNM campus Querétaro, pedro.r@queretaro.tecnm.mx

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

En la era digital actual, la programación es una habilidad esencial que trasciende las disciplinas tradicionales. Sin embargo, la enseñanza de la programación plantea desafíos importantes, particularmente en la educación superior. En el Tecnológico Nacional de México, Campus Querétaro, los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales tienen dificultades en el área de programación debido a sus limitadas habilidades de razonamiento analítico y lógico, la percepción de que la programación es difícil y el uso de métodos de enseñanza tradicionales, lo que contribuye a altas tasas de reprobación y deserción escolar. Este estudio tiene como objetivo abordar estos problemas analizando el potencial de los chatbots mediante una propuesta didáctica para la enseñanza de la programación fundamentada en el aprendizaje basado en problemas. Esta investigación emplea un enfoque cuantitativo, exploratorio, descriptivo y transversal; que involucra una población de 95 estudiantes, con un tamaño de muestra de 77.

Palabras clave: Aprendizaje basado en problemas, Tutor inteligente, Chatbot, Programación

Abstract

In today's digital age, programming is an essential skill that transcends traditional disciplines. However, teaching programming poses significant challenges, particularly in higher education. At the National Technology of Mexico, Querétaro Campus, students of the Computer Systems Engineering program have difficulties in the area of programming due to their limited analytical and logical reasoning skills, the perception that programming is difficult, and the use of traditional teaching methods, which contributes to high failure and dropout rates. This study aims to address these problems by analyzing the potential of chatbots through a didactic proposal for teaching programming based on problem-based learning. This research uses a quantitative,

exploratory, descriptive and transversal approach, which involves a population of 95 students, with a sample size of 77.

Key words: Problem based learning, Smart tutor, Chatbot, Programming

Introducción

En la actualidad con la llamada era digital, la programación se ha convertido en una habilidad esencial que trasciende las fronteras de las disciplinas tradicionales. Sin embargo, la enseñanza de esta materia presenta desafíos significativos, especialmente en el nivel educativo superior, como es el caso del Tecnológico Nacional de México, Campus Querétaro, específicamente en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales donde los estudiantes enfrentan dificultades para dominar los conceptos básicos de programación.

Lo anterior puede deberse principalmente a que los estudiantes de nuevo ingreso cuentan con pocas habilidades de razonamiento analítico y lógico, así como para la resolución de problemas reales que son competencias esenciales en la programación, a su vez también se observa que se emplean prácticas tradicionales de enseñanza con poca integración de estrategias didácticas activas, aunado a la percepción estudiantil de que la programación es difícil y aburrida, lo cual se aprecia en el aumento de los porcentajes de reprobación y deserción de los estudiantes en la carrera.

Cabe señalar, que aprender programación es un proceso iterativo e incremental que exige un alto nivel de abstracción, la aplicación de técnicas y heurísticas, así como el desarrollo de un estilo de programación basado en buenas prácticas y principios de eficiencia algorítmica [1], por lo que, se requiere desarrollar en los estudiantes un pensamiento computacional que esté vinculado a una forma específica de organizar ideas y representaciones, fomentando el análisis y la organización lógica de procedimientos [2]. Por tanto, es crucial abordar esta problemática mediante el desarrollo de estrategias que fomenten dichas competencias como el aprendizaje basado en problemas (ABP) y el uso continuo de herramientas tecnológicas de la información.

El aprendizaje basado en problemas es una estrategia didáctica en la que los estudiantes construyen su propio conocimiento resolviendo problemas del mundo real [3], lo que la convierte en una metodología adecuada no solo para mejorar las habilidades deductivas relacionadas con la lógica de programación, sino también para facilitarles la adquisición de conocimientos y permitirles un aprendizaje significativo durante su formación académica en la institución, así como, posteriormente su aplicación en el desempeño laboral [4]. Por su parte, las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) ofrecen una solución a este problema en cuanto a que proporcionan acceso a una amplia variedad de recursos educativos para mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje, en particular las aplicaciones generadoras de diálogo como los chatbots, que pueden optimizar la manera en que los estudiantes realizan consultas durante sus actividades académicas [5].

Los chatbots son herramientas de software que permiten acceder a servicios e información interactuando con los usuarios en su lenguaje cotidiano, ya sea mediante

texto o voz [6]. Están diseñados para automatizar conversaciones imitando a un interlocutor humano y pueden integrarse como plataformas en línea, asistentes digitales, o mediante la interacción a través de servicios de mensajería [7].

Actualmente, existen diversas estrategias para desarrollar programas de chatbots, siendo la más aceptada aquellas que utilizan servicios de plataformas que encapsulan la complejidad del procesamiento y ofrecen herramientas de diseño y publicación [5]. Las principales empresas que brindan estos servicios de inteligencia son: Amazon Web Services con Amazon Lex, Google Cloud con Dialogflow, IBM con Watson Assistant, y Microsoft con el Bot Framework. Además, hay otras plataformas destacadas como Rasa, Chatfuel, Tars, Pandorabots, ManyChat y Botsify, que facilitan la creación de chatbots para diversas aplicaciones comerciales.

El uso de los chatbots se ha extendido a diversos ámbitos, siendo este adoptado por empresas de distintos tamaños y sectores para ofrecer interacciones personalizadas en consultas, trámites administrativos, académicos, así como asesorías comerciales simulando conversaciones humanas [8], [9]. Estos sistemas mejoran la eficiencia proporcionando soporte continuo, personalizando la experiencia del usuario, mejorando tiempos de respuesta y manejando tareas repetitivas.

En el ámbito educativo, los chatbots se definen como herramientas diseñadas con objetivos educativos y pedagógicos específicos [10]. Se consideran recursos didácticos porque se integran en sistemas interactivos capaces de enseñar a los estudiantes, asumiendo roles como profesor, facilitador o acompañante mediante un diálogo en lenguaje natural [11], facilitando con estos el logro de los objetivos de aprendizaje establecidos en los estudiantes [10]. En este contexto, los chatbots pueden tener diversas intenciones pedagógicas como: a) herramientas para enseñar contenidos; b) asistentes que facilitan información al estudiantado y que proporcionan detalles de las clases impartidas o exámenes; c) mentores que apoyan a los estudiantes en el desarrollo de competencias [7]. Es decir, los chatbots se emplean como asistentes virtuales de clase, sistemas de tutorías inteligentes, sistemas de compañeros de aprendizaje o como objetos de aprendizaje en diversas plataformas educativas.

Por tanto, entre sus principales aplicaciones se incluye recordar lecciones anteriores, mejorar los métodos de aprendizaje, proporcionar retroalimentación basada en los comentarios recopilados, responder preguntas frecuentes sobre diversos temas [12]. A su vez proporcionan acceso a información, recursos y asistencia en cualquier momento, permitiendo a los estudiantes aprender a su propio ritmo y en su propio horario. Esto es especialmente beneficioso para aquellos estudiantes que prefieren aprender de forma independiente [13]. De igual manera, los sistemas de chatbots en la enseñanza de la programación pueden ayudar a los estudiantes a: desarrollar habilidades de pensamiento computacional, como: la abstracción, el razonamiento inductivo y deductivo, desglosar problemas complejos en partes más pequeñas, formular soluciones representadas mediante algoritmos o series de instrucciones, ofrecer sugerencias y correcciones adaptadas a las necesidades individuales. En este sentido, los chatbots, con su capacidad de proporcionar asistencia e interacción personalizada, así como brindar retroalimentación inmediata, ofrecen una oportunidad única para transformar la enseñanza de la programación en un proceso más dinámico.

Por consiguiente, este trabajo tiene como objetivo analizar las potencialidades de los chatbots mediante el diseño de una estrategia didáctica para la enseñanza de la programación fundamentado en el aprendizaje basado en problemas (ABP).

Metodología

Para llevar a cabo este estudio, se realizó una investigación cuantitativa con un enfoque exploratorio, descriptivo y transversal. La población de estudio estuvo compuesta por 95 estudiantes de diversos semestres del programa de Ingeniería en Sistemas Computacionales, inscritos en las asignaturas de Fundamentos de Programación, Programación Orientada a Objetos y Tópicos Avanzados de Programación durante el periodo de enero a junio de 2024. Se aplicó para determinar el tamaño de la muestra, la fórmula para poblaciones finitas y conocidas, obteniéndose así un total de 77 estudiantes mediante muestreo aleatorio simple, con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%. Para la implementación de la estrategia didáctica, la investigación se dividió en dos etapas:

En la primera etapa se desarrolló una estrategia pedagógica para fomentar el aprendizaje de la programación, la cual se implementó mediante una secuencia didáctica planteando una serie de actividades de aprendizaje utilizando el chatbot como herramienta principal y fundamentada en el aprendizaje basado en problemas.

Mientras que, en la segunda etapa para determinar la percepción de los estudiantes del chatbot como herramienta didáctica en el apoyo del aprendizaje de la programación, se desarrolló y aplicó un cuestionario utilizando una escala de Likert de 5 puntos, conformada de 12 reactivos que se agruparon de acuerdo con cada una de las fases de la propuesta didáctica. La elaboración del cuestionario se realizó en Google Forms, mismo que se les hizo llegar a los estudiantes a través de sus correos institucionales y que permitió la recolección de datos. Una vez recopilada la información se realizó un análisis estadístico descriptivo, para interpretar los resultados. Este análisis permitió tener una comprensión clara del impacto del chatbot como herramienta didáctica y por ende determinar la efectividad de la propuesta pedagógica tomando como base el aprendizaje basado en problemas y el uso del chatbot.

Resultados y discusión

En la primera etapa de este trabajo, como parte de los resultados se desarrolló una propuesta pedagógica fundamentada en el aprendizaje basado en problemas, realizándose una adaptación de cada una de las fases sistemáticas para su implementación. Para ello, se diseñó una guía didáctica con actividades para orientar a los estudiantes en la resolución de problemas, la creación de algoritmos y la codificación en un lenguaje de programación. Esta propuesta está estructurada en cuatro fases metodológicas:

- I. Fase Conceptual. Consiste en presentar los conceptos necesarios para resolver un problema y ejemplificar el proceso de solución por parte del docente, de modo que el estudiante se familiarice con este procedimiento.

- Docente: Presentar problemas de la realidad, define el marco de referencia del problema, ejemplifica el proceso de solución del problema.
 - Estudiante: Identifica los contenidos necesarios para resolver el problema, solicita al chatbot información de los conceptos básicos de programación como: variables, tipo de datos, estructura de control etc. A su vez le pide al chatbot ejemplos de código relevantes que ilustran los conceptos solicitados.
- II. Fase Procedimental. Se resuelve un problema con supervisión del docente, permitiendo al docente clarificar y automatizar el procedimiento de resolución del problema.
- Docente: Proporciona una serie de ejercicios resueltos por el chatbot, una guía y el apoyo necesario para resolver el problema.
 - Estudiante: Analiza las soluciones ofrecidas por el chatbot e identifica los pasos del proceso de solución del problema en cada sección de código.
- III. Fase Autónoma. Se plantean problemas para ser resueltos de manera independiente aplicando el método planteado por el docente.
- Docente: Presenta problemas, proporcionando una guía y el apoyo necesario para resolver el problema.
 - Estudiante: Resuelve problemas planteados, ingresa el código de solución de cada problema en la interfaz de entrada del chatbot, solicita otras alternativas de solución, compara sus respuestas con las ofrecidas por el chatbot, y determina cuál de las soluciones es más eficiente.
- IV. Fase Metacognitiva. Consiste en evaluar los resultados de la solución dada, así como la efectividad del proceso para la solución del problema, tanto a nivel individual como en equipo.
- Docente: Presenta el problema, fomenta el debate y la discusión de soluciones según la estrategia de trabajo colaborativo, resuelve los conflictos de contenido que puedan surgir y proporciona retroalimentación sobre la solución del problema.
 - Estudiante: Resuelve el problema y lo codifica conforme a la metodología enseñada, solicita al chatbot el análisis del código para evaluar el rendimiento del programa requiriendo sugerencias de mejora, solicita otra alternativa de solución del mismo problema para realizar un análisis comparativo de su código contra el proporcionado por el chatbot y evalúa la eficacia en cuanto a las alternativas de solución del problema.
 - Grupo o Equipo de trabajo: En sesión plenaria realiza un análisis comparativo entre su código, el de sus compañeros de grupo o equipo y el generado por el chatbot, identifica de cada código similitudes, diferencias y posibles mejoras para la solución del problema planteado, determinando el código con mayor eficiencia.

En la segunda etapa, para determinar la percepción de los estudiantes sobre el uso del chatbot como herramienta didáctica en el apoyo del aprendizaje de la programación se obtuvieron resultados en cada una de las fases propuestas, las cuales se resumen a continuación:

En la figura 1, se muestran los resultados de la primera y segunda fase de la propuesta didáctica en el proceso de solución de problemas mediante el ABP y el uso del chatbot. En la fase conceptual el 50% los estudiantes manifestaron estar totalmente de acuerdo, en que el chatbot les ayudo a identificar y definir datos necesarios para abordar el problema, un 47% mencionaron estar de acuerdo, mientras un 3% manifestaron no estar en acuerdo ni en desacuerdo. A su vez, el 48% de los estudiantes refirieron estar totalmente de acuerdo en que les fue útil para establecer la relación de los datos en el problema, mientras que un 45% estuvieron de acuerdo, un 5% en desacuerdo y el 3% en totalmente en desacuerdo. Por otro lado, el 45% de los estudiantes manifestaron estar totalmente de acuerdo que el chatbot facilitó la comprensión inicial del problema presentado, mientras que 42 % estuvieron de acuerdo, un 8% ni acuerdo ni en desacuerdo, un 4% en desacuerdo y el 1% en totalmente en desacuerdo.

A su vez, en la fase procedimental el 51% de los estudiantes manifestaron estar totalmente de acuerdo en que el chatbot les facilitó la generación de varias posibles soluciones basadas en la información analizada, mientras que el 47% estuvo de acuerdo, un 1% en desacuerdo y otro 1% en total desacuerdo. De igual manera el 49% de los encuestados estuvieron totalmente de acuerdo en que el chatbot proporcionó orientación clara en la implementación de la solución del problema, el 46% estuvo de acuerdo y un 3% no estuvo de acuerdo ni en desacuerdo, y otro 2% se manifestaron en desacuerdo. De igual manera un 47% de los encuestados estuvieron totalmente de acuerdo que el chatbot les ayudo a analizar la información, mientras que un 45% estuvo de acuerdo, un 3% ni en acuerdo ni en desacuerdo, un 2% en desacuerdo y un 3% en total desacuerdo.

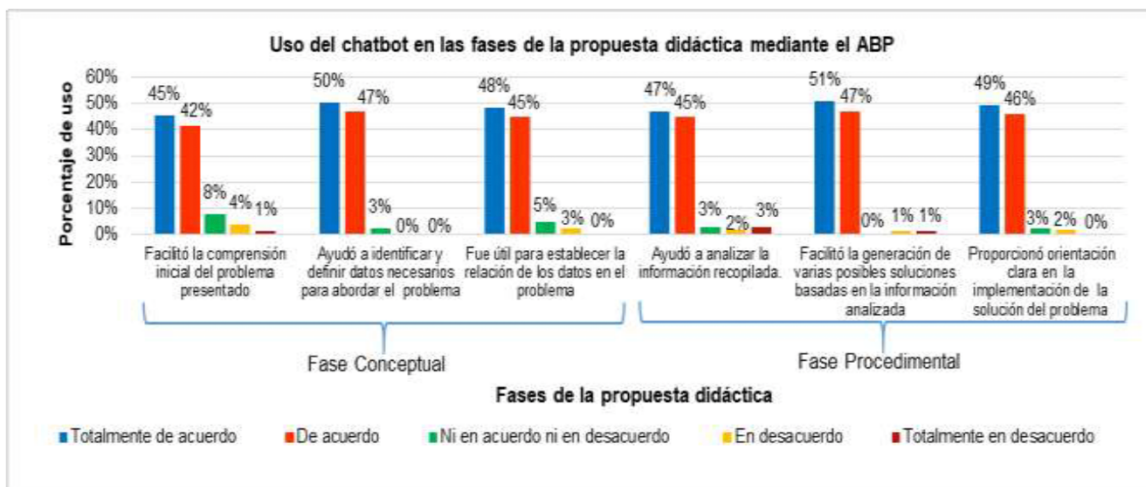


Figura 1. Percepción de uso del chatbot en la fase I y II de la propuesta didáctica mediante el ABP.

Los resultados para la tercera y cuarta fase de la propuesta didáctica usando el chatbot se muestran en la figura 2.

En la fase autónoma un 56% de estudiantes refieren estar totalmente de acuerdo en que el chatbot les proporcionó una guía paso a paso durante la ejecución del plan de solución del problema, el 43% se manifestó en acuerdo, mientras que el 1% no estuvieron en acuerdo ni en desacuerdo. Así mismo, un 48% coincidieron en estar totalmente de acuerdo en que el chatbot les ayudo a entender claramente el enunciado del problema, un 42% mencionó estar de acuerdo, un 6% ni en acuerdo ni en desacuerdo, un 3% en desacuerdo y por último un 1% totalmente en desacuerdo. Por su parte un 53% de los estudiantes encuestados mencionaron estar totalmente de acuerdo en que el chatbot ayudó a verificar si la solución encontrada resolvió el problema planteado, mientras que un 45% declaró estar de acuerdo y solo un 1% manifestó estar en desacuerdo.

Para la fase metacognitiva el 52% de los encuestados manifestaron estar totalmente de acuerdo en que el chatbot les permitió realizar la evaluación de los resultados de la solución implementada y un 48% estuvo de acuerdo. De igual manera, el 49% de los estudiantes estuvieron totalmente de acuerdo de que el chatbot les facilitó el uso eficiente de los datos y conceptos para ejecutar el plan de solución del problema, mientras que un 47% refirió estar de acuerdo y un 4% ni en acuerdo ni en desacuerdo. Así mismo, un 51% de los estudiantes encuestados refirieron estar totalmente de acuerdo en que el chatbot les ayudó a reflexionar sobre el proceso identificando áreas de mejora, un 47% estuvo de acuerdo al respecto, y solo un 3% no estuvo ni en acuerdo ni en desacuerdo.

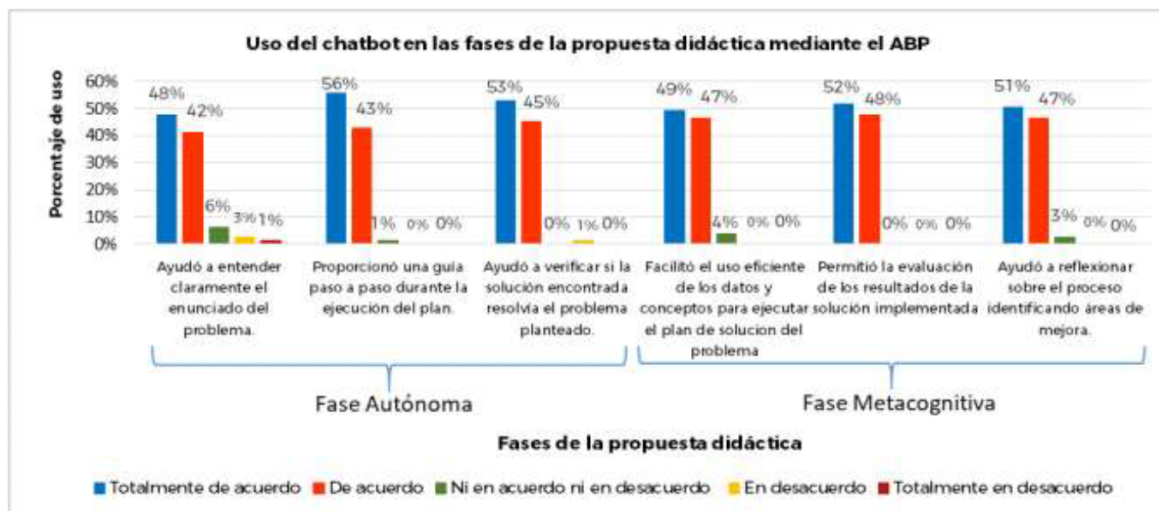


Figura 2. Percepción de uso del chatbot en la fase III y IV de la propuesta didáctica mediante el ABP.

Los resultados obtenidos, demuestran que el uso del chatbot integrado en la secuencia didáctica tuvo un efecto favorable al brindar apoyo durante el proceso de resolución de problemas, resultando en un aprendizaje significativo de la programación. Dado que el uso del chatbot no solo facilitó a los estudiantes una mejor comprensión de los problemas de programación planteados, sino que me permitió reflexionar sobre el proceso y aprender de la experiencia, identificando áreas de mejora en su proceso de aprendizaje

Trabajo a futuro

Como trabajo futuro, es necesario validar la propuesta didáctica mediante la retroalimentación de otros docentes de la misma área de conocimiento, de tal manera que permite ajustar las actividades de acuerdo con las necesidades de los estudiantes y optimizar la aplicación del aprendizaje basado en problemas, con el objetivo de lograr la competencia de la programación y asegurar la implementación del uso del chatbot como herramienta o recurso didáctico, eficiente y favorable en el proceso de enseñanza aprendizaje.

Además, se requiere un estudio longitudinal para evaluar a largo plazo el impacto de la propuesta didáctica mediante el aprendizaje basado en problemas y el uso del chatbot en el rendimiento académico de los estudiantes en la programación. Este tipo de estudio proporcionará datos valiosos sobre como la integración del chatbot afectará el progreso de los estudiantes a lo largo del tiempo no solo dentro del marco del aprendizaje basado en problemas, sino también en la aplicación de cualquier otra estrategia de aprendizaje. Permitiendo ajustar y perfeccionar continuamente las actividades en cada una de las fases de la propuesta didáctica haciendo uso del chatbot para maximizar su efectividad y asegurar que los estudiantes no solo aprendan a programar, sino que también desarrollen habilidades críticas de resolución de problemas.

Así mismo, sería útil realizar un estudio de tipo experimental comparando las estrategias de enseñanza tradicional con el uso del chatbot, mediante dos grupos de control para obtener datos concretos sobre los índices de reprobación y verificar la eficacia de la estrategia didáctica con el uso chatbot. Este estudio comparativo puede ofrecer una visión clara sobre las ventajas y posibles limitaciones del uso de chatbots en la enseñanza de la programación, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones sobre la incorporación de estas tecnologías en el currículo educativo.

Conclusiones

La integración de los chatbots en la enseñanza de la programación a través del aprendizaje basado en problemas ha demostrado hasta el momento de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación ser una estrategia efectiva para mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje, dado que no solo facilitan la comprensión y aplicación de conceptos complejos, sino que también brindan apoyo constante y personalizado a los estudiantes, fomentando un aprendizaje más autónomo y activo, permitiendo a los estudiantes enfrentar y resolver problemas de programación de manera más eficiente. También han mostrado un impacto positivo en la motivación y el compromiso de los estudiantes, aspectos que son esenciales para el éxito académico y la retención del conocimiento.

Es importante señalar que a medida que la tecnología continúa avanzando, se debe seguir explorando y perfeccionando en este tipo de herramientas inteligentes para maximizar su potencial en el área educativa y garantizar que los estudiantes desarrollen las competencias necesarias para su éxito profesional. Esto implica no solo el desarrollo de chatbots más sofisticados y adaptativos, sino también la capacitación de los docentes

en el uso de estas tecnologías y la integración de metodologías pedagógicas innovadoras que aprovechen al máximo sus capacidades.

Para implementar de manera efectiva el uso de los chatbots en la educación, es crucial un compromiso institucional que proporcione los recursos necesarios y fomente una cultura de adaptación tecnológica. Esto incluye invertir en infraestructura tecnológica, para crear contenidos educativos específicos y establecer políticas que promuevan la integración de tecnologías emergentes en el currículo. La colaboración entre instituciones educativas, desarrolladores de tecnología y expertos en pedagogía es esencial para garantizar que los chatbots no solo complementen, sino también enriquezcan el proceso de enseñanza y aprendizaje, pudiendo lograr un entorno educativo más dinámico, inclusivo y preparado para las necesidades futuras de conocimiento. Dado que las generaciones actuales se encuentran familiarizadas con el uso de los chatbots para buscar información y resolver problemas de cualquier índole, es por ello que se debe aprovechar el potencial que ofrece el chatbot para favorecer la adquisición del conocimiento.

Referencias

- [1] M. Mac Gaul, E.F. Fernández y M.F. López, "Hacia un modelo de tutoría inteligente en el campo de la programación," I Simposio Argentino de Educación en Informática (SAEI 2019)-JAIIO 48, pp. 85-95, 2019, <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/88805>
- [2] J. Acevedo Borrega, "El pensamiento computacional en la educación obligatoria. Una revisión sistemática de la literatura", Tesis de Maestría, Universidad de Extremadura, España, 2017, <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/handle/11162/172763>
- [3] T. Cuadros, M. Estrada y R. Hernández, (2019). "Aprendizaje Basado en Problema como alternativa para mejorar la enseñanza de la ciencias en secundaria", Conisen, pp. 1-11, 2019, <https://www.antiguo.conisen.mx/memorias2019/memorias/2/P524.pdf>
- [4] N.L. Quintanar, L.L. Fernández, M. C. Frías, M.E. Montes y M.L. Montes, "Desarrollo de habilidades para resolución de problemáticas estudiantiles en licenciatura basados en objetos de aprendizaje," Journal CIM, vol. 9. no.1, pp. 1746-1752, 2021, http://orizaba.tecnm.mx/cim/Journals/2021_Journal_CIM.pdf
- [5] O. Ayala Cadena y I. Aguilar Juárez, "La enseñanza de la programación mediante software educativo especializado y los agentes conversacionales", Interfases, vol. 17, no. 017, pp. 170-186, 2023, <https://doi.org/10.26439/interfases2023.n017.6337>
- [6] P. Brandtzaeg and B. Folstad, "Chatbots: Changing user needs and motivations," Interactions, vol. 25, no.5, pp.38 - 43, 2018, https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/256016_3/interactions_changing+user+needs_preprint.pdf?sequence=4
- [7] S. Wollny, J. Schneider, D. Di Mitri, J. Weidlich, M. Rittberger, and H. Drachsler, "Are we there yet? A systematic literature review on chatbots in education", Frontiers in artificial intelligence, 4, 2021, doi: <https://doi.org/10.3389/frai.2021.65492>
- [8] G. Caldarini, S. Jaf, and K. McGarry, "A literature survey of recent advances in chatbots. Information," vol. 13, no.41, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/info13010041>
- [9] J.A. Ogosi Auqui, "Chatbot del proceso de aprendizaje universitario: Una revisión sistemática," Alpha Centauri, vol. 2, no. 2, pp. 29-43, 2021, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8092584>

- [10] J. Riel, "Essential features and critical issues with educational chatbots: toward personalized learning via digital agents," IGI Global, pp. 246-262, 2019, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3361302
- [11] S. Tamayo y D. Pérez-Marin, "¿Qué esperan los maestros de los Agentes Conversacionales Pedagógicos?," Education in the Knowledge Society (EKS), vol. 18, pp. 59-85, 2017, <https://doi.org/10.14201/eks20171835985>
- [12] H. Ho Thao et al., "Asistentes inteligentes en entornos de educación superior: FIT-EBot, un chatbot para apoyo administrativo y de aprendizaje". Actas del 9.º Simposio internacional sobre tecnología de la información y la comunicación, pp.69-76, 2018, <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3287921.3287937>
- [13] P. Dúo Terrón. "Chatbots en educación". Espiral. <https://ciberespiral.org/es/nuevos-sistemas-conversacionales-chatbots-en-educacion/> (acceso: 04 de julio de 2024)

IMPLEMENTACIÓN DE CRIPTOGRAFÍA ASIMÉTRICA DE FIRMA ELECTRÓNICA MEDIANTE SISTEMA WEB

Viramontes Rodríguez Luis Alfonso^{1*}, García Castañón Alfredo², Torres Hernández Luis Eduardo³,
Márquez Martínez Luis Enrique⁴, Reyes Rodríguez José Antonio⁵

¹Instituto Tecnológico de Zacatecas, alfredo.garcia@itz.edu.mx, ²Instituto Tecnológico de Zacatecas,
alfredo.garcia@zacatecas.tecnm.mx, ³Instituto Tecnológico de Zacatecas,
luis.torres@zacatecas.tecnm.mx, ⁴Instituto Tecnológico de Zacatecas,
luisse.mm@zacatecas.tecnm.mx, ⁵Instituto Tecnológico de Zacatecas, jose.rr@zacatecas.tecnm.mx

Área de participación: **Sistemas Computacionales**

Resumen

Los sistemas de información han cambiado de manera significativa el proceso de validar y autenticar documentos electrónicos directamente con el firmante. La firma electrónica es un concepto legal, que equivale electrónicamente al de la firma manuscrita, donde una persona física o moral acepta y da por validado el contenido de un mensaje o documento electrónico a través de cualquier medio digital que sea legítimo y permitido según las leyes de cada estado o país, sustituyendo así los mecanismos de firma autógrafa que han prevalecido por años. En la presente investigación se muestra la implementación de un sistema web de firma electrónica de documentos, analizando distintos tipos de procesos, modelos y algoritmos criptográficos asimétricos para la correcta operación del mismo y así poder garantizar aspectos de seguridad y confidencialidad de los datos.

Palabras clave: *Firma electrónica, Criptografía, Criptografía Asimétrica, Algoritmos de encriptación.*

Abstract

Information systems have significantly changed the process of validating and authenticating electronic documents directly with the signer. The electronic signature is a legal concept, which is electronically equivalent to that of the handwritten signature, where a natural or legal person accepts and validates the content of an electronic message or document through any digital means that is legitimate and permitted according to the laws of each state or country, thus replacing the handwritten signature mechanisms that have prevailed for years. This research shows the implementation of a web system for electronic signature of documents, analyzing different types of processes, models and asymmetric cryptographic algorithms for its correct operation and thus being able to guarantee aspects of security and confidentiality of the data.

Key words: *Electronic signature, Cryptography, Asymmetric Cryptography, Encryption algorithms.*

Introducción

La transformación digital ha cambiado la dinámica del mundo de los negocios, la mayoría de las empresas necesitan adaptarse para ganar mayor cuota de mercado. Y en este crecimiento de nuevas

tecnologías existe una que es fundamental para incrementar la productividad como lo es la firma electrónica.

Con la implementación de un sistema web, es posible firmar contratos en línea, legalmente vinculantes, sin imprimir en papel o tomar un bolígrafo, obteniendo resultados tales como mayor aumento en la rentabilidad, productividad, adaptabilidad y escalabilidad en un mercado en constante desarrollo. Es por ello que la firma electrónica se ha vuelto imprescindible para muchas empresas aumentando su productividad en México [1] hasta en un 25% implementando estas herramientas en su flujo de trabajo.

Según la ley de firma electrónica avanzada, se define como el conjunto de datos y caracteres que permiten la identificación del firmante, que ha sido creada por medios electrónicos bajo su control exclusivo, de manera que está vinculada únicamente al mismo y a los datos a los que se refiere, lo que permite que sea detectable cualquier modificación interior de éstos, la cual produce los mismos efectos jurídicos que la firma autógrafa [2], en consecuencia, tendrán el mismo valor probatorio que las disposiciones legales que se otorguen a éstos. Se debe entender que dentro de la firma electrónica se realiza un proceso de encriptación de la información que se desea enviar o firmar según sea el caso, pero no es con el fin de ocultar los datos, sino garantizar la identidad del emisor.

Marco Teórico

2.1 Criptografía

La criptografía es una disciplina que hace uso de métodos y técnicas [3] con el objetivo principal de codificar y proteger un conjunto de datos mediante el uso de algoritmos. La protección de datos, se ha convertido en una tarea indispensable para las operaciones que se realizan en internet, esto debido al crecimiento y auge de sistemas y aplicaciones web. Sin el uso de algoritmos criptográficos la información que viaja en la red, sería vulnerable a ataques y robo de información. Es por ello, que la mayoría de los datos que recorren el internet se encuentran cifrados, pero esto no garantiza que estén totalmente seguros, por lo que es necesario implementar infraestructuras de políticas, recursos de hardware y software para asegurar altos niveles de certeza y confiabilidad para los usuarios.

2.2 Tipos de algoritmos criptográficos

Un algoritmo criptográfico es aquel que partiendo de un documento original o un conjunto de datos aplica un algoritmo que utiliza una clave secreta como argumento [4], con el objetivo de obtener características de seguridad, existen dos tipos de algoritmos de cifrado, algoritmo asimétrico o de clave pública y algoritmo simétrico o de clave secreta.

2.3 Criptografía Simétrica

La criptografía simétrica se define como el conjunto de técnicas y algoritmos para descifrar y encriptar un conjunto de datos [5]. Son grupos de algoritmos distintos que se relacionan unos con otros para mantener la conexión confidencial de la información, algunas características de este tipo de cifrado son las siguientes:

- A partir del mensaje o documento cifrado no se puede obtener el mensaje original ni la clave secreta que se ha utilizado, aunque se conozcan todos los detalles del algoritmo criptográfico.
- Utiliza la misma clave para cifrar el mensaje original que para descifrar el mensaje codificado.
- Emisor y receptor deben haber acordado una clave común por medio de un canal de comunicación confidencial antes de poder intercambiar información.

En la figura 1 se muestra un ejemplo del uso de criptografía simétrica donde el mensaje original “Hola alumnos del ITZ” se cifra mediante una clave conocida por todos los interlocutores, y como resultado arroja en conjunto de caracteres, que se enviarán mediante un canal de combinación inseguro, como resultado el destinatario podrá descodificar el mensaje mediante la clave que el remitente debió proporcionar.

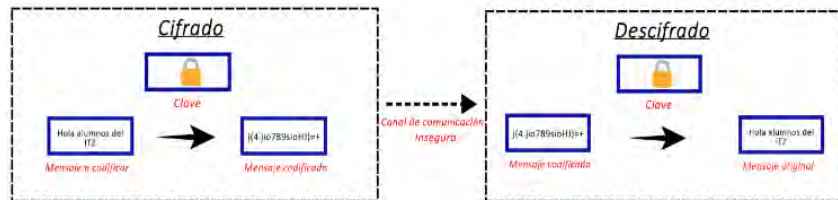


Figura 1. Ejemplo del uso de criptografía simétrica. Fuente propia.

2.4 Criptografía asimétrica

El método criptográfico asimétrico [6] utiliza dos claves, clave privada de uso exclusivo del usuario, esta clave permitirá cifrar y descifrar mensajes de manera completamente segura, la segunda clave se denomina clave pública, la cual es un clave que el usuario puede compartir a terceras personas, el funcionamiento de este método dependerá del origen del mensaje, por ejemplo si el usuario con la clave pública cifra un mensaje, solamente el usuario con la llave privada podrá descifrar dicho mensaje, en cambio si el usuario con su llave privada cifra un mensaje, solamente aquellas personas que haya proporcionado su clave pública podrán descifrar el mensaje, es extremadamente difícil que lo descifre alguien salvo el destinatario. En la figura 2 se observa el uso de la criptográfica asimétrica.

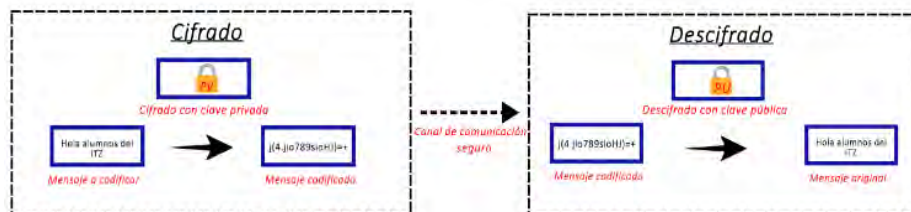


Figura 2. Ejemplo del uso de criptografía asimétrica. Fuente propia.

Los métodos criptográficos garantizan que cada pareja de llaves sólo se puede generar una vez, de modo que no es posible que dos personas obtengan la misma pareja de llaves, todo el proceso de cifrado asimétrico se considera el núcleo de la firma electrónica digital.

2.5 Análisis comparativo de tipos de criptografía

Una vez que se conocen los dos tipos de criptografía se realizó la siguiente tabla comparativa [7], para analizar los principales atributos y diferencias de los tipos de cifrado, se observa que los algoritmos asimétricos están enfocados a firmas digitales esto debido al grado de complejidad, seguridad y longitud de claves que se aplican, en cambio el cifrado simétrico es utilizado principalmente en grandes volúmenes de datos como se muestra en la tabla 1.

Tabla1. Análisis comparativo de tipos de criptografía. Fuente propia.

Atributo	Clave simétrica	Clave asimétrica
Años en uso	Mas de 50 años	Menos de 50 años
Velocidad	Rápida	Lenta
Uso principal	Cifrado de grandes volúmenes de datos	Intercambio de Claves y Firma digital
Claves	Compartidas entre el emisor y receptor	Privada; sólo conocida por 1 persona, Pública: conocida por todos
Intercambio de claves	Difícil de intercambiar por un canal inseguro	La Clave pública se comparte por cualquier canal. La privada nunca se comparte
Longitud de claves	56 bits (Vulnerable) 256 bits(seguro)	1024 bits mínimo
Algoritmos	DES, 3DES, Blowfish, IDEA, AES	RSA, DSA, ElGamal
Servicio de seguridad	Confidencialidad Integridad Autenticación	Confidencialidad Integridad Autenticación No repudio

2.6 Tipos de algoritmos criptográficos

Los algoritmos simétricos están enfocados en el cifrado de grandes volúmenes de datos [8], en caso contrario la aplicación de los algoritmos asimétricos se enfoca principalmente en firmas digitales e intercambio de claves mediante un canal seguro como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Análisis comparativo de algoritmos simétricos y asimétricos. Fuente propia.

Algoritmo	Fecha de creación	Tipo de Encriptación	Longitud de claves	Estructura o modelo	Velocidad	Seguridad	Actualmente se utiliza	Recursos necesarios de hardware
RSA	1977	Asimétrica	1024-2048 bits	Llave pública	Lento	Seguro	SI	Alto
DSA	1991	Asimétrica	2048 bits	Llave pública	Lento	Seguro	SI	Medio
EdSA	2011	Asimétrica			Rápido		SI	
ElGamal	1984	Asimétrica	1024 bits	Llave pública	Lento	Seguro	SI	Bajo
DES	1976	Simétrica	56 bits a 64	-	Lento	Inseguro	NO	
ECC	1985	Asimétrica	3072 bits	Llave pública	Lento	Seguro	SI	Bajo
AES	1997	Simétrica	128 bits		Rápido	Seguro	SI	

2.7 Funciones Hash

Es un proceso criptográfico el cual se realiza sobre un conjunto de datos de determinado tamaño [9], que nos regresa como resultado otro conjunto de datos que se le llama digest o resumen de los datos originales, que a diferencia de los algoritmos de cifrado simétricos, el resultado del proceso es de un tamaño fijo independiente del tamaño original, de tal forma que tiene la característica de encontrarse asociado unívocamente a los datos iniciales, con este proceso es prácticamente imposible encontrar dos mensajes que tengan el mismo hash, como se muestra en la figura 3.

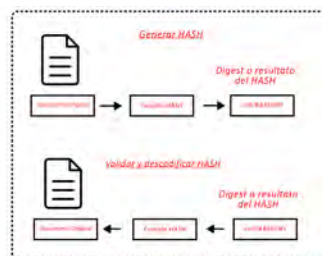


Figura 3. Ejemplo de una función Hash. Fuente propia

2.8 Firma electrónica digital

Método criptográfico que asocia la identidad de una persona a un mensaje, documento o dato [10], la firma electrónica digital se utiliza con el principal objetivo de garantizar la integridad del documento o mensaje que se desea firmar, mientras no se comprometa la llave privada del firmante, es prácticamente imposible falsificar una firma electrónica digital, en la Figura número 4 se puede observar el proceso de firma electrónica digital.

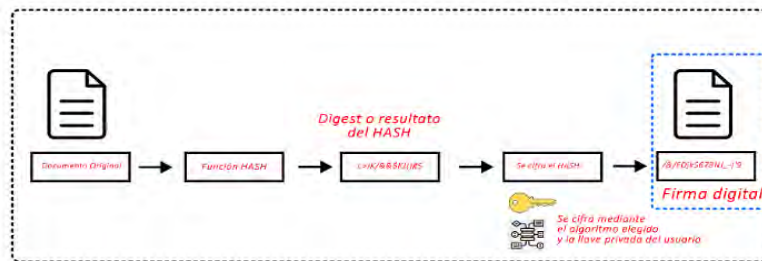


Figura 4. Firma electrónica digital

Metodología

3.1 Tipos de algoritmo de cifrado

En la presente metodología se implementó una investigación descriptiva con el fin de estudiar las técnicas y modelos basados en la criptografía asimétrica [11], el objetivo principal es analizar, comprender y demostrar cuales son los algoritmos y técnicas más efectivas en la protección, integridad y no repudio de la información. Se analizaron los siguientes factores: algoritmo y curva de cifrado o curva elíptica, longitud de claves, intercambio de claves, años en uso, velocidad y métodos de propagación de confianza. Una vez analizados los tipos de algoritmos criptográficos se procede a la generación de claves en el cifrado de clave pública, se utilizan dos claves, privada y pública de forma enlazada en parejas de claves que se encargan de una función específica para que el sistema criptográfico funcione de manera correcta. Si la llave pública es utilizada para cifrar datos, la correspondiente llave privada es la única que se podrá utilizar para descifrarlos como se muestra en la figura 5.

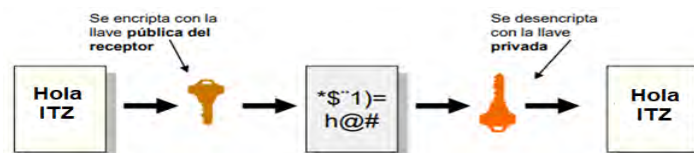


Figura 5. Llave privada y llave pública. Fuente propia.

Una vez realizado este proceso se puede concluir que se garantiza la identidad del emisor y autenticidad del mensaje. Sin embargo, existe un inconveniente como se demuestra en la Tabla 1, donde la principal desventaja de utilizar el algoritmo de clave pública RSA es su lentitud, ya que el algoritmo crece con el tamaño de mensaje a cifrar. Después de seleccionar el algoritmo criptográfico se analizó el funcionamiento de las llaves privadas, públicas y funciones hash, se procede a firmar un documento el cual junto con todos los procesos anteriores se puede realizar el proceso de firmado, en cual se define como el método criptográfico que asocia la identidad de una persona a un mensaje, documento o dato, la firma electrónica digital se utiliza con el principal objetivo de garantizar la integridad del documento o mensaje que se desea firmar, mientras no se comprometa la llave

privada del firmante, es prácticamente imposible falsificar una firma electrónica digital, en la figura 6 se muestra el proceso de firma electrónica digital.

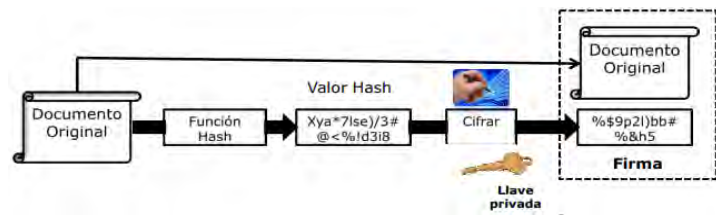


Figura 6. Firma electrónica de un documento. Fuente propia.

La eficacia de las operaciones de cifrado y firma electrónica basadas en criptografía de llave pública se fundamenta en tener certeza que la llave privada de una persona únicamente es conocida por ella. Cualquier individuo o institución pública puede generar un certificado digital y disponer a fungir como autoridad certificadora, por lo que si el emisor no es reconocido por quienes interactúen con el propietario del certificado, el valor del mismo es prácticamente nulo. Por ello, los emisores de certificados de seguridad deben acreditarse mediante el proceso por el cual la entidad reconocida, generalmente pública, otorga validez a la institución certificadora, de forma que su firma pueda ser reconocida como fiable, transmitiendo esa fiabilidad a los certificados que emite, para lo cual se aplican una serie de procesos para autenticar a las autoridades certificadoras como se muestra en la figura 7.

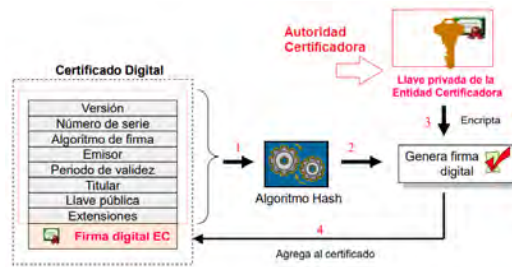


Figura 7. Componentes principales de un Certificado de Seguridad. Fuente propia.

Una vez validada la identidad de la persona se podrán generar las llaves privadas, llaves públicas y certificado de seguridad del solicitante. La emisión se realizará en forma descentralizada a través de “Entidad de Registro” que será la encargada de verificar la identidad de los titulares o solicitantes. La entidad de registro será la responsable de registrar las peticiones que hagan los usuarios para obtener un certificado de seguridad y llaves privada y pública para comprobar la veracidad de los datos que aportan los usuarios en las solicitudes para ser enviadas a una ER y que sean procesadas como se muestra en la figura 8.



Figura 8. Entidad de registro. Fuente propia.

El proceso para el firmado de documentos comprende los siguientes pasos:

- Elegir un documento o conjunto de datos a firmar.
- Validar identidad del firmante mediante el Certificado de Seguridad.

- Aplicar función Hash al documento como se muestra en la figura 9.

```
>J$ie{0@}
it#0-9a,ŠiXSİ4ÄÜk;İ Hiv_0*#SDF-\\AE> 3-ÿ@nje}eR0Ü3Ü%iv°5+Vli^p;-µFİİj;äMáÜ{-~
ÄÄé'>xz#3Şİ-i#4ágovú0İaú0r#ÜÄÜD:XA;#öyİEB>ÓeäuİHf:İ:İ)D)#x_""p#fy7İæ:C‡
•üa[LÆÜC<#soyaüZ]3İyp&|Ax>ÈgIX-+*ÜÖNİ#e#İ#YİFİ#Vä[ 'pRX]Ö"JQ0<z#D-ê- iÄy8İH+1İdİs<İŞŞµk1 "Öp0âB/È_>XB-@8İ
şyNâkRæzİ./_ÜXbs'^%":zM
```

Figura 9. Digest o resumen de datos resultante. Fuente propia.

El resultado codificado anexará al documento un código QR de validación para verificar el contenido de la firma electrónica como se puede observar en la figura 10 y le permitirá al usuario descargar un archivo comprimido zip el cual contendrá la firma electrónica emitida, el documento original, el documento con la firma incrustada, y un archivo XML con la información del documento y datos del firmante.

Fecha y hora de la firma: 2021-12-14 12:02:44
 Firmante: CAROLINA DE LA LUZ GONZALEZ LUNA
 Número de Folio: 525
 Clave alfanumérica : atb7LPeRpxOGsXiwu4VoFM1vUWQ2Z
 Email : carolina.gonzalez@triazac.gob.mx
 Función : SECRETARIA GENERAL DE ACUERDOS

Firma:
 Q1YXXyAjqc0L1pd549RMpMj/mK1cy3l2nzb3ufpV6dz0dOEKc+2YZe7RssqzNEEn19Yjb2/CNtq3lszxOGQBUİ
 5f/pİ8OcAxİFijoleY9kH1c+5Dy7vPNkErXSBYQ9TpCELWhNeh+AR2KfVu7ZZUDx2+gw73EgEXck3e060W2fV
 YgwRNeNz4nsZimbV0X02muHG5CbTkwSM7İbzchxyİ6GXNfTTDwİLmZesmLuhP00c8UBŞİYYSX7zy9WJ1
 6Zyh3aR5w9BnPGxKz7yCİlmc3K6Yz+N8İnCM0TmMEY4E69Sc9wSM6mRszPDIKQSNz5+ACzEkwV
 8FZkyJQubJ5r20D7XbXvİR0BRT3M1Mgb8zeUdrVWUjv9uKZ00eZDU8YTYTPE1X6U+ej3GJİXC06xTIAI
 BrUaAZSwZaSwZk+8crgXWRJvİEay1CVXR8s8cUBzİgmİDrCNİS5nBGrRoah/r++0L5Qj97W3XNO1fhx0zv3c
 ERSXİ8LsT8ymUy8PQİnNem1İL+qAy1VANKVLN4KkLw5JskSrP4H96YzWERIL20yQhMp3vE1N/RwLvgY3
 CqLWEW0Fgm6Hc0pTZFBYU1K8sVİBnzBİPujhYVYvYs
 Algoritmo de firmado: SHA256, resultado codificado en Base64.



Figura 10. Ejemplo del resumen de datos en Base 64. Fuente propia.

El siguiente paso será aplicar una función hash al documento original lo cual arrojará un resultado al cual llamaremos resumen de datos 2 o digest 2. Si los resúmenes de datos son iguales, la firma electrónica es válida y el documento no ha sido alterado o modificado, en caso de que los resúmenes de datos no coincidan la firma electrónica no será válida y es probable que el documento haya sido alterado o modificado. En la figura 11, se puede ver un ejemplo de verificación de firma electrónica:



Figura 11. Ejemplo de una verificación de firma electrónica. Fuente propia.

3.2 Implementar una infraestructura de clave pública o PKI

Se realizó la implementación de la estructura de hardware y software en Amazon Elastic Compute Cloud EC2, que permite alquilar una computadora virtual con sistema operativo Ubuntu y los servicios de DNS con Amazon Route y equilibrio de carga que se utiliza para distribuir automáticamente el tráfico entrante entre varios destinos y un servidor de correo que permita enviar correos desde la aplicación a los usuarios.

Resultados

El rendimiento de estos algoritmos criptográficos se basa en: estructura, clave longitud, tamaño del bloque, número de rondas utilizadas y tiempo criptográfico. En última instancia, estos son los factores que afectan la seguridad de un algoritmo en particular, el tamaño del bloque juega un papel vital en el cifrado y descifrado, que es la unidad básica de datos.

4.1 Implementación del sistema

A continuación, se presenta el funcionamiento del sistema web de firma electrónica para documentos mediante criptografía asimétrica que cuenta con una interfaz amigable para el usuario, como se muestra en la figura 12.

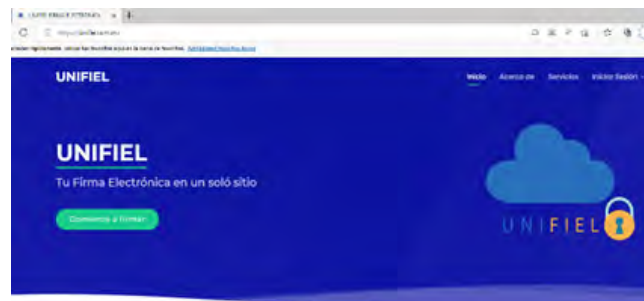


Figura 12. UNIFIEL. Fuente propia.

4.2 Registro de usuarios

Para hacer uso del sistema, una vez realizado el registro llegará una confirmación de email para activar la cuenta, el usuario deberá ingresar datos y documentos para validar su cuenta y hacer uso de las funciones criptográficas, como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Registro de usuarios. Fuente propia.

Creación de llave privada y llave publica

Para generar el par de llaves pública y privada, se deberá seleccionar el tipo de función hash, el tamaño de clave bits y el tipo de algoritmo para cifrar el par de llaves como se muestra en la figura 14.



Figura 14. Creación de llave privada y llave publica

4.3 Encriptar mensajes

Una vez que se tenga la pareja de llaves se podrá hacer uso de las funciones de encriptar y descryptar datos, el proceso para encriptar mensajes consistirá en cargar la llave publica del usuario, y se ingresará el mensaje o conjunto de datos a cifrar, una vez que se carguen los datos, se presiona sobre el botón de encriptar como se muestra en la figura 15.

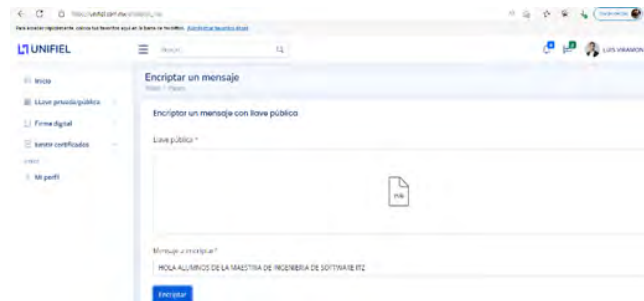


Figura 15. Encriptar mensaje (fuente propia)

Si el sistema no arroja error se descarga automáticamente el mensaje cifrado como se muestra en la figura 16.

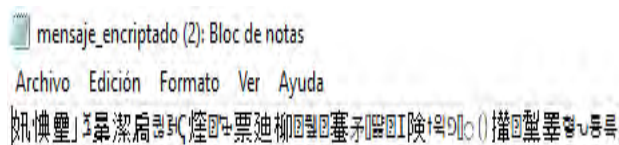


Figura 16. Mensaje codificado. Fuente propia.

4.4 Descryptar mensaje con llave privada

Para poder visualizar el mensaje, el usuario deberá cargar su llave privada y el mensaje codificado, una vez realizado este paso, simplemente seleccionara la opción de descryptar y si la llave privada coincide con la llave publica que fue cifrado dicho mensaje, el sistema descargará automáticamente el mensaje descifrado como se puede observar en figura 17.

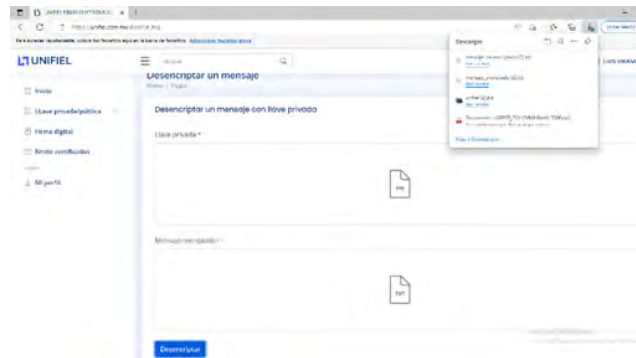


Figura 17. Desencriptar mensaje. Fuente propia.

4.5 Firma digital

Para poder realizar firmas digitales el usuario deberá cargar su llave privada y el documento a firmar, puede ser cualquier archivo de texto, una vez realizado este paso selecciona la opción de firmar y se genera un archivo comprimido como se muestra en la figura 18.

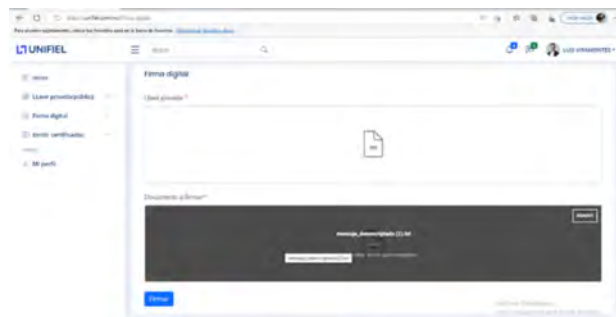


Figura 18. Generar firma digital (fuente propia)

4.6 Verificación de firma

Para verificar que dicha firma corresponde con el documento, el proceso de validación de firma consiste en cargar la llave pública del usuario, el documento original que se firmó y la firma que anteriormente descargó el sistema se selecciona la opción de validar, si la firma coincide con el documento mostrará un mensaje donde la firma corresponde con el documento como se muestra en la figura 19

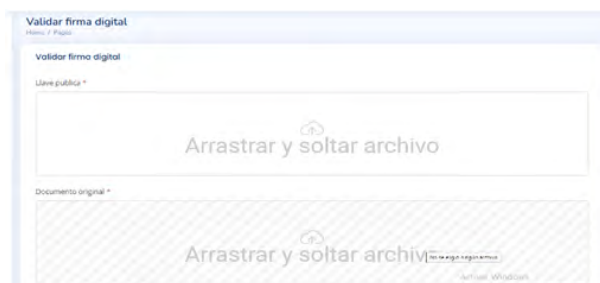


Figura 19. Validar firma digital. Fuente propia.

Conclusiones

Después de haber analizado diferentes trabajos relacionados con el tema, se pudo definir que los beneficios de implementar una herramienta tecnológica como lo es la firma electrónica son innumerables ya que agiliza los procesos de las organizaciones, permitiendo no tener que estar presente físicamente para poder firmar un documento, esto contribuye al cuidado del medio ambiente al no utilizar papel, garantizando la integridad, protección y fiabilidad de todos los datos que cuenten con firma electrónica que las disposiciones legales les otorgan.

Referencias

- [1] M. Morales, "Firmas digitales en México: conceptos, oportunidades y desafíos". 2022.
- [2] Unión, C. D. Ley de firma electrónica avanzada. Obtenido de cámara de diputados del H. Congreso de la unión: https://www.diputados.gob.mx/leyesbiblio/pdf/LFEA_200521.pdf. 20/05/2021.
- [3] R.D. Velasco. Criptografía, una necesidad moderna. Revista Digital Universitaria, vol. 9. 2006.
- [4] Sánchez Muñiz. "Analysis of modern cryptographic algorithms and their effectiveness in protecting personal data". 2023.
- [5] A.D. Hering & J.P. Espinoza. "Uso de la criptografía simétrica para la comunicación de mensajes cortos en dispositivos móviles. COMTEL", 5. 2014.
- [6] T. Cisneros, V. T., & Hernández. "Análisis Comparativo de Cifrado Asimétrico algoritmos RSA y elgamal". Revista de Sistemas Computacionales y TIC's, Vol 8. 2017.
- [7] L. Centellas. "Comparative study of the symmetric cryptography algorithms AES, 3DES and ChaCha20". 2022.
- [8] L. Espinoza. Light cryptography algorithms for security applications in electronic clinical records. 2019.
- [9] V. Valenzuela, "Manual Análisis de Algoritmos". [Online]. Available: http://colabora.inacap.cl/sedes/ssur/Asignatura%20Introduccion%20a%20la%20Programacion/An%C3%A1lisis%20de%20Algoritmo/Manual-Analisis%20de%20Algoritmos_v1.pdf. 05/05/2023.
- [10] F. Morales-Sánchez. "Validez de la prueba electrónica: un estudio sobre la firma digital y electrónica". Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Derecho. Bogotá, Colombia. 2016.
- [11] F. Penares. "Estudio y caracterización de los diferentes modelos de algoritmos de encriptación". 2022.

ANÁLISIS DE LA ENSEÑANZA DEL SISTEMA DE REFERENCIA CARTESIANO

Wilmar Epifanio Gómez Moyano¹, José Andrés castillo Hernández²

¹Universidad Americana de Europa, wilmargomez12@gmail.com,

²Padrón Veracruzano de Investigadores, doctor_andres_castillo@acta.es

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

Un rastreo de los resultados evaluativos en matemáticas para Colombia según PISA (2018), demuestran que solamente el 1% de los estudiantes, logran un nivel superior y alcanza a representar una situación simple. Es clave analizar en el campo de la enseñanza cómo se desarrollan y enseñan conceptos en relación con los sistemas de referencia, específicamente el cartesiano. El problema se afronta desde la pregunta ¿el sistema de referencia cartesiano que se enseña en secundaria está acorde al desempeño esperado del nivel de competencia que los alumnos deben alcanzar? Se realiza una revisión de literatura teniendo en cuenta tres aspectos: las situaciones en contexto dentro de la didáctica de la matemática; el tipo de competencia matemática y la enseñanza de sistemas de coordenadas. El diseño metodológico parte de una investigación experimental, con hipótesis de investigación y objetivo general.

Palabras clave: contexto, cartesiano, competencia, geometría

Abstract

A tracking of the evaluative results in mathematics for Colombia according to PISA (2018), shows that only 1% of the students achieve a higher level and manage to represent a simple situation. It is key to analyze in the field of teaching how concepts are developed and taught in relation to reference systems, specifically the Cartesian one. The problem is faced from the question: is the Cartesian reference system that is taught in secondary school consistent with the expected performance of the level of competence that students must achieve? A literature review is carried out taking into account three aspects: situations in context within the didactics of mathematics; the type of mathematical competence and the teaching of coordinate systems. The methodological design is based on an experimental investigation, with research hypotheses and general objective.

Key words: context, cartesian, competence, geometry

Introducción

Se puede establecer que existen ciertas problemáticas en la educación actual, que se evidencian en los resultados que provee en Colombia el Instituto para la Evaluación de la Calidad de la Educación (ICFES), y el análisis de los resultados de las pruebas aplicadas por el Programa Internacional de Evaluación de los Alumnos (PISA) durante los periodos 2006, 2009, 2012, 2015 y 2018 donde Colombia obtuvo los promedios más bajos en matemáticas. La prueba PISA evalúa y mide el desempeño en el nivel de competencia de los alumnos para resolver los problemas con éxito. Para evaluar esto PISA tiene en cuenta tres dimensiones:

- El contenido matemático que el estudiante debe saber para poder solucionar un problema.
- El contexto donde se localiza el problema
- Las competencias o procesos cognitivos que el estudiante necesita para relacionar el contexto del mundo real con los formalismos de las matemáticas y luego dar solución al problema.

Estas dimensiones permiten establecer que hay falencias en torno a cómo el estudiante se apropia de un concepto, de la asimilación de los contenidos matemáticos en el aula, la contextualización y la capacidad de solucionar problemas. En el mismo sentido se registran falencias en el logro del nivel de competencia en matemáticas, estableciendo que los resultados se ubican en el desempeño inferior y no alcanzan los niveles de modelización de problemas [1].

Una visualización de los estándares básicos de competencias para matemáticas, según el Ministerio de Educación Nacional (MEN) permite determinar que dichas competencias necesitan de ambientes de aprendizaje en donde predominen las situaciones problema, con carácter significativo y que sean comprendidos para que el estudiante puede avanzar a niveles de mayor complejidad [2].

Es importante analizar desde el campo las metodologías de enseñanza, cómo se desarrolla la competencia matemática y cómo son los rendimientos de los alumnos en los distintos niveles de desempeño. Mostrando mayor interés en los procesos de enseñanza de conceptos relacionados a los sistemas de referencia cartesianos y la forma en la que son problematizados, contextualizados y generalizados en el aula de clases. De igual forma detallar en qué medida se alcanzan estándares de identificación de características cuando se localizan objetos geométricos en distintos sistemas de representación, polares, cartesianos, esféricos y cilíndricos [2].

Revisión de la literatura

Un rastreo temático alrededor de la didáctica en matemáticas permite visualizar relaciones entre el uso de situaciones contextuales en la enseñanza de conceptos o nociones matemáticas y el rendimiento asociado al nivel de desempeño de la competencia en matemáticas, a su vez identificar cómo se involucran los conceptos asociados a los sistemas de coordenadas, para encontrar referentes metodológicos que permitan analizar los resultados.

Didáctica de la matemática en relación con situaciones contextuales

Para Galeano y Gómez, la didáctica de las matemáticas en Colombia, en relación con situaciones del contexto, tiene unos referentes muy marcados dentro de los Lineamientos Curriculares, que mencionan utilizar el contexto cercano del estudiante y también el análisis a los Estándares de Competencia en matemáticas, que se refieren a cómo el ambiente influye en las matemáticas que se enseñan y adquieren sentido para el alumno, las mismas autoras utilizan el método didáctico Ontosemiótico [3].

Los lineamientos del currículo de matemáticas, hacen énfasis en tres tipos de contexto: el contexto inmediato; el escolar y el extraescolar.

Tabla 1. Tipos de contexto según el Ministerio de Educación de Colombia (MEN) [3].

Contexto inmediato	Contexto escolar	Contexto extraescolar
Entorno físico del aula Interacciones sociales Normas de clase Situaciones generadas por el docente.	Distintos escenarios de la institución. Saberes de los estudiantes y docentes. Normas de convivencia y del Proyecto Educativo Institucional	Todo lo existente fuera de la institución educativa. Contexto local, regional, nacional y mundial.

Estos tres tipos de contexto se relacionan entre sí, dependiendo cada uno del otro. El tema del contexto cobra importancia pues implica el desarrollo de competencias que serán necesarias en la vida diaria. También se diferencian dos tipos de contexto en matemáticas, por un lado aquel que implica situar los problemas en un campo donde los objetos matemáticos cobren sentido y la otra definición supone un uso metafóricamente conocido como “ecológico” [3].

En esta misma línea Herazo y De la Hoz Molinares, hablan del contexto como elemento clave para llegar a procesos de modelización, a través de situaciones que provienen de la realidad y ligar esta a un contexto social que se considera el camino donde se da el proceso de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas.

El contexto, dentro de la modelización es fundamental, pues es allí en donde el estudiante encuentra las relaciones con la realidad [4]. En un mundo donde los campos se transversalizan y donde el auge tecnológico es evidente, las estrategias didácticas deben buscar el desarrollo de estas relaciones entre lo que se enseña y las situaciones del entorno [5].

En cuanto a la enseñanza, Bolaño Muñoz menciona que las nuevas generaciones requieren metodologías que se relacionen con situaciones reales, en donde les permita un desarrollo pleno de la lógica matemática y así dar frente a situaciones del contexto cotidiano.

Desde esta perspectiva, el constructivismo es un anclaje de fundamentación teórica pues como lo afirma Bolaño Muñoz, este hace énfasis en la enseñanza a partir de situaciones contextuales que parten de los conocimientos y experiencias de los alumnos convirtiendo estas dos características en el puente para incorporar nueva información. El autor citando a Vigotsky enfatiza que el contexto o entorno social es importante para los procesos de aprendizaje en los estudiantes pues este permite que la nueva información se incorpore con las experiencias que ellos tienen en su estructura mental. Para Piaget, estos procesos se realizan interiorizando la información producto del entorno y modificando los esquemas previos [6].

Competencia Matemática

Como se ha mencionado, la importancia de contextualizar los objetos y los contenidos matemáticos, radica en el desarrollo de una serie de competencias dentro del campo de las matemáticas, Vargas, utiliza la definición de la prueba PISA, en donde se entiende la competencia como alfabetización matemática, y tiene que ver con las habilidades que poseen los estudiantes para pensar, analizar y comunicar correctamente procesos en relación a formulación y solución de problemas en distintos contextos [7].

Tipos de competencia matemática

Vargas, identifica las distintas competencias que son viables en un estudio sobre geometría (tabla 2).

Tabla 2. Tipos de competencia matemáticas [7].

Comunicar	Razonar	Plantear y resolver problemas
-----------	---------	-------------------------------

Se relaciona con la habilidad para entender una idea coherentemente, en relación a los conceptos matemáticos presentes en cierta situación contextual. También implica representar distintas formas describiendo los vínculos matemáticos a través de tablas, gráficas y expresiones descritas en lenguaje natural.	Identificar y usar estrategias y procedimientos para afrontar situaciones problema, formular hipótesis, identificar patrones, formular ejemplos y generalizar propiedades	Utilizar distintos contextos para formular y solucionar problemas, traduciendo la realidad a un modelo matemático e interpretar resultados. Generalizando resultados para resolver situaciones similares en otros escenarios.
---	---	---

Londoño, enfatiza en los procesos vinculados con el pensamiento geométrico-espacial, citando al MEN quien lo define como un conjunto de procesos de carácter cognitivo que son claves para manipular y construir objetos en el espacio a través de sus representaciones mentales, describiendo las distintas relaciones y transformaciones [8]. El pensamiento espacial-geométrico y su desarrollo se evidencia a través de una serie de competencias que evalúa el Ministerio de Educación de Colombia, mientras la prueba ICFES Saber 11, en donde se evalúa el desempeño en tres tipos de competencia: competencia de interpretación y representación; competencia de formulación y ejecución y competencia de razonamiento y argumentación, como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Competencias matemáticas según el MEN Colombia [8].

Competencia de interpretación y representación	de Competencia de formulación y ejecución	de Competencia de razonamiento y argumentación
Habilidad del estudiante para asimilar información luego de un proceso de comprensión, reproducción y transformación a partir de un conjunto de datos. A su vez inferir y extraer información estableciendo relaciones, proporciones y razones.	Habilidad que tiene el estudiante para identificar distintas estrategias para resolver problemas en distintos contextos. Evaluar los métodos más eficaces para dar solución a problemas matemáticos y escoger la mejor solución posible.	Habilidad que tiene el estudiante de refutar o argumentar hipótesis, interpretaciones y representaciones de situaciones problema. Esta competencia permite entender procesos matemáticos en forma sistemática utilizando la lógica, los axiomas y los teoremas.

Es importante relacionar las situaciones contextuales dentro de la enseñanza de las matemáticas, con lo que plantea la competencia en matemática, específicamente en la enseñanza del sistema de referencia cartesiano, en la actualidad la enseñanza de los sistemas de coordenadas ha venido acompañada del uso de programas y aplicaciones digitales, de esto da cuenta González, quien diseña una propuesta didáctica con software interactivo para la enseñanza del concepto sistema de

coordinada, problematiza la investigación alrededor del privilegio que ha tenido la enseñanza de las coordenadas cartesianas sobre otras como las polares, de esta forma se deja a un lado otro tipo de coordenadas que facilitan la visualización de curvas y la aplicación de diversos campos del conocimiento, como la física, la navegación y los problemas en los que intervienen curvas. Las conclusiones de este trabajo giran alrededor de la importancia del uso de herramientas TIC en el aula para la comprensión de conceptos asociados a coordenadas cartesianas y polares [9].

En el mismo sentido Osorio, da Costa, Peña y Montesinos, utilizan el software interactivo para la modelación de superficies en coordenadas esféricas, este tipo de coordenadas es la generalización de las coordenadas polares en el plano, su importancia radica en la aplicación en la geografía por su similitud con las coordenadas geográficas y también con el funcionamiento del GPS, además tiene un sentido más práctico para solucionar problemas y entender el comportamiento de las proyecciones de sólidos en cálculo con varias variables. Es importante un análisis de cómo el sistema de referencia cartesiano, presentan limitantes para comprender situaciones con simetría esférica, y como los recursos tecnológicos rompen la brecha que se establece para una enseñanza más significativa y que genere mayor comprensión por parte del estudiante [10].

Sánchez y González, realizando un análisis sobre la concepción el desarrollo de la geometría analítica durante el siglo XIX, determinan que dicha rama de la matemática no se concibe sin el uso de un sistema de coordenadas, se determina que la geometría analítica utiliza un sistema de referencia vinculando ecuaciones y es a partir de dichas ecuaciones y su relación con el sistema de referencia como se obtienen las soluciones a los problemas. [11].

Este último planteamiento permite ubicar la investigación dentro del campo de la didáctica de las matemáticas, específicamente la geometría y se vincula con la rama de la geometría analítica. Cabe señalar que a partir de esta última se puede establecer una forma de enseñanza que privilegia el sistema de coordenadas cartesianas sobre otros, Soto, indaga si los profesores privilegiaban los ejes cartesianos como el sistema de referencia por excelencia para estudiar las curvas aun sabiendo que se pueden recurrir a otros sistemas de coordenadas como las polares y otros sistemas de representación como las ecuaciones paramétricas. En las conclusiones, el autor afirma que en la formación de los docentes a nivel de pregrado se limita el desarrollo de conceptos que involucren la enseñanza de otros tipos de coordenadas, también se sugiere cambios a nivel curricular que den lugar a visualizar y jerarquizar ciertos contenidos relacionados a geometría analítica, uno de los más importantes el de la enseñanza de los distintos sistemas de referencia [12].

Esta revisión literaria también evidencia un vínculo entre la enseñanza de las matemáticas a partir de situaciones del contexto y el desarrollo de competencias, por ejemplo Vargas [7] y Londoño [8], recurren a las mediciones de la prueba PISA de la OCDE y SABER 11, por parte del Ministerio de Educación (MEN) en Colombia, para demostrar la importancia de vincular el campo de la enseñanza desde una perspectiva de solución de problemas en el contexto cotidiano, ello conlleva a una mayor apropiación de los conceptos como lo menciona Bolaños Muñoz [6], cuya referencia teórica sitúa la enseñanza contextual dentro del constructivismo, el contexto es primordial dentro de los lineamientos a nivel curricular y los distintos estándares dentro de las competencias matemáticas establecidas por el MEN, como lo menciona Galeano y Gómez [3], dichos estándares también dejan ver la necesidad de enseñar otros tipos de sistema de referencia a parte de los cartesianos, pues es evidente que históricamente se ha privilegiado la enseñanza del sistema de referencia cartesiano sobre otros sistemas, de esto dan cuenta las investigaciones de Osorio, da Costa, Peña y Montesinos

[10]; Sánchez y González [11] y Soto [12]. Sugiriendo que un análisis de la enseñanza de los sistemas de coordenadas cartesianas puede dar más elementos para indagar los bajos promedios de los alumnos en las distintas pruebas de carácter externo.

Metodología

Muestra

La muestra está conformada por un total de sujetos ($n=42$) de 9° de secundaria de un colegio público del departamento de Cundinamarca, Colombia. Los estudiantes se asignan aleatoriamente a dos grupos: el grupo control que está conformado por 21 estudiantes y el grupo intervención que está conformado por 21 estudiantes para asegurar el carácter homogéneo de los datos.

Procedimiento

Los sujetos que fueron seleccionados al grupo control, se les aplicó una metodología de enseñanza considerada tradicional que consiste en:

- Exposición por parte del profesor utilizando el recurso del tablero
- Presentación de ejemplos o problemas.
- Aclaración de dudas de ejercicios.
- Resolución de problemas tomados del libro de texto.

Los estudiantes seleccionados en el grupo experimental (intervención) fueron sometidos a un proceso de enseñanza (tratamiento) basado en una metodología de situaciones en contexto (contextuales). Dicha metodología consta de los siguientes pasos:

- El docente presenta la situación a trabajar (situaciones relacionadas con el contexto estudiantil).
- El docente hace uso de alguna herramienta u o aplicación tecnológica para presentar la situación (software interactivo)
- El estudiante interactúa con la herramienta tecnológica para comprender los conceptos y determinar una posible ruta para dar solución a la situación planteada
- Se genera una práctica en la que interviene el uso de la herramienta tecnológica y aparatos de medición.
- Los estudiantes utilizan la herramienta tecnológica para modelar la situación y enviar las evidencias de trabajo. Las actividades fueron realizadas en horario de clase dentro del área de matemáticas y se relacionaron con contenidos de geometría, dentro de la temática particular de sistema de referencia cartesiana, estas prácticas se realizaron en un intervalo de tiempo de tres semanas desde que se realizó el pretest hasta que se aplicó el postest.

Instrumentos

La investigación utiliza un cuestionario de 20 preguntas de selección múltiple, en cuyo caso hay cuatro posibles respuestas y una sola correcta. Se utiliza este diseño porque el ICFES en Colombia evalúa de esta forma y garantiza una afinidad entre las pruebas externas y la medición de la investigación.

Pretest y postest

La investigación recurre a esta técnica clásica para evaluar con el pretest los antecedentes que tienen los sujetos participantes en relación con conceptos de sistemas de coordenadas y sus aplicaciones. Luego con el postest se evaluará las diferencias que existan con la intervención metodológica sobre el grupo experimental y su relación con el grupo control.

Escenario

El plantel educativo cuenta con aproximadamente 350 estudiantes de los cuales la gran mayoría pertenecen a un nivel socioeconómico medio-bajo pertenecientes al sector rural. La institución s de carácter público (estatal) ofrece el servicio educativo a 13 cursos de 6° a 11°, 47 estudiantes están matriculados en grado noveno, cuatro de ellos presentan o están diagnosticados con alguna discapacidad cognitiva, los cuales no fueron seleccionados dentro de la muestra pues algunos de ellos no saben leer.

Diseño de investigación

Enfoque

Al abordar las variables cuantificables: enseñanza del sistema de referencia cartesiano y competencia matemática, el enfoque para la presente investigación es de enfoque cuantitativo. Se manipula la variable independiente situaciones contextuales para analizar su repercusión con la variable dependiente desempeño de la competencia matemática, por lo tanto la investigación es de tipo experimental, con un nivel explicativo.

Variables

Definiciones teóricas

Situaciones contextuales: surgen a partir del contexto particular en el que se desenvuelve el estudiante y donde las matemáticas que aprende adquieren un significado. También incluyen distintas variables relacionados con condiciones culturales y sociales de carácter nacional e internacional, también se incluyen los gustos, formas de ver el mundo y el contexto económico donde se vincula la práctica educativa o didáctica [1].

Competencia matemática: conjunto de saberes y habilidades de carácter cognitivo, psicomotores y socioafectivos, que se relacionan conjuntamente para poder enfrentar distintas situaciones en distintos contextos, escogiendo las mejores soluciones ante los retos de la cotidianidad. [2].

Definiciones operacionales

Situaciones contextuales: Nivel de complejidad de las situaciones relacionadas con el sistema de referencia cartesiano. Nivel 1, situaciones relacionadas con el plano cartesiano, ubicación de puntos y propiedades de figuras. Nivel 2, uso de situaciones y problemas del contexto relacionadas con sistemas cartesianos. Nivel 3, relación de los sistemas de coordenadas con otros tipos de coordenadas (polares, esféricas, cilíndricas y geográficas)

Competencia matemática: promedio de puntajes obtenidos en la prueba de competencias matemáticas sobre el uso de sistemas de coordenadas a través del desempeño superior, alto, básico, inferior, bajo una escala de 1 a 10 ubicando el nivel superior de 9 a 10; alto de 7.5 a 8.9; básico de 6 a 7.4; inferior de 0 a 5.9

Hipótesis

La hipótesis de investigación es: los estudiantes que reciben una enseñanza de los sistemas de referencia cartesianos a partir de situaciones contextuales con distinto nivel de complejidad, presentan desempeño más alto en la competencia matemática que aquellos que solo reciben una enseñanza a través de la herramienta del plano cartesiano.

Objetivo general

Analizar de qué forma la estrategia de enseñanza del sistema de referencia cartesiano a partir de situaciones en contexto con distinto nivel de complejidad se relaciona con la adquisición de distintas competencias matemáticas en alumnos de noveno grado.

Objetivos específicos

- 1) Calcular el porcentaje de la competencia matemática acorde al nivel de desempeño en relación con los sistemas de coordenadas cartesianos.
- 2) Calcular el porcentaje de la competencia matemática acorde al nivel de desempeño cuando el estudiante aprende a través de situaciones en contexto y distinto nivel de complejidad.
- 3) Comparar los porcentajes de la competencia matemática acorde al nivel de desempeño cuando el estudiante recibe una enseñanza de los sistemas de coordenadas cartesianas de la manera formal y otra a través de situaciones complejas y contextualizadas.

Resultados

Análisis de confiabilidad del Instrumento

El coeficiente Alfa de Conbrash se utilizó para calcular la consistencia interna. El nivel de confiabilidad global es de 0.68, que de acuerdo a Hernández et al. (1996) el instrumento tiene una confiabilidad aceptable. Para validar el instrumento se utilizaron las variables que contienen la suma de las 20 preguntas en el pretest y postest.

Análisis Descriptivo

De 42 estudiantes que formaron parte del estudio el 50% forma parte del grupo control y el 50% del grupo intervención. Respecto al sexo 52,38% son mujeres y equivalen a 22 y el restante 47,62% son hombres.

Para los resultados del grupo intervención con respecto a las preguntas del pretest, las preguntas que superaron un 60% de aprobación fueron la pregunta 2 la pregunta 3 la pregunta 6 y la pregunta 16. Para el postest se resalta que las 20 preguntas reportan un incremento en las respuestas correctas del 50% .

Los resultados del grupo control se caracterizan así: en el pretest las preguntas con más del 60% fueron 4, la pregunta 2 la pregunta 5 la pregunta 6 y la pregunta 16. para el postest se presenta un incremento en las respuestas correctas exceptuando la pregunta 8. es importante resaltar que 5 preguntas muestran más del 60% de respuestas correctas.

Análisis de asociación

La tabla 6 y 7 (ver apéndice C) muestra la correlación entre las preguntas del instrumento de evaluación en el grupo intervención. No se incluye la pregunta 6 debido a que todos obtuvieron un valor de 1, es decir no hay variabilidad. Los grupos de variables se clasificaron en correlaciones positivas y negativas que se describen a continuación:

Grupo de variables con relaciones positivas: p2-p5 ($r=0.447$), p2- p12 ($r=0.447$), p3-p12 ($r=0.485$), p17-p14 ($r=0.586$), p16-p18 ($r=0.414$), p17-p19 ($r=0.560$), p17-p20 ($r=0.408$), p19-p20 ($r=0.429$). Grupo de variables con relaciones negativas: en este grupo se encuentra el par de variables p11-p13 ($r=-0.448$). Para el grupo control las correlaciones positivas y negativas según el grupo de variables se presentan así: Grupo de variables con relaciones positivas: p1-p20 ($r=0.411$), p2-p11 ($r=0.553$), p2-p16 ($r=0.557$), p3-p11 ($r=0.553$), p3-p15 ($r=0.408$), p8-p9 ($r=0.580$), p11-p15 ($r=0.484$), p12-p14 ($r=0.472$), p13-p15 ($r=0.56$), p14-p17($r=0.47$).

Grupo de variables con relaciones negativas: p5-p17 ($r=-0.548$), p7-p10 ($r=-0.509$), p13-p14 ($r=-0.429$), p14-p15($r=-0.408$).

Análisis comparativo

En la figura 1 se comparan los puntajes de pretest y posttest respecto a cada grupo y al sexo. La figura 1 muestra el comparativo de los puntajes en el pretest y posttest. Para el grupo control los puntajes son similares en los dos momentos de aplicación. En el pretest el puntaje mínimo fue 4 y máximo 11, con un valor de la media de 7,33 y mediana de 8, respecto a la variabilidad de los datos se reportan una desviación estándar de 2.24.

Para el posttest en el puntaje mínimo fue 6, máximo 14, la media 8.85 y mediana 9, de acuerdo con la variabilidad, la desviación estándar es de 2.81. Para el grupo intervención se observa un incremento en los puntajes del pretest y posttest.

En el momento de la aplicación pretest, el puntaje mínimo fue 4, máximo 10 la media 6.76 mediana 7 y la desviación estándar 1.81. Para el posttest aumenta los puntajes, obteniendo un mínimo de 10, máximo 18, media 13.3 y mediana 12 la desviación estándar es de 2.24.

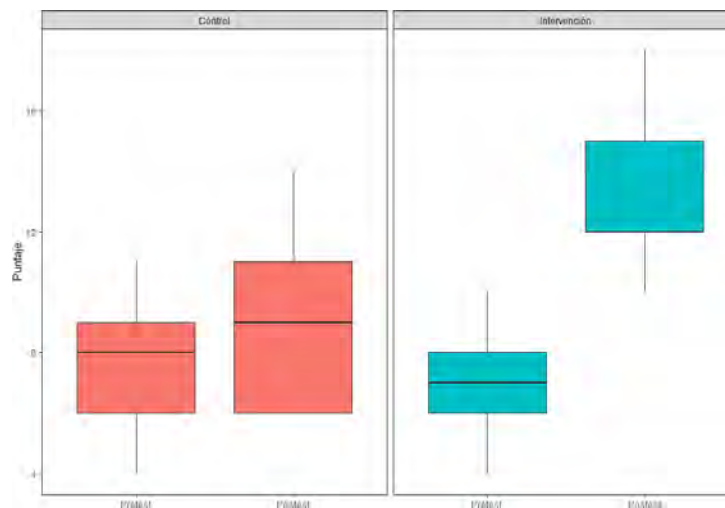


Figura 2. Comparación de los puntajes obtenidos según el momento de aplicación y el grupo.

La prueba de hipótesis (t-estudent) para muestras pareadas determinó diferencias de los puntajes de los dos grupos en el pretest y posttest considerando un nivel de significancia de 0.05 (ver tabla 8).en ambos grupos los puntajes de los promedios en el pretest aumentan, sin embargo para el grupo intervención la diferencia de las medias fue de 6 puntos mientras que el grupo control fue 1.53.

Tabla 4. Prueba de hipótesis para el puntaje obtenido por grupo en el pretest y posttest.

Grupo	Pretest	Posttest	P
Intervención	6.76±1.60	13.33 ± 2.24	<0.01
Control	7.35 ±2.23	8.85 ±2.88	0.03

Los datos son expresados como media ± desviación estándar.* Nivel de significancia 0.05

En la figura 2 se muestran los puntajes para hombres y mujeres en el pretest, para el grupo control se presenta mayor variabilidad tanto para hombres como mujeres, para el grupo intervención los puntajes muestran menor variabilidad y son mayores. Comparando entre hombres y mujeres el grupo control tiene una mediana mayor en cambio en el grupo intervención la mediana para mujeres es mayor.

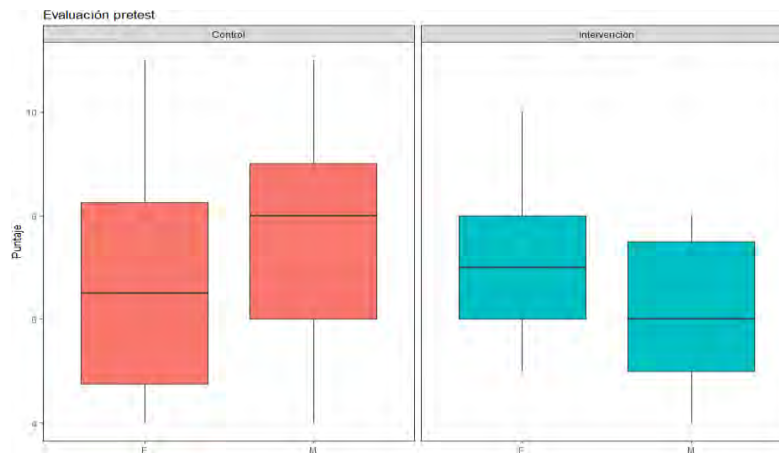


Figura 2. Comparación de los puntajes obtenidos en el pretest según el grupo y sexo.

En el análisis de varianza de la tabla 7 los cambios en los puntajes en el pretest por sexo y grupo no son significativos, reportando un nivel de significancia de 0.05.

Tabla 5. Resultados del análisis de varianza con respecto a los puntajes obtenidos en la evaluación pretest en función del grupo y sexo.

	GI	CM	F	p
Grupo	1	3.623	0.955	0.334
Sexo	1	0.01	0.01	0.991
Grupo × Sexo	1	8.410	2.21	0.144
Error	38	3.791		

* Nivel de significancia 0.05

Para el grupo control los puntajes son menores y presentan menor variabilidad a comparación de grupo intervención, respecto a la comparación de hombres y mujeres los comportamientos son similares. Para el análisis de la varianza (ver tabla 8) la diferencia en los puntajes entre grupos resultó significativo ($p < 0.01$) sin embargo no hay diferencia entre sexo en el grupo intervención ($p = 0.742$) y en la interacción de grupo y sexo ($p = 0.547$).

Tabla 6. Resultados del análisis de varianza con respecto a los puntajes obtenidos en la evaluación pos test en función del grupo y sexo.

	GI	CM	F	p
Grupo	1	201.56	29.90	$< 0.01^*$
Sexo	1	0.740	0.109	0.742
Grupo × Sexo	1	2.483	0.368	0.547
Error	38	6.739		

Las medias y desviación estándar y los puntajes por grupo y sexo en el posttest se presentan en la tabla 11. Para el grupo intervención los puntajes son mayores tanto en hombres como en mujeres comparados con el grupo control.

Tabla 7. Medias del puntaje en el posttest con respecto al sexo y grupo

Sexo	Grupo	
	Control	Intervención
Femenino	9.00 ± 3.12	13.07 ± 1.97
Masculino	8.76 ± 2.74	13.85 ± 2.79

Discusión

Según el análisis estadístico presentado anteriormente se destacan tres resultados fundamentales que responden a los distintos objetivos planteados en la investigación y permiten a su vez la comprobación de la hipótesis. En primer lugar, se puede evidenciar un aumento de los promedios significativo del grupo intervención en comparación con los promedios obtenidos para el grupo control, comprobando por un lado que la variación de la metodología de enseñanza a través de situaciones contextuales permite mejorar el desempeño en relación con la competencia matemática, sobre una metodología formal o tradicional.

Para la comprobación de la hipótesis se realiza manipulación de la variable independiente, también se apoya además en la poca variabilidad que obtuvieron los puntajes tanto para hombres como mujeres del grupo intervención en el posttest, demostrando así que el uso de situaciones dentro de la enseñanza del sistema de referencia cartesiana genera una comprensión mayor de los conceptos de coordenadas y el uso de otros sistemas de referencia.

La comparación entre las variables estudiadas y la prueba de hipótesis permite afirmar que los estudiantes que reciben una enseñanza de los sistemas de referencia cartesianos a partir de problemas contextuales con distintos niveles de complejidad, presentan desempeño más alto con respecto a aquellos que reciben una enseñanza tradicional.

La validación de los instrumentos asegura la consistencia interna para que los resultados de la investigación puedan ser replicados en contextos educativos similares y utilizarse para otras temáticas relacionadas con la enseñanza de la matemática.

La investigación siguió un diseño experimental asegurando que el tratamiento de los datos fuera lo más objetiva posible para determinar cómo las variaciones en los tipos de enseñanza que hoy se dan los distintos niveles educativos generan espacios para comprender que los bajos rendimientos en pruebas externas como ICFES saber 11 o la prueba PISA, en algunas ocasiones se originan no por contextualizar los contenidos de enseñanza o por tratar de explicar que el bajo desempeño se relaciona únicamente con problemas de aprendizaje.

La metodología de enseñanza a través de situaciones contextuales, permite estudiar el sistema de referencia cartesiano desde distintos niveles, aprovechando el software interactivo y las aplicaciones para móvil como recursos para modelar las situaciones y encontrar posibles soluciones a un problema.

La enseñanza contextual de los sistemas cartesianos permite vincular situaciones aplicadas a otro

tipo de sistemas como lo polares, geográficos, cilíndricos y esféricos, que hacen parte de los estándares de competencia en matemáticas pero que su incorporación a los libros de texto y guías metodológicas son casi nulos. Esta investigación genera además una ruta metodológica para la enseñanza de los sistemas de referencia distintos al cartesiano.

Dentro de los niveles de desempeño en matemáticas se evidencian mejores resultados en el grupo sometido a situaciones contextuales, con aumentos significativos pasando de un nivel bajo a un nivel básico y alto durante la intervención, en comparación con el grupo control que mantuvo los niveles bajos en la gran mayoría de los participantes y muy pocos acceden al nivel básico. La diferencia entre los dos grupos va ligado con el desarrollo de las tres competencias que sugiere el MEN (1998), competencias de interpretación y representación, competencias de formulación y ejecución, competencias de razonamiento y argumentación, el desarrollo de esas competencias son más evidentes según los resultados del grupo intervención en el postest, quien utiliza la metodología de enseñanza a partir de situaciones contextuales.

Trabajo a futuro

Es importante investigar las relaciones existentes entre la enseñanza de los sistemas de referencia que usan coordenadas cartesianas con otros tipos de sistemas fundamentados en coordenadas polares, esféricas y cilíndricas, también analizar desde la perspectiva del contexto como distintas competencias matemáticas se desarrollan a mayor profundidad y situar los rezagos en los resultados de pruebas externas dentro de situaciones que merecen ser problematizadas.

Conclusiones

Las situaciones contextuales con distinto nivel de complejidad, para la enseñanza de las matemáticas influye en el nivel de desempeño de la competencia matemática en relación con los sistemas de coordenadas cartesianas en estudiantes de noveno grado de la Institución Educativa Departamental La Victoria del Municipio de El Colegio, Cundinamarca, Colombia. En base a los análisis y resultados obtenidos, se obtienen las siguientes conclusiones.

1. Los estudiantes que recibieron la estrategia de enseñanza basada en situaciones contextuales (grupo intervención) presentaron desempeño más alto que aquellos que recibieron una enseñanza formal (tradicional). El incremento promedio en el puntaje del pretest al postest fue de 6 puntos para el grupo intervención. En el grupo control aun cuando se obtuvo un aumento en la calificación final, el incremento promedio fue de 1.53.
2. El análisis de cada pregunta del instrumento de evaluación muestra que el porcentaje de respuestas correctas en el postest fue mayor al 50% para cada pregunta. En el grupo control el comportamiento fue diferente: en 4 preguntas se reportaron menor del 20% de respuestas correctas, 10 preguntas entre el 20% y 60% de respuestas correctas y solamente 6 preguntas se registró mayor o igual al 60% de respuestas correctas.
3. Se caracterizaron las preguntas del instrumento con base a la correlación (entre las variables, en cuanto a la intensidad se estableció una correlación mayor o igual a 0.40. En el grupo de intervención, se determinaron ocho grupos de variables, de los cuales las variables que influyeron fueron las preguntas p2, p17 y p19. En el grupo control se establecieron 8 grupos de variables con correlaciones positivas y 4 grupos de variables con correlaciones negativas, las variables con mayor

presencia fueron p3 y p14.

4. es cierto que existen distintas causas y variables que influyen en el desempeño de un estudiante, en esta evaluación el sexo no resulta una variable que indique diferencia. Este escenario nos permite centrarnos en la estrategia de enseñanza como un factor clave que promueve en los estudiantes un mejor rendimiento en el tema de sistemas de coordenadas cartesianas.

Referencias

- [1] O. Borrero, (2020, May 18), Análisis del nivel de calidad educativo en Colombia, a partir de los resultados de las pruebas PISA en el periodo 2012-2018. *Repositorio Universidad Militar Nueva Granada*. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10654/35718>
- [2] F. Gómez, "El desarrollo de competencias matemáticas en la institución educativa pedro Vicente Abadía de Guacarí, Colombia," *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 11, no.1, pp. 162-171, 2019.
- [3] N. Galeano and F. Gómez, (2018, Jun 15), Las matemáticas vinculadas a situaciones del contexto cotidiano. *Repositorio digital de tesis y trabajos de grado*, [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/10495/23643>
- [4] J. Herazo, J. P. Fernández and E. De la Hoz Molinares, "Modelización matemática desde la perspectiva contextualizada," *Boletín Redipe*, vol. 10, no. 8, pp. 463-480, 2021.
- [5] V. F. Morales, J. P. Segovia, F. G. Córdova and A. D. Hernández, "Modelado y TICs en la Enseñanza de Ciencias y Matemática," *Revista Dominio de las Ciencias*, vol.7, no.1, pp. 874-884, 2021.
- [6] O. E. Bolaño-Muñoz, "El constructivismo: Modelo pedagógico para la enseñanza de las matemáticas," *Revista EDUCARE - UPEL-IPB - Segunda Nueva Etapa 2.0*, vol. 24, no.3, pp. 488-502, 2020.
- [7] A. J. Vargas, (2019, Jul 10), Influencia del método de aprendizaje basado en problemas y de los contratos de estudio en el desarrollo de competencias matemáticas de los alumnos de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de Huancavelica, [Online]. Available: <http://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/3617>
- [8] J. S. Londoño, (2020, Sep 12), El desarrollo del pensamiento espacial y sistemas geométricos: estrategias metodológicas en estudiantes de grado séptimo de la Institución Educativa Encimadas, [Online]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78081>
- [9] A. F. González, (2019, Oct, 16), Propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de coordenadas, mediante el uso de un software interactivo, *Facultad de Ciencias*, [Online]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77240>
- [10] A. I. Osorio, N. M. da Costa, D. A. Peña and L. R. Montesinos, "Modelamiento de Superficies en Coordenadas Esféricas a Través de GeoGebra," *Jornal Internacional de Estudos em Educação Matemática*, vol.13, no.1, pp. 02-05, 2020.
- [11] I. M. Sánchez and M. T. González, "Concepciones de la geometría analítica en los libros de texto de secundaria y universidad en España durante el siglo XIX," *Historia De La Educación*, vol. 39, no. 1, pp.45-65, 2021.
- [12] G. R. Soto. "Sobre las concepciones y conocimientos de los profesores de Geometría Analítica y el nuevo modelo educativo de matemáticas". Tesis de Maestría, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Departamento de Matemática Educativa, Mexico, 2019