EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

ISSN 3122-4806

REVISTA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA
SEMESTRE AGOSTO - DICIEMBRE 2025

Volumen 2 - No. 2 - 2025

http://orizaba.tecnm.mx/revistaojs

CINTILLO LEGAL

REVISTA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA, volumen 2 - número 2 - 2025, agosto – diciembre 2025, 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, otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor; ISSN 3122-4806 ante 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: 10 de agosto 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. Oscar Báez Sentiés **Responsable General**	**riim.responsable.general@ito-depi.edu.mx**
Dr. Fernando Ortiz Flores **Responsable Técnico**	**riim_soporte@orizaba.tecnm.mx**
Dr. Eduardo Mael Sánchez Coronado **Editor en jefe**	**riim.editor@ito-depi.edu.mx**
Dra. Araceli Ortiz Celiseo **Responsable de Ing. Química**	**riim.quimica@ito-depi.edu.mx**
Dr. Víctor Ricardo Castillo Intriago **Responsable de Ing. Administrativa**	**riim.administrativa@ito-depi.edu.mx**
Dra. Ma. Eloísa Gurruchaga Rodríguez **Responsable de Ing. Industrial**	**riim.industrial@ito-depi.edu.mx**
Dr. José Luis Sánchez Cervantes **Responsable de Sistemas Computacionales**	**riim.sistemas@ito-depi.edu.mx**
Dra. María G. Balderrábano Saucedo **Responsable de Investigación Educativa**	**riim.educativa@ito-depi.edu.mx**
Dr. Ignacio Herrera Aguilar **Responsable de Ing. Mecánica y Mecatrónica**	**riim.mecatronica@ito-depi.edu.mx**
Dr. Gerardo Águila Rodríguez **Responsable de Ing. Eléctrica y Electrónica**	**riim.electronica@ito-depi.edu.mx**
Dr. Miguel Josué Heredia Roldán **Responsable de Logística**	**riim.logistica@ito-depi.edu.mx**
Dr. Mauricio Romero Montoya **Responsable de Logística Técnica**	**riim.logistica.tecnica@ito-depi.edu.mx**
MC. Enrique Alejandro Cuellar Cortes **Webmaster**	**riim.webmaster@ito-depi.edu.mx**
Dr. Guillermo Alfredo Arrioja Carrera **Diseño editorial**	**riim.diseno@ito-depi.edu.mx**

1	**Análisis de betalaínas, polifenoles y actividad Antioxidante en bebidas de jugo de pitaya y quinoa Fermentadas con Lactobacillus Plantarum** *Martínez-Morán Miriam De Lourdes; Paz-Gamboa Ernestina; Vivar-Vera María De Los Angeles; Pérez-Silva Araceli.*	**5-15**
2	**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; Ojeda Nuñez Iveth; Ramírez Sánchez Victor; Gutierrez Montoya Eduardo; Carreón Guevara Manuel.*	**16-25**
3	**Biorremediación de aguas con hidrocarburo y producción de voltaje en dispositivo Bioelectroquímico** *Oliva Campos Andy D.; Córdova-Bautista Yolanda; Ojeda Morales Marcia E.; Díaz Flores Laura L.; López Lázaro Jose D. S.*	**26-36**
4	**Análisis de datos mediante herramientas tecnológicas para campañas digitales de una compañía inmobiliaria** *Mireles Jiménez Gilberto; Escalante Euán Jesús Francisco; Chan Pavón Miriam Victoria; Santos Flores Jorge.*	**37-46**
5	**Restauración biológica de un suelo contaminado con petróleo mediante la aplicación de un hongo petrofílico productores de biosurfactante** *López-Pérez, Perla, Ojeda-Morales, Marcia E., Hernández-Rivera, Miguel A., Gómez-Jiménez, Sulma G., Córdova-Bautista, Yolanda.*	**47-56**
6	**Producción mejorada de Bioetanol a partir de biomasa de Eichhornia Crassipes aplicando campos magnéticos** *May-Rodríguez Keyla Madai, Ojeda-Morales Marcia E., García-Frías Fatima, López-Lázaro José De Los Santos, Cruz-Pérez Alida E.*	**57-65**
7	**Espectroscopía atr-ftir y de correlación Bidimensional (2dcos) aplicada a la caracterización de materiales lignocelulósicos** *contreras-quiñones héctor jesús, Andrade-Ortega Jesús Ángel, Ramírez-Barragán Carlos Alberto, Díaz-Ramos Sara Gabriela1, Rodríguez-Rivas Antonio.*	**66-75**
8	**Análisis de la cultura organizacional para la adopción de Estrategias en las PYMES de las altas montañas, Veracruz.** *Flores García Estela (M.i.), Caballero Guillaumín María Enriqueta (Dra.), Herrera González Gracia Aida (Dra.), Amador Angón Liliana (Dra.), Ramírez Robles Luis Aarón (Mtro.).*	**76-85**
9	**Remoción de Hidrocarburo en un suelo de manglar en el Estado de Tabasco** *Fuentes-Domínguez Irene B, Ojeda-Morales Marcia E., Morales-Bautista Carlos M., Córdova-Bautista Yolanda., Morales-López Karla C.*	**86-94**
10	**Implementación de lean SIX SIGMA en atención al Cliente en la microempresa "conexión total"** *Paxtián-Méndez, Gerardo, Posadas-Trejo, Carlos Romeo.*	**95-107**

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

Martínez-Morán, Miriam de Lourdes[1], Paz-Gamboa, Ernestina[1†], Vivar-Vera, María de los Angeles[1], Pérez-Silva, Araceli[1]*

[1]Departamento 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 µM EqTrolox/100 mL (FRAP), 56.95-93.65 µM EqTrolox/100 mL (ABTS·+) y, 54.58-91.57 µM 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 µM EqTrolox/100 mL (FRAP), 56.95-93.65 µM EqTrolox/100 mL (ABTS·+) and, 54.58-91.57 µM 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 desespinadas 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 quinoa y diferentes concentraciones de *Lactobacillus plantarum*. El tratamiento T1 fue formulado en una relación 1:1 (jugo-extracto) mas 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 quinoa: 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 ultrasonicador 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 µmol Eq Trolox/ 100 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 µmol Eq Trolox/ 100 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 µmol Eq Trolox/ 100 mL.

Análisis estadístico Todos los análisis fueron realizados por triplicado y expresados como la media de tres repeticiones ± 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 qué 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 µg/

mL respectivamente, finalizando en el día 23 con 27.25 µg mL para el jugo fermentado con *L. rhamnosus*, mientras que para el jugo con *L. casei*

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

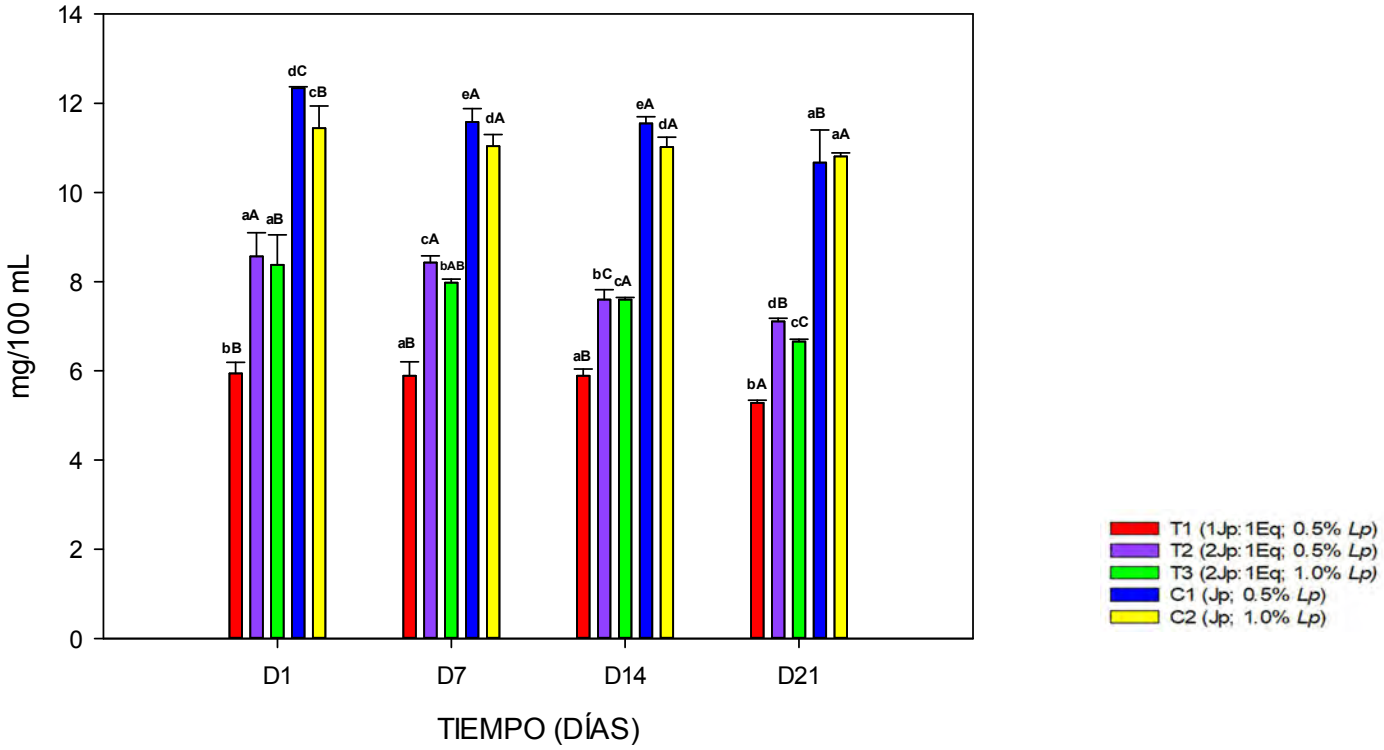


Figura 1. Contenido de betalaínas en las bebidas durante su almacenamiento a 4 ± 1 °C. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, Lp=*Lactobacillus plantarum*). Letras minúsculas diferentes en el mismo día de análisis indican diferencia estadística significativa entre tratamientos y letras mayúsculas 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 puestos.

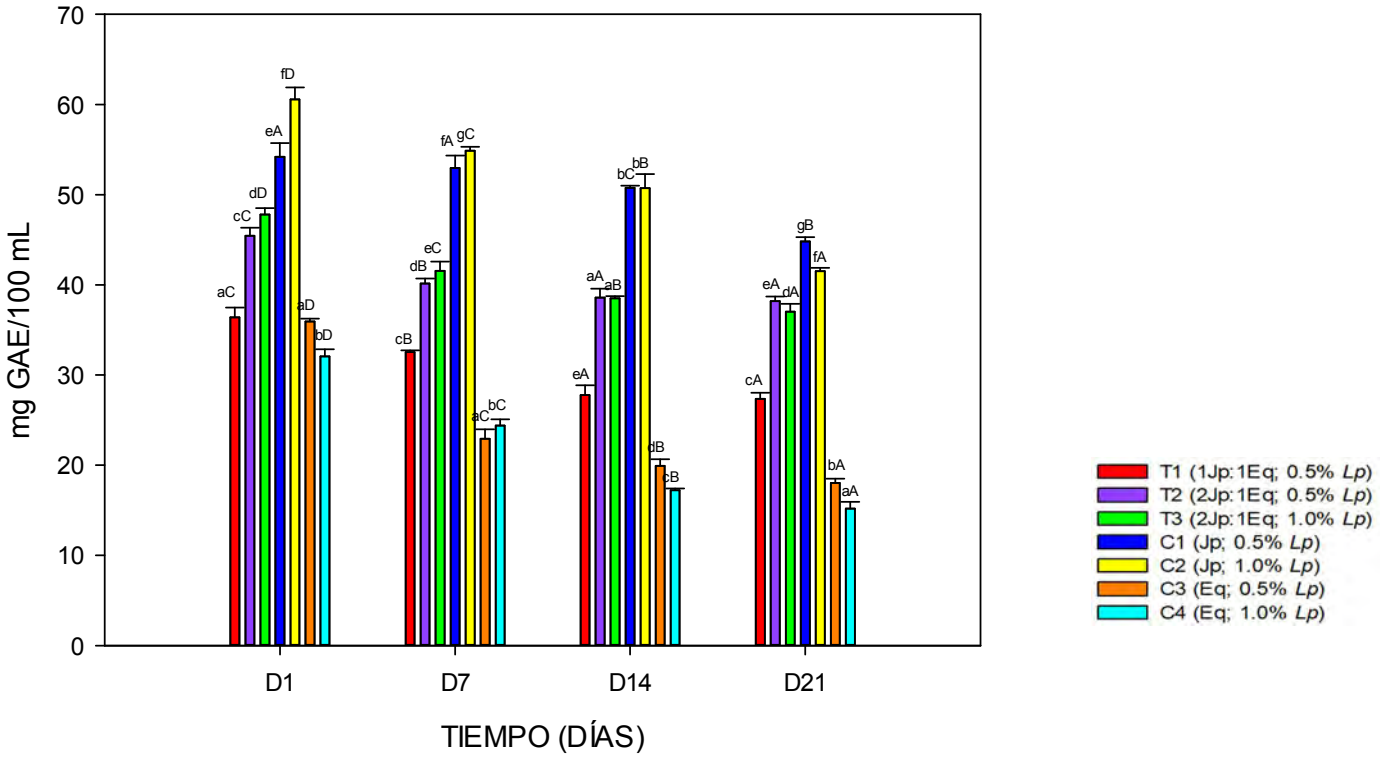


Figura 2. Contenido de polifenoles solubles en las bebidas durante su almacenamiento a 4 ± 1 °C. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, Lp=*Lactobacillus plantarum*). Letras minúsculas diferentes en el mismo día de análisis indican diferencia estadística significativa entre tratamientos y letras 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 µmol EqTrolox/100 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 µmol EqTrolox/100 mL respectivamente. T2 mostró una reducción significativa en la capacidad antioxidante durante el tiempo de almacenamiento, finalizando con 90.36 µmol EqTrolox/100 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.

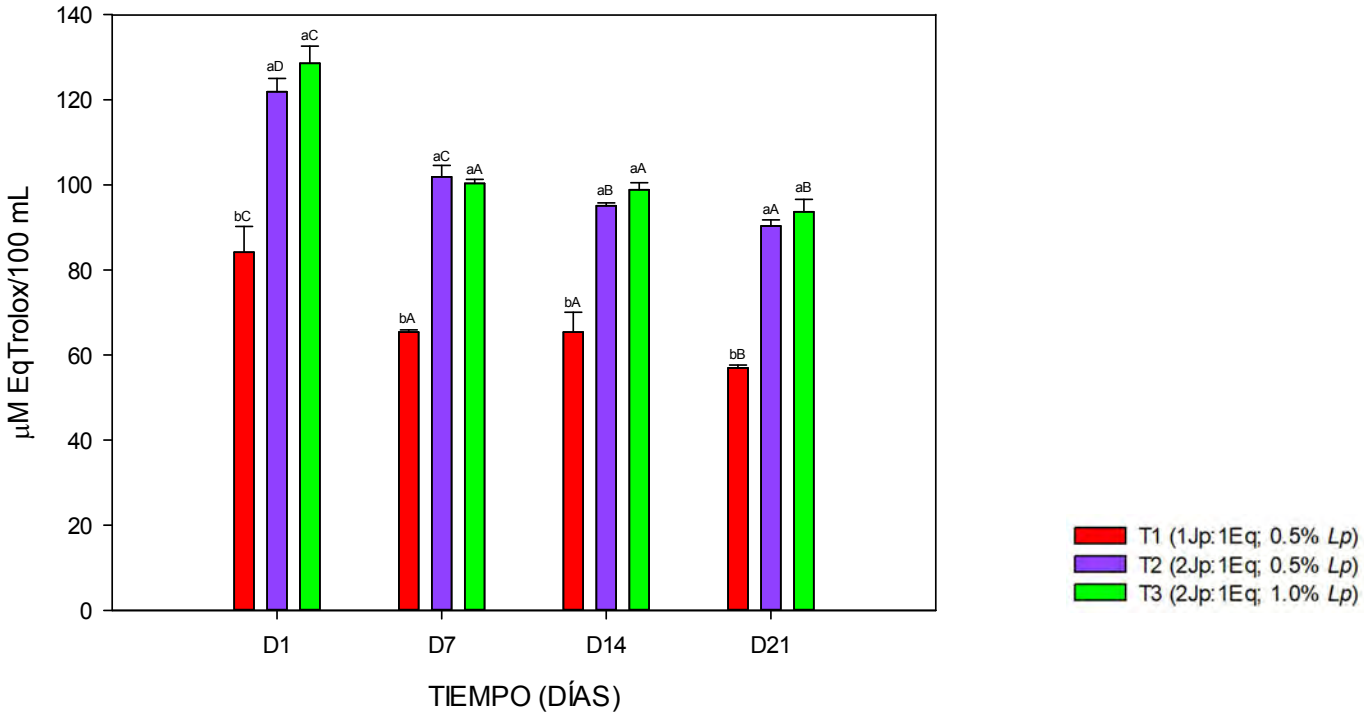


Figura 3. Actividad antioxidante por el método ABTS·+ en las bebidas durante su almacenamiento a 4 ± 1 °C. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, Lp=*Lactobacillus plantarum*). Letras minúsculas diferentes en el mismo día de análisis indican diferencia estadística significativa entre tratamientos 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 µmol EqTrolox/100 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 µmol EqTrolox/100 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 µmol EqTrolox/100 mL. Estos resultados sugieren que la proporción de ciertos componentes, como el

jugo de 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 µmol EqTrolox/100 g en el fruto seco.

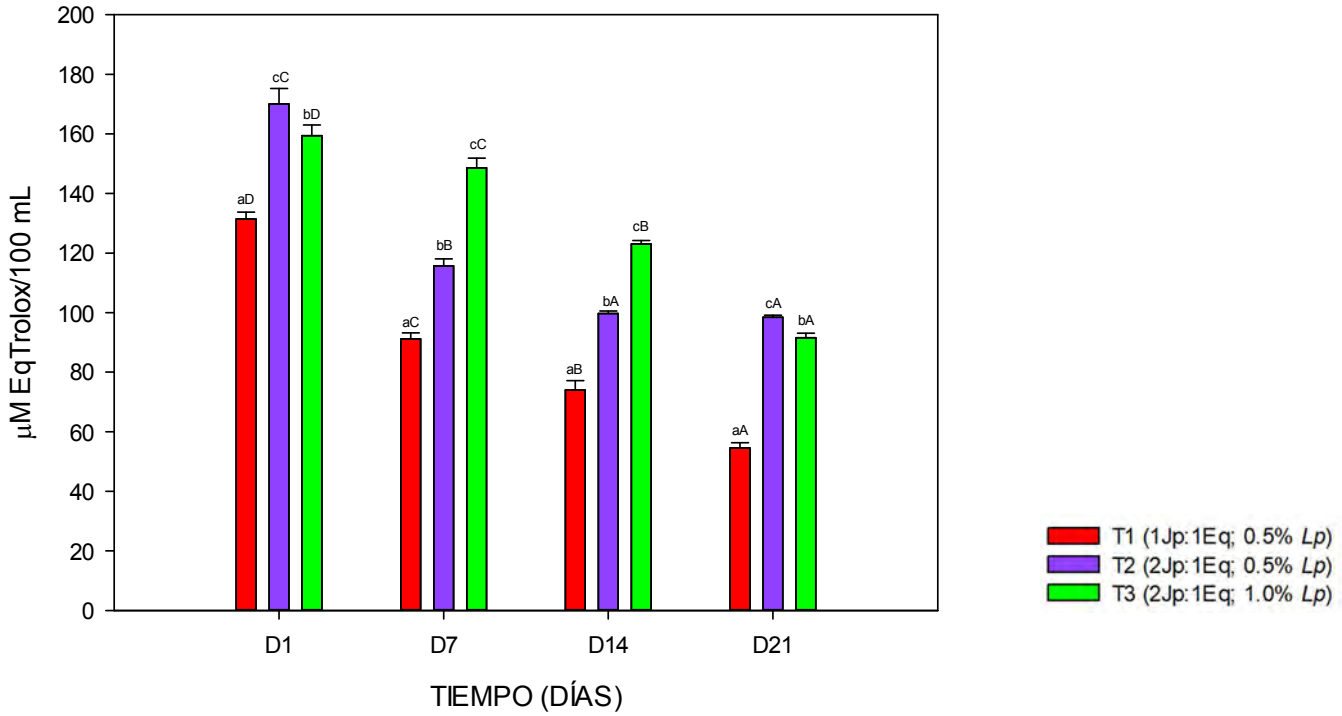


Figura 4. Actividad antioxidante por el método DPPH+ en las bebidas durante su almacenamiento a 4 ± 1 °C. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, Lp=*Lactobacillus plantarum*). Letras minúsculas diferentes en el mismo día de análisis indican diferencia estadística significativa entre tratamientos 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 µmol EqTrolox/100 mL, respectivamente. Para el día 21, estos valores disminuyeron a 131.75, 197.40 y 186.27 µmol EqTrolox/100 mL respectivamente. La disminución de la capacidad antioxidante podría atribuirse a la degradación de los compuestos fenólicos y de las betalaínas presentes en las bebidas. Noriega Juárez [23], reportó una capacidad antioxidante en jugo de *Stenocereus griseus* de 142.85 mg EqTrolox/100 g, cabe señalar que el jugo analizado por este autor, no fue fermentado con bacterias acido lácticas. Por otro lado, Antezana *et al.* [24], reportaron en una bebida no láctea a base de quinoa una capacidad antioxidante de 232.8 µmol EqTrolox/L. La degradación de los compuestos fenólicos y betalaínas 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.

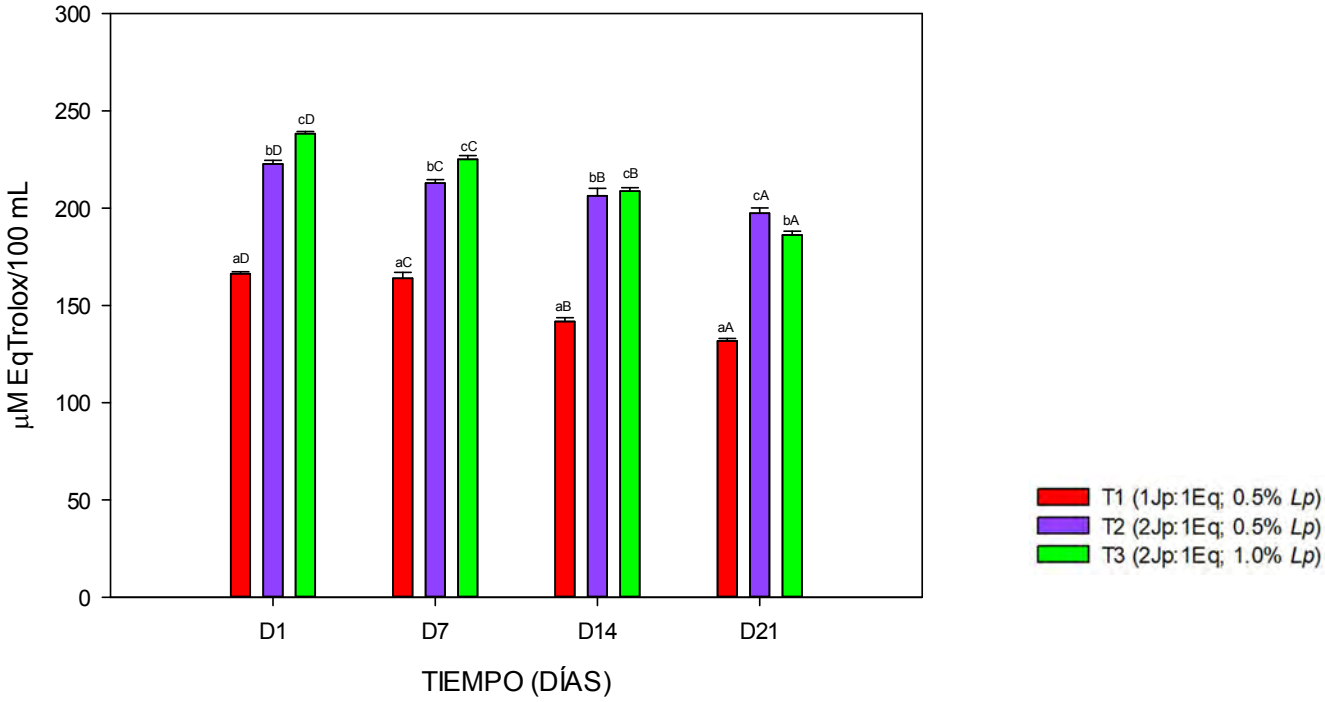


Figura 5. Actividad antioxidante por el método FRAP en las bebidas durante su almacenamiento a 4 ± 1 °C. (Jp=jugo de pitaya, Eq=extracto de quinoa, Lp=*Lactobacillus plantarum*). Letras minúsculas diferentes en el mismo día de análisis indican diferencia estadística significativa entre tratamientos y 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 Autonoma 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] J. Cerdá Bernad, “Influencia del tiempo de fermentación en la viabilidad de *Lactobacillus plantarum* y *Bifidobacterium longum* en bebidas de quinoa 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 Iveth[2], Ramírez Sánchez Victor[3], Gutierrez Montoya Eduardo[4], Carreón Guevara Manuel[5]*
[1]Universidad Autónoma de Coahuila ljuradobichir@uadec.edu.mx, [2]Universidad Autónoma de Coahuila m.ojeda@uadec.edu.mx, [3]Universidad Autónoma de Coahuila victorramirez@uadec.edu.mx, [4]Universidad Autónoma de Coahuila jose_gutierrez@uadec.edu.mx
[5]Universidad 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 lideres 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.



(a) (b)

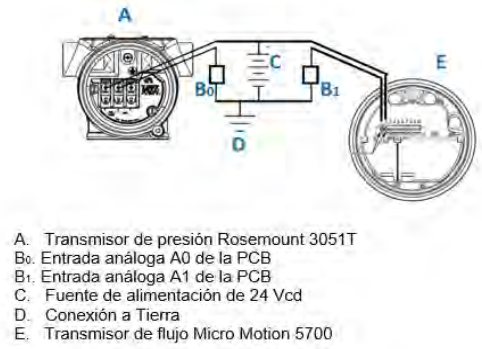
Figura 2. (a)Transmisor Rosemount 3051T para la medición de presión. Tomado de [24].
(b) Transmisor Micro Motion 5700 para la medición de flujo. Tomado de [24].

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 señalas 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
B_0. Entrada análoga A0 de la PCB
B_1. Entrada análoga 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 análoga 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 análoga 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 Cellular 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.

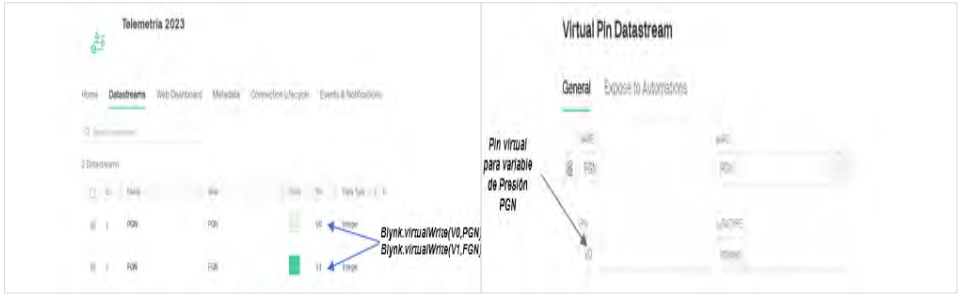


Figura 6. Consola Blynk: Creación de pin virtual. Adaptado de [29].

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 m^3/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 widgets que permite 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, la 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”.



(a) (b)

Figura 8. (a) Blynk.apps: configuraciones en modo desarrollador, (b) *Blynk.apps: 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. Al*ertas 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. Granado. "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 Politecnica Saleciana, 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. Chafla 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 E*[1]., *Díaz Flores Laura L*[1], *López Lázaro Jose D. S.*[1]
[1]*Laboratorio 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 hidrocraburo y la simultánea generación de voltaje dependen de la concentración del inóculo. Con un inóculo inicial de 34 x 10^4 ±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 x 10^5 ±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 unica 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: *Electrogeno, 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 x 10^4 ±3 colony forming units per milliliter (CFU/mL), a voltage of ~ 400 mV was achieved after 100 days with a population of 50 x 10^5 ±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

Mas 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 (CCAE) 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 acuaticos 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, debído a su alta toxicicidad 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 trasnfieren 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 genéro *Azospirullum* como electrógenos. En este trabajo se pretenden biorremediar aguas con petróleo utilizando celdas de combustible microbianas de doble cámara. En este proceso simultameamente se producirá energía apartir de la degradación de los hidrocarburos. La cepa bacteriana *B. altitudinis* aislada de recortes de perforación será el microorganismo electrógeno 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 NH_4NO_3, 0.5 K_2HPO_4, 0.5H_20_4, 0.02 $FeSO_4$, 0.1 $MgSO_4$, 0.1 $CaCl_2$, 0.0005 MnSO4, 0.00064 g/L de $ZnCl_2$) con hidrocarburos al 0, 5, 10, 15 y 20% más 0.5 mL de inoculo de *B. altitudinis* (OD_{600} ~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.

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

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 μ m [14]. La cámara anódica contenía medio mineral (10 g/L de NaCl, 1.5 NH_4NO_3, 0.5 K_2HPO_4, 0.5KH_2PO_4, 0.02 $FeSO_4$, 0.1 $MgSO_4$, 0.1 $CaCl_2$, 0.0005 MnSO4, 0.00064 g/L de $ZnCl_2$) con petróleo al 20% más 150 mL de una solución búfer a 52 mM (K_2HPO_4, 5.4 g/L y KH_2PO_4, 2.6 g/L; pH 7). La cámara catódica contuvo 700 mL de una solución búfer a 82 mM (K_2HPO_4, 8.8 g/L y KH_2PO_4, 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/cm^2) (Fuel Cell, Inc., USA). Para eliminar las impurezas los electrodos se mantuvieron sumergidos por 24 horas en una solución 1 M de H_2SO_4 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.

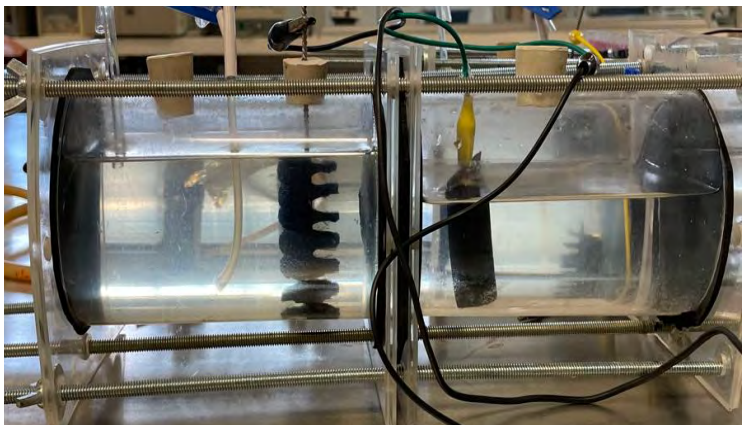


Figura 1. Configuración celda de combustible microbiana de doble camara utilizada en este trabajo

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	$34x10^4 \pm 3$	R1, R2, R3
	$25x10^4 \pm 3$	R1, R2, R3
	$15x10^4 \pm 2$	R1, R2, R3

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

$$Yij = \mu + Ii + £ji \quad i = 1, 2, 3... t \; j = 1, 2, 3... r \quad \text{..... (Ec. 2)}$$

donde: Yij es la variable respuesta en tratamiento i, repetición j, μ es media general, Ii es efecto del tratamiento i, £ij es el error aleatorio; £ji ~ N (0, σ 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 midio 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 diametro 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 laintensidad de corriente obtenida bajo la resistencia externa aplicada.

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

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

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

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, mannosa, 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 Sistematica 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, fermentacion de de glucosa, mannosa, sucrosa y ramnosa.

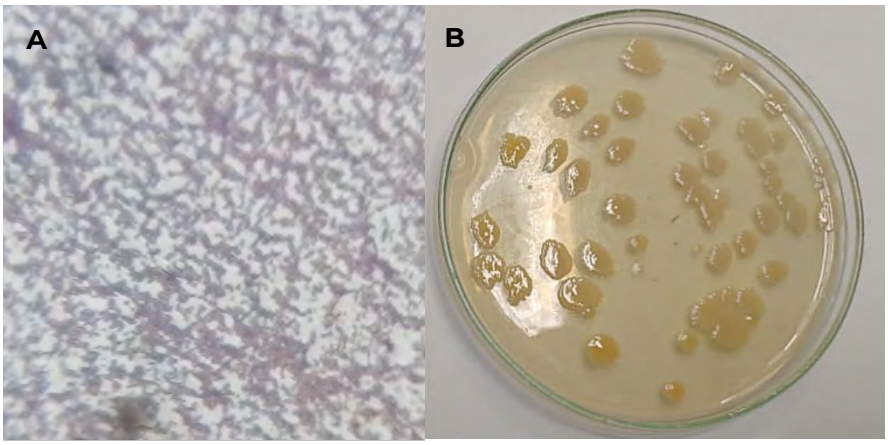


Figura 1. Tinción de Gram+ y colonias de *B. Altitudinis* en la caja petri con medio LB

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 refineria y Zhao y col. [21] mencionan que las cepas de *Bacillus* como *subtilis y altitudinis* se caracterizan por usar el hidrocraburo como fuente de carbono debido a su catabolismo.

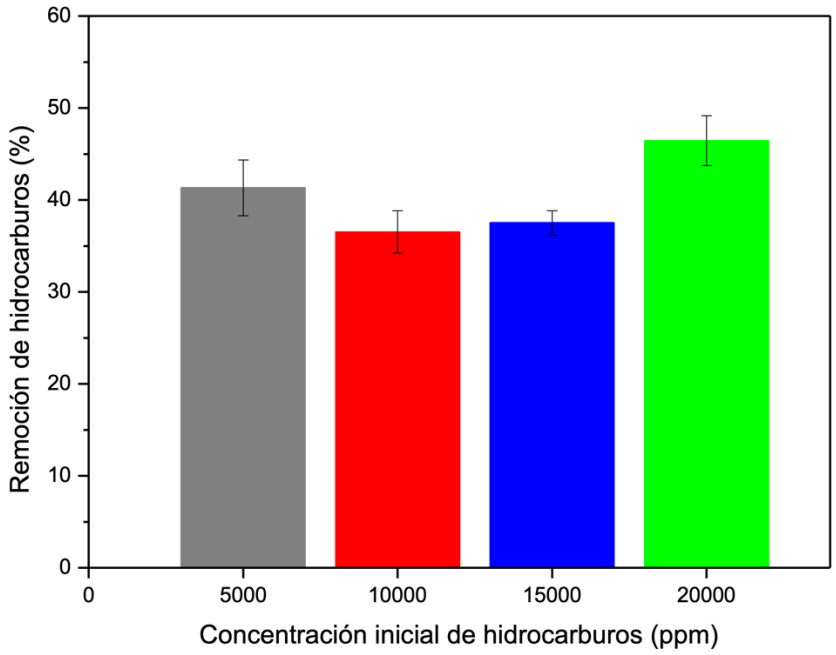


Figura 2. Prueba de tolerancia a la utilización de hidrocarburos en cinco concentraciones con 30 días de incubación

Producción de voltaje en celdas y biomasa electrógena

El crecimeinto 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 $50x10^5$±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 incial 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.

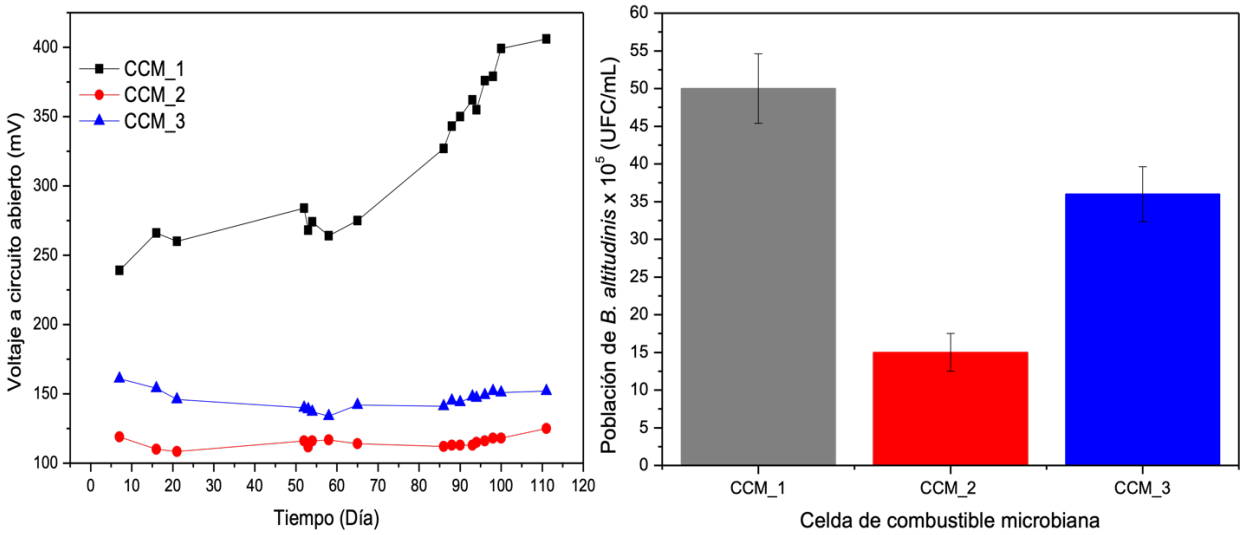


Figura 3. a) Comportamiento del voltaje en celdas de combustible através del tiempo y b) Población de *B. altitudinis* en día de máximo voltaje

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 polarizición 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 resitencia 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].

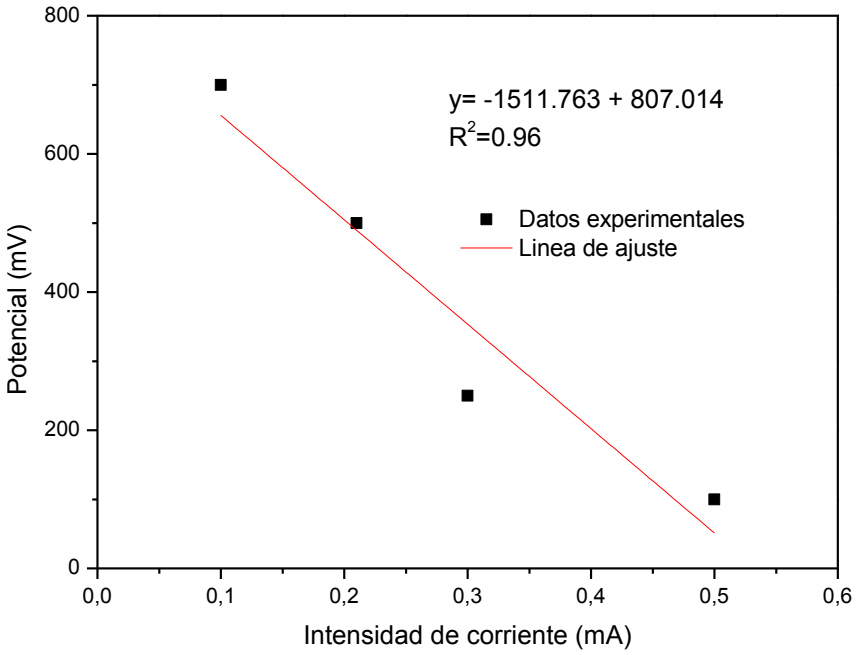


Figura 4. Comportamiento del voltaje en celdas de combustible a través del tiempo

Análisis voltampetrométrico

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 $4x10^{-4}$ A, respectivamente) comparado con el voltamperograma del medio fresco esterilizado de $2.2x10^{-4}$ A. Esto indica la existencia de actividad catalítica redox y la trasnferencia 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.

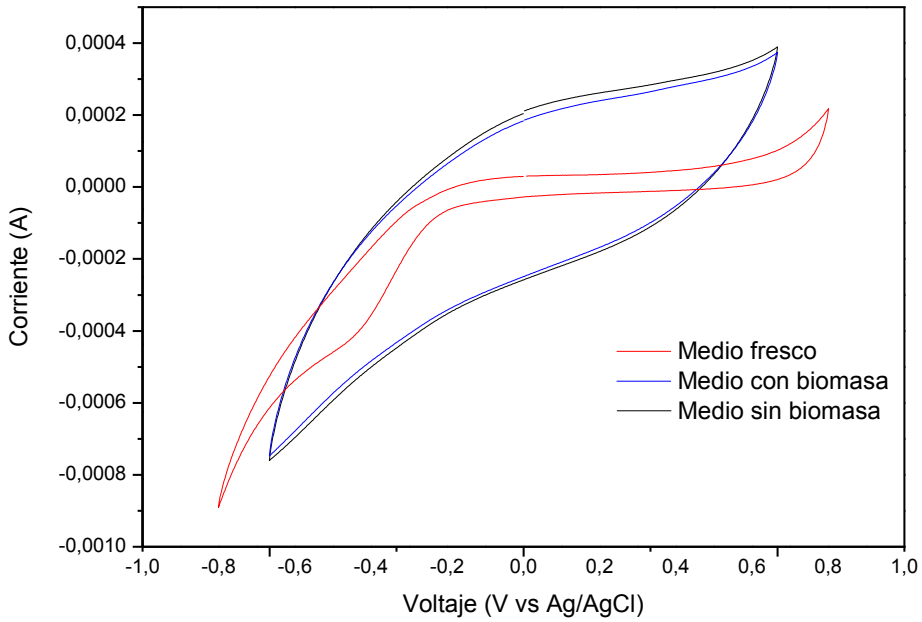


Figura 5. Voltamperograma cíclico de la celda CCM_1

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 periodp 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 Francisco[1], Chan Pavón Miriam Victoria[1], Santos Flores Jorge[1] [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

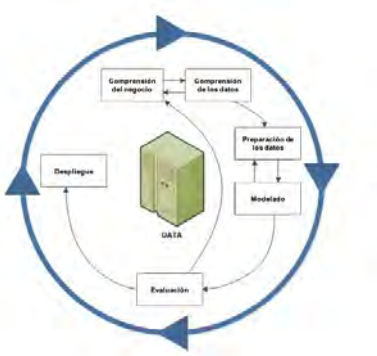
En la era actual, caracterizada por la digitalización y la acumulación masiva de datos, las empresas inmobiliarias enfrentan el desafío de adaptarse a las dinámicas cambiantes del mercado y a las expectativas de los consumidores. El análisis de datos se ha convertido en una herramienta indispensable, 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.

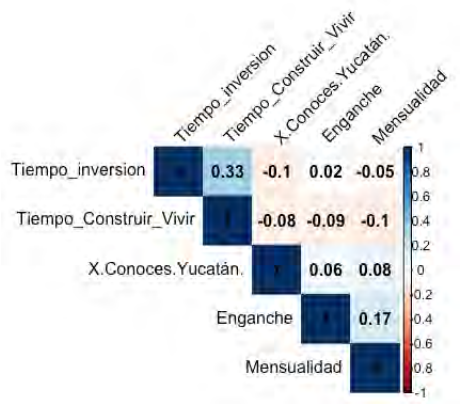


Gráfico 1. Matriz de Correlación que muestra la relación entre 'Enganche' y 'Mensualidad'.

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?"

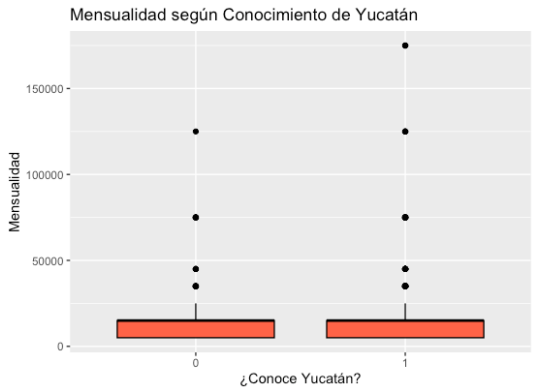


Gráfico 2. Boxplot de Variable Mensualidad por variable "Conoces Yucatán"

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.

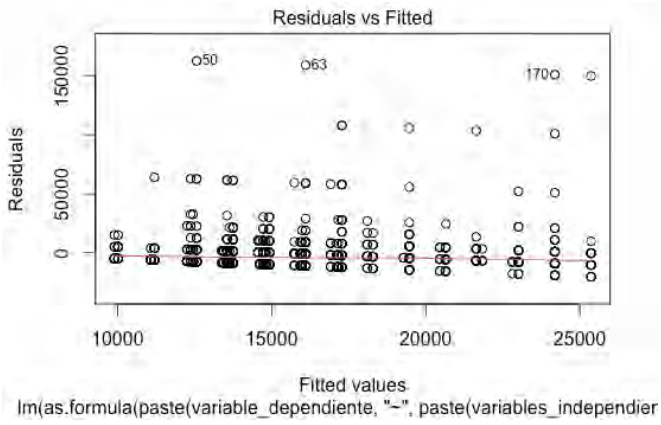


Gráfico 3. Gráfico de Coeficientes de Residuales

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.

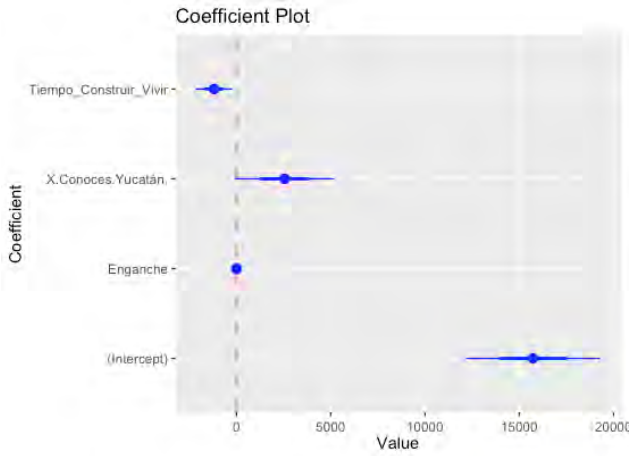


Gráfico 4. Gráfico de Coeficientes del modelo

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.

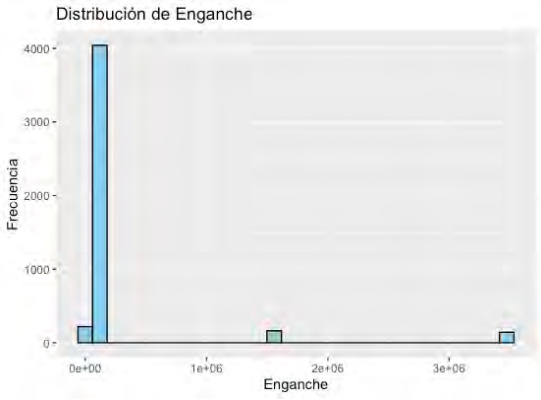


Gráfico 5. Histograma de Distribución de Enganche

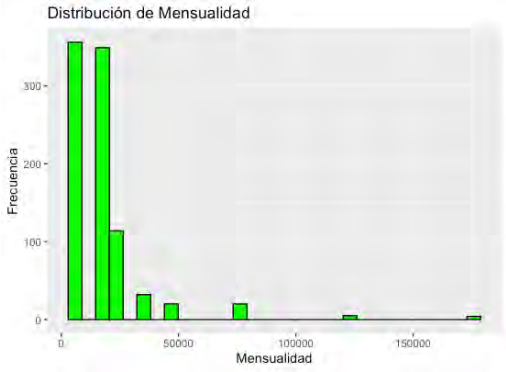


Gráfico 6. Histograma de Distribución de Mensualidad

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

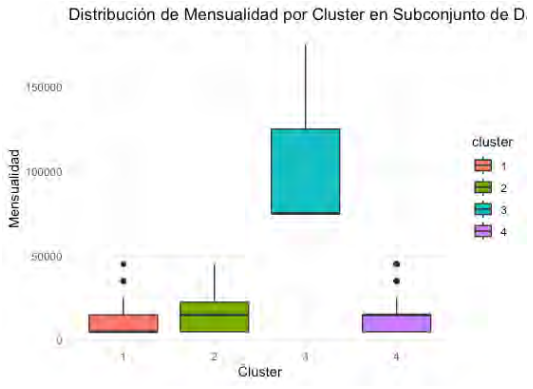


Gráfico 7. Diagrama de cajas de districución de mensualidad por cluster

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 Analitycs 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, Perla[1], Ojeda-Morales, Marcia E.[1], Hernández-Rivera, Miguel A.[1], Gómez-Jiménez, Sulma G.[1], Córdova-Bautista, Yolanda[1]*

[1]División 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 biosufactantes. Los resultaron evidenciaron que el *Aspegillus 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 *Aspegillus 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.

Etapa 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.

Etapa 2. Identificación de hongos petrofílicos

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 petrofílicos. 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 petrofílicas 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±1°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 almacenad

punto, se preparó el agar base sangre de acuerdo con [13], con ayuda de un sacabocado (1 cm^2) 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 lb*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 de1 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 Giraldas 1.

Tabla 1. Caracterización del petróleo de la batería del Campo Giraldas 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).

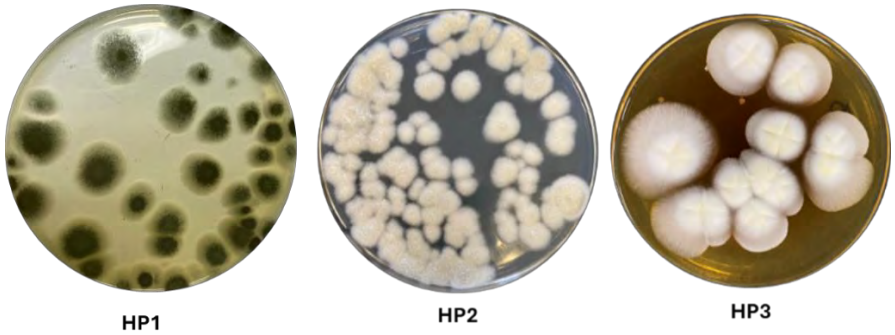


Figura 1. Cepas de hongos filamentosos aislados de la muestra de petróleo crudo procedente del Campo Giraldas, Reforma, Chiapas.

Identificación de hongos petrofílicos

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 petrofílica. 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 petrofílica HP1 y la degradación de petróleo, a partir de este experimento la cepa HP1 fue caracterizada como petrofílica, al reducir un 15% del petróleo inicial en tres semanas. La cepa HP3 fue desechada debido débil desarrollo en petróleo crudo.

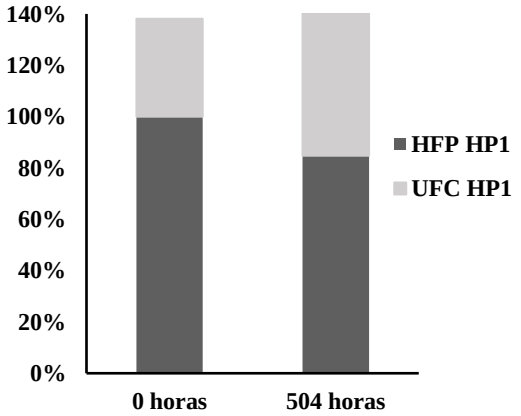


Figura 2. Relación del crecimiento microbiano y la degradación de petróleo crudo en un suelo vertisol a 50,000 ppm de la cepa HP1. Bioensayo establecido por 504 h.

Identificación del género de los hongos petrofílicos

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

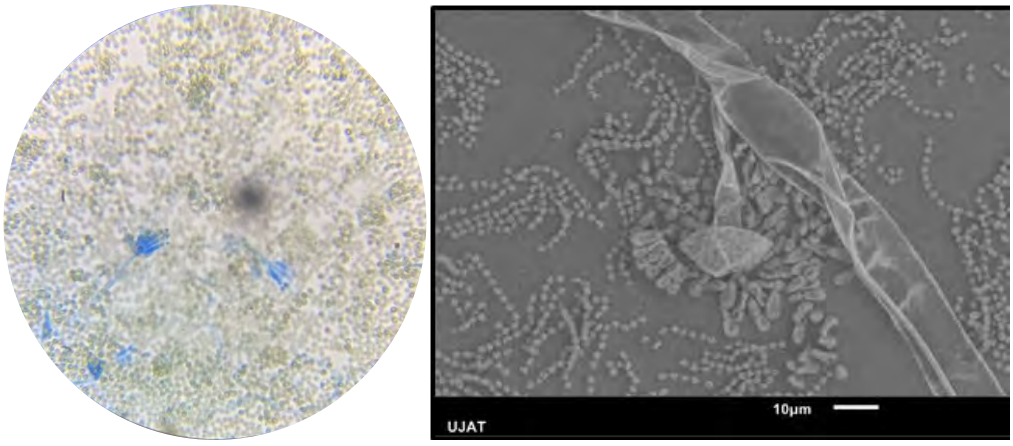


Figura 3. Cepa fúngica perteneciente al género *Aspergillus sp; a) Fotografía en microscopio óptico b) Fotografía en microscopio eléctrico de barrido (MEB).*

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 g*L^{-1} + 1 mL de petróleo crudo estéril) en diversos tiempos.

Tabla 3. Comportamiento de propiedades del caldo con HP1 *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_{24}, %)**	**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 ± 0.04 cm), el índica 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.*

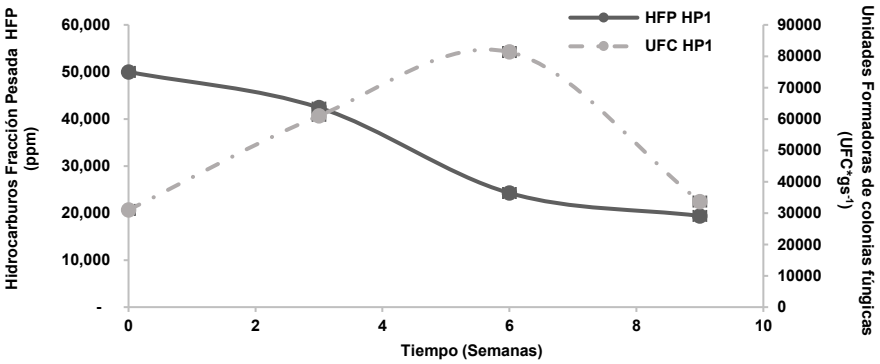


Figura 4. Gráfica representativa del crecimiento poblacional de *Aspergillus ps*, en unidades formadoras de colonia por gramo de suelo (UFC*gs^{-1}), contra la degradación de Hidrocarburos de Fracción Pesada (HFP). Las barras de error representan el promedio de 3 repeticiones por medición.

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

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 *Aspergillius 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 (CL_{50}), 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 Osores y C. Careño-Farfán, «Biosurfactants in the bioremediation of hydrocarbon-contaminated soils,» *Scielo Preprintes,* 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. Ingenieria, Tecnologia e Investigacion,* 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. ´. 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 niguer,» *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. l. 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 Acinotebacter baumannii,» *Mexican Journal of Biotecnnology,* 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.

[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 Madai[1], Ojeda-Morales Marcia E.[1], García-Frías Fatima*[1], López-Lázaro José De los Santos[1], Cruz-Pérez Alida E. [1]

[1]Laboratorio 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 CO_2 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 and using an ANOVA the best treatment was determined. Results obtained showed statistically significan 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 $3x10^9$ 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 CenturionTM 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 $$\text{Rendimiento} = 1 + \frac{f}{fmax}$$

Dónde: f son coeficientes estequiometricos de la ecuación 2 y $fmax$ es el rendimiento teórico máximo

Ecuación 2

$$wys = cy_B + fjy_P$$

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.

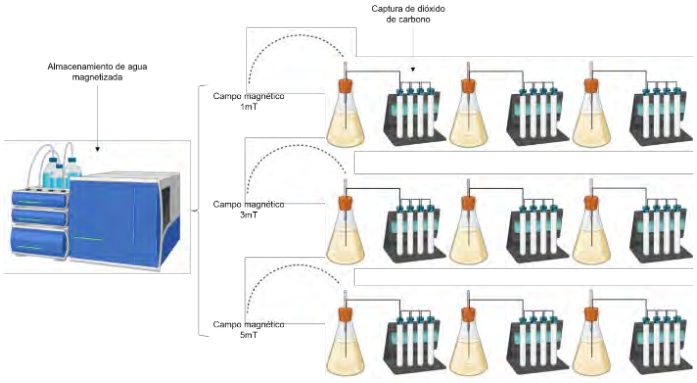


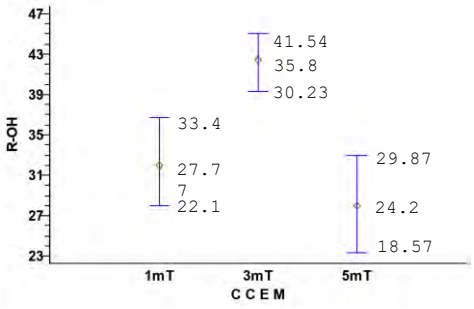
Figura 1. Bioensayo de los tratamientos de campo electromagnéticos (1mT, 3 mT, 5 mT)

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.).

2a



2b

Método:95.0 % Tukey HSD			
Campo electromagnético	Conteo	Promedio	Grupos homogéneos
5 mT	18	24.2222	X
1 mT	18	27.7778	XX
3 mT	18	35.8889	X

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 acabo 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 deslignificacion alcalina y remojo con amoniaco. A las 9 h de fermentación con los pretratamientos de deslignificacion 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.

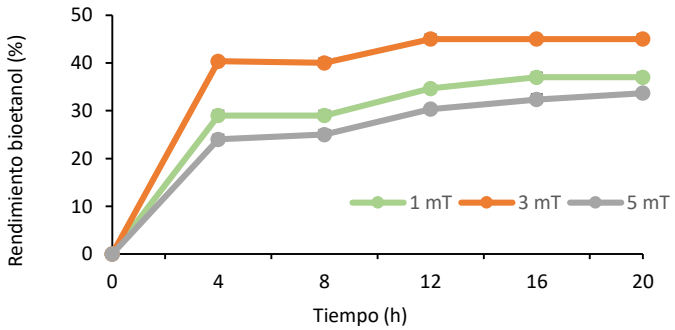


Figura 3. Rendimiento de bioetanol usando un campo electromagnético de 1 mT, 3mT y 5mT

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±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.

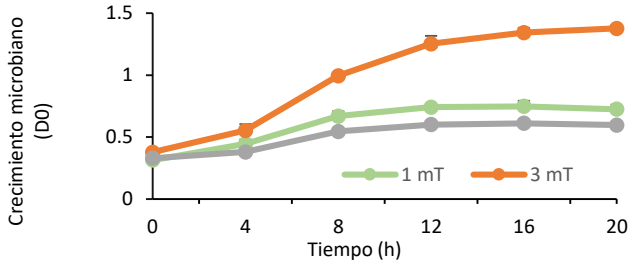


Figura 4. Densidad óptica (DO) del crecimiento microbiano estimulado por los campos electromagnéticos a intensidades de 1mT, 3mT y 5mT.

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. l. 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
Acinotebacter 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 alcoholica 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.

ESPECTROSCOPÍA ATR-FTIR Y DE CORRELACIÓN BIDIMENSIONAL (2DCOS) APLICADA A LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS

Contreras-Quiñones Héctor Jesús[1], *Andrade-Ortega Jesús Ángel*[1], *Ramírez-Barragán Carlos Alberto*[1], *Díaz-Ramos Sara Gabriela*[1], *Rodríguez-Rivas Antonio*[1].

[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.ramirezb@academicos.udg.mx, sara.diaz@academicos.udg.mx, antonio.rrivas@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].

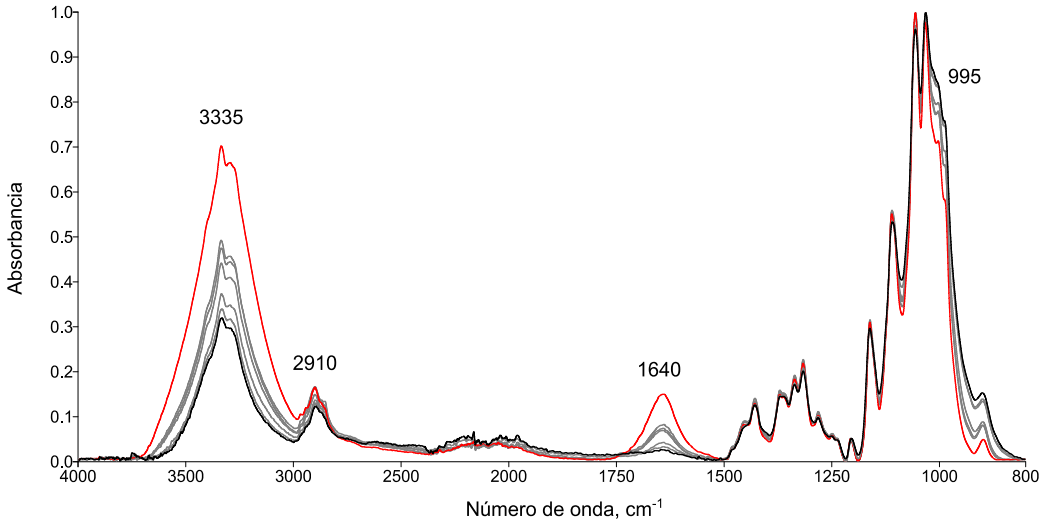


Figura 1. Espectros ATR-FTIR de algodón con diferentes tratamientos. En negro, espectro inferior, la muestra secada por 120 minutos a 100°C; en rojo, espectro superior, la muestra humectada por 480 minutos. En la Figura 2 se muestran los espectros de correlación bidimensional sincrónica y asincrónica 2DCOS de los espectros ATR-FTIR de las fibras celulósicas. El espectro sincrónico $\Phi(\tilde{\upsilon}_1, \tilde{\upsilon}_2)$, 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 Φ (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 Φ (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 $\Psi(\tilde{\upsilon}_1, \tilde{\upsilon}_2)$ 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 $\tilde{\upsilon}_1$ a $\tilde{\upsilon}_2$ 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].

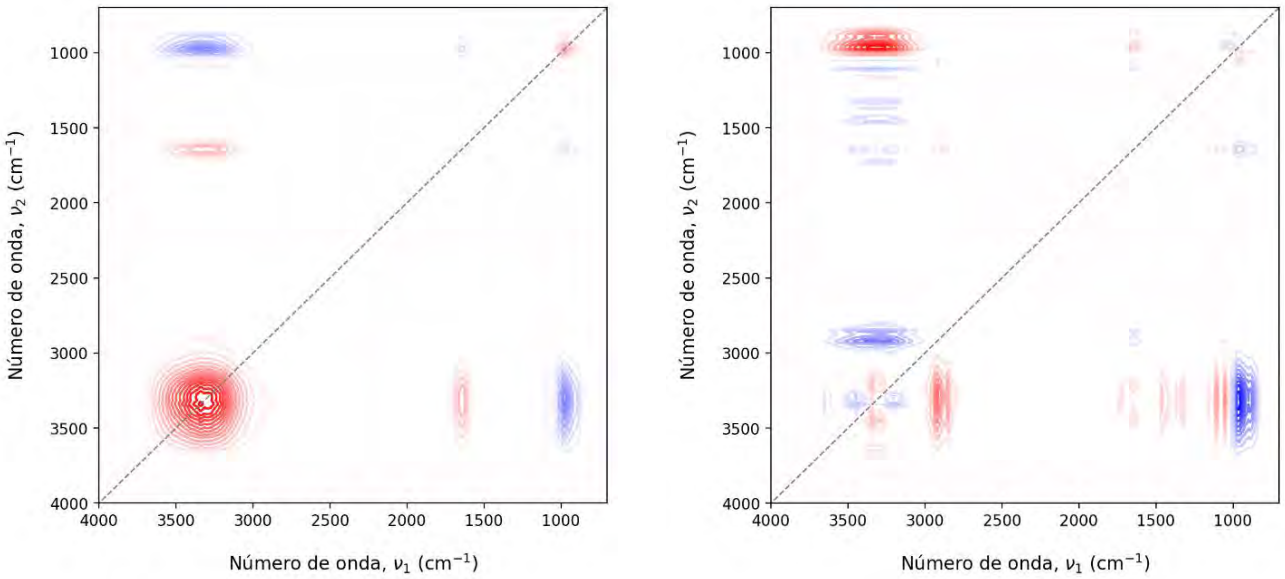


Figura 2. Espectros de correlación bidimensional sincrónica Φ(ῦ1, ῦ2) (izquierda) y asincrónica Ψ(ῦ1, ῦ2) (derecha) de los espectros ATR-FTIR de las muestras de celulosa seca y humectada. Los picos positivos en rojo y los negativos en azul, la línea punteada es la diagonal principal.

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 $\tilde{\upsilon}_1$ ocurre antes que $\tilde{\upsilon}_2$, 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 Ψ(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 Ψ(3270, 3335) y Ψ(3335, 3405) dan información importante sobre el comportamiento de los puentes de hidrógeno en la humectación de la celulosa.

En cada unidad de anhidroglucopiranosa 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 interaccionar 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 anhidroglucopiranosa 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.

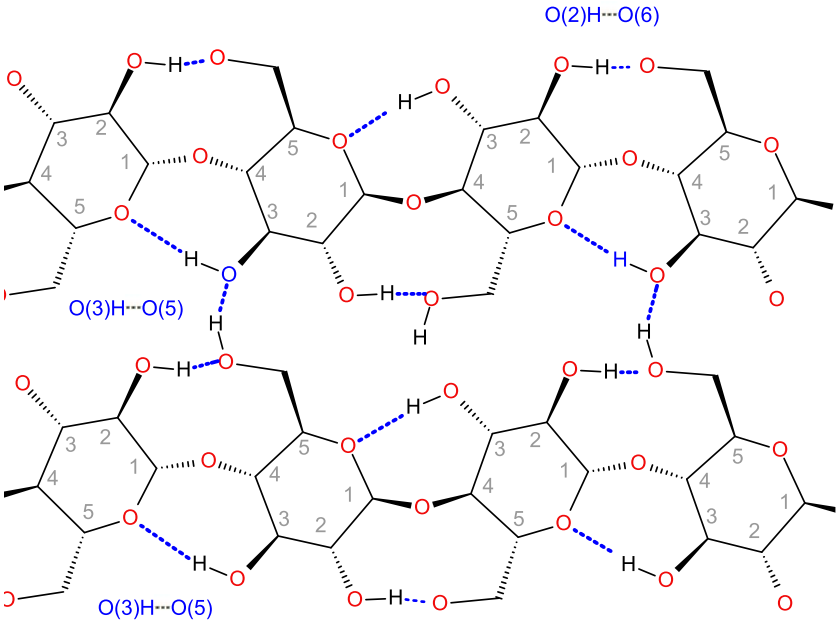


Figura 3. Dos cadenas adyacentes de celulosa mostrando el puente de hidrógeno intermolecular O(6)H···O(3), y los dos intramoleculares: O(3)H···O(5) y O(2)H···O(6). Los puentes de hidrógeno se indican en color azul.

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, Ψ(2910, 3335) y Ψ(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].

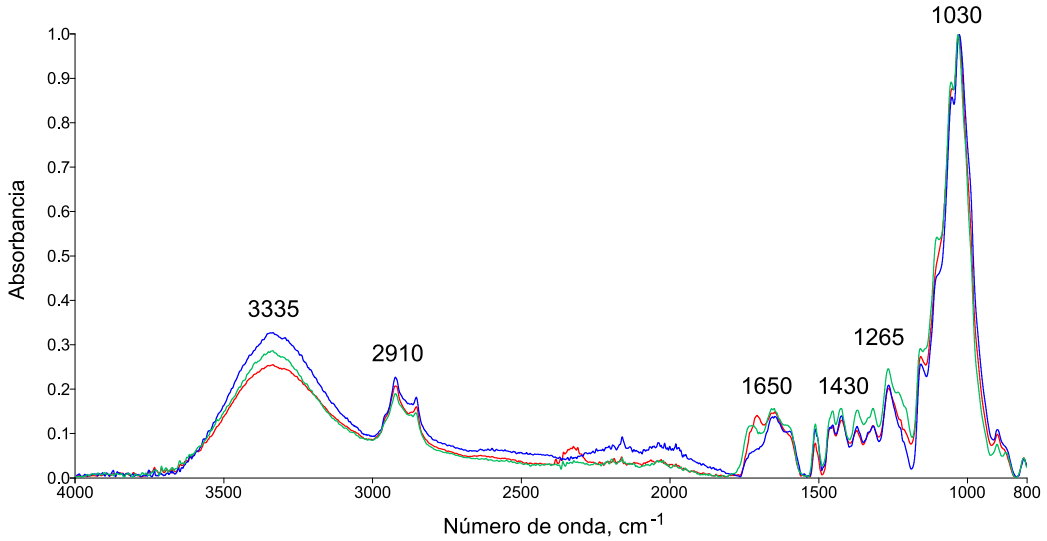


Figura 4. Espectros ATR-FTIR de *Pinus pseudostrobus* (azul), *P. ayacahuite* (verde) y *P. oocarpa* (rojo).

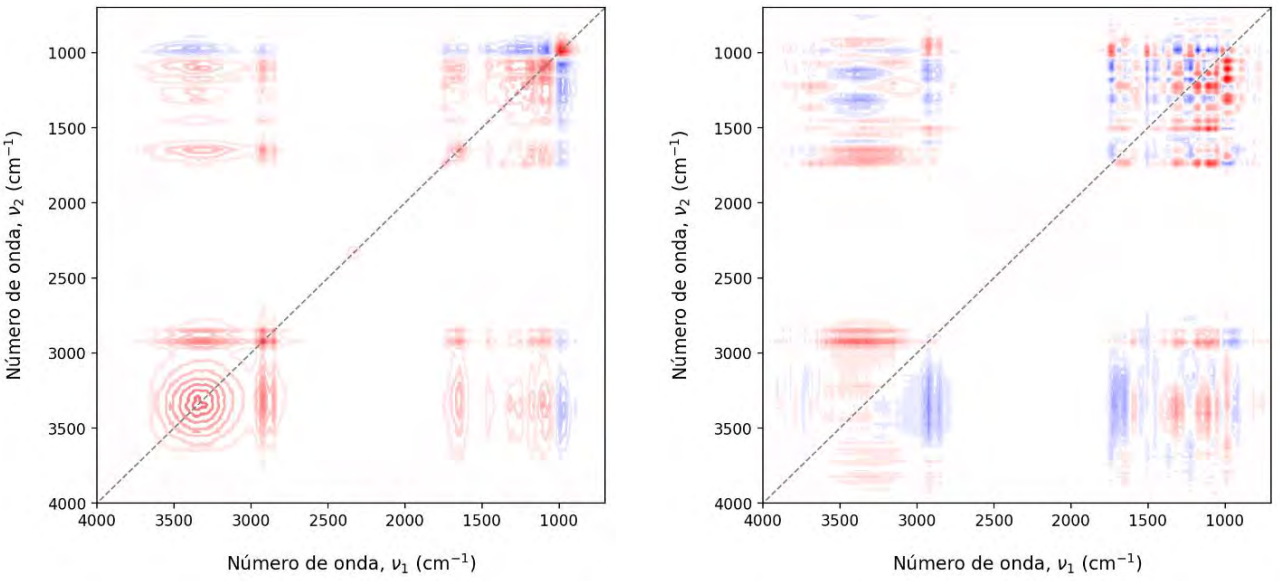


Figura 5. Espectros de correlación bidimensional sincrónica Φ(ῦ1, ῦ2) (izquierda) y asincrónica Ψ(ῦ1, ῦ2) (derecha) de los espectros ATR-FTIR de las 27 muestras de pinos. Los picos positivos en rojo y los negativos en azul, la línea punteada es la diagonal principal.

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) Φ(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 Φ(995, 3335), que corresponde a los carbohidratos de la madera. Hay otro en Φ(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 O(3)H···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, O(6)H···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: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://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.jpcb.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

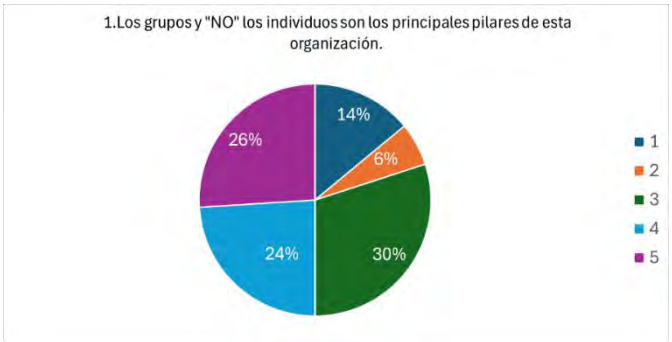


Figura 1. Los grupos y "NO" los individuos son los principales pilares de esta organización, elaboración propia/2024.

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.

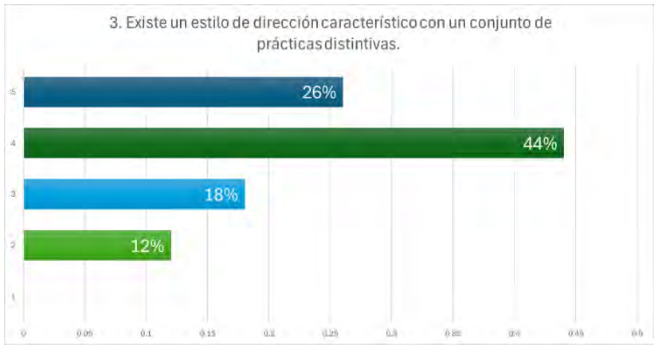


Figura 3. Existe un estilo de dirección característico con un conjunto de prácticas distintivas, elaboración propia/2024.

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.



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_MIPYMES24.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/

[5] Banco de México (BANXICO)., “Reporte sobre las economías regionales abril-julio 2024 ”, p. 8, septiembre de 2024.

[6] Ayala Espinosa Camila, “Región sur lidera el crecimiento económico del país: Banxico.”, México, el 14 de septiembre de 2023.

[7] Wikipedia la enciclopedia libre, “Portal: Veracruz de Ignacio de la llave”.

[8] E. Hernández, “Empresarios mexicanos salen al rescate de las pymes en Veracruz”, *forbes, México 2022/05/24*, 2022.

[9] Wikipedia la enciclopedia libre, “Región de las altas montañas (Veracruz)”. Consultado: el 5 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%B3n_de_Las_Monta%C3%B1as_(Veracruz)#:~:text=La%20Regi%C3%B3n%20de%20Las%20Altas%20Monta%C3%B1as

[10] Enríquez Juan José, “Detecta CANACO que 40% de negocios opera en la informalidad.”, *Oliva*, Orizaba, el 27 de junio de 2024. Consultado: el 5 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.olivanoticias.com/cordoba_orizaba/264113/detecta_canaco_que_40_de_negocios_opera_en_la_informalidad#:~:text=Orizaba,%20Ver.-%20De%20acuerdo%20con%20el

[11] sales force latam, “Clústeres: ¿Qué son y para qué sirven? ”. Consultado: el 5 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.salesforce.com/mx/blog/clusteres/

[12] Ayuntamiento de Orizaba 2022-2025, “Plan municipal de desarrollo Orizaba Veracruz 2022-2025.”, 2022, *Orizaba*. Consultado: el 5 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.veracruz.gob.mx/finanzas/wp-content/uploads/sites/2/2022/PMD/PMD%20Orizaba.Veracruz.2022-2025..pdf#:~:text=El%20Municipio%20de%20Orizaba%20se%20asienta

[13] Revista Binacional Latino Excellenc, “El impacto de la globalización en las economías locales: oportunidades y retos”, jun. 2023, Consultado: el 5 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://larevistabinacional.com/es/economia/el-impacto-de-la-globalizacion-en-las-economias-locales-oportunidades-y-retos/#:~:text=Sus%20impactos%20negativos%20m%C3%A1s%20comunes%20incluyen.

[14] L. Ó. Ocampo *et al.*, “Radiografía del emprendimiento en México 2023, edición nacional.”, 2023. [En línea]. Disponible en: https://asem.mx/

[15] Organización para la cooperación y el desarrollo económicos, “Índice de Políticas para PyMEs: América Latina y el Caribe 2024 HACIA UNA RECUPERACIÓN INCLUSIVA, RESILIENTE Y SOSTENIBLE”, 2024, doi: 10.1787/807e9eaf-es.

[16] L. Ramos Garza y C. Ramos Garza, “Potenciación de la cultura organizacional en organizaciones mexicanas”, *Lúmina*, vol. 22, núm. 1, p. E0006, feb. 2021, doi: 10.30554/lumina.v22.n1.4079.2021.

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].*

[1]Red 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 influye 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 pose diversas zonas de manglar que presentan este mimo fenómeno, pero hasta la fecha son escasos los estudios sobre las posibles alternativas de remediación. En zonas similares, se han aplicada procesos de oxidación avanzada (AOP) que han demostrado ser una alternativa prometedora y la remoción de compuestos orgánicos, principalmente aquellos con características tóxicos. 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 consideras 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^-) (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].

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + HO^- + HO^{\circ} \quad ecuación\ 1$$
$$Fe^{3+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{2+} + HO_2^- + H^+ \quad ecuación\ 1.1$$
$$Fe^{3+} + HO_2^{\cdot} \rightarrow Fe^{2+} + O_2 + H^+ \quad ecuación\ 1.2$$
$$Fe^{3+} + H_2O_2 \rightarrow Fe(OH)^2 + HO^{\cdot} \quad ecuación\ 1.3$$
$$HO^{\cdot} + H_2O_2 \rightarrow HO_2^{\cdot} + H_2O \quad ecuación\ 1.4$$
$$HO^{\cdot} + Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + HO^- \quad ecuación\ 1.5$$
$$HO_2^{\cdot} + HO_2^{\cdot} \rightarrow H_2O_2 + 0_2 \quad ecuación\ 1.6$$

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^-), radical superóxido (O_2) y radical perhidroxilo (HO^2). 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^-).
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 friático (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/cm^3. Sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4) MEYER A.C.S, Hexano REASOL A.C.S, Sulfato ferroso heptahidrato (FeSO4.7 H_2O), ácidos: (H_2SO_4, HNO_3 y HCl MEYER A.C.S a una concentración de 0.5 N y peróxido purificado al 50% (H_2O_2).

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).

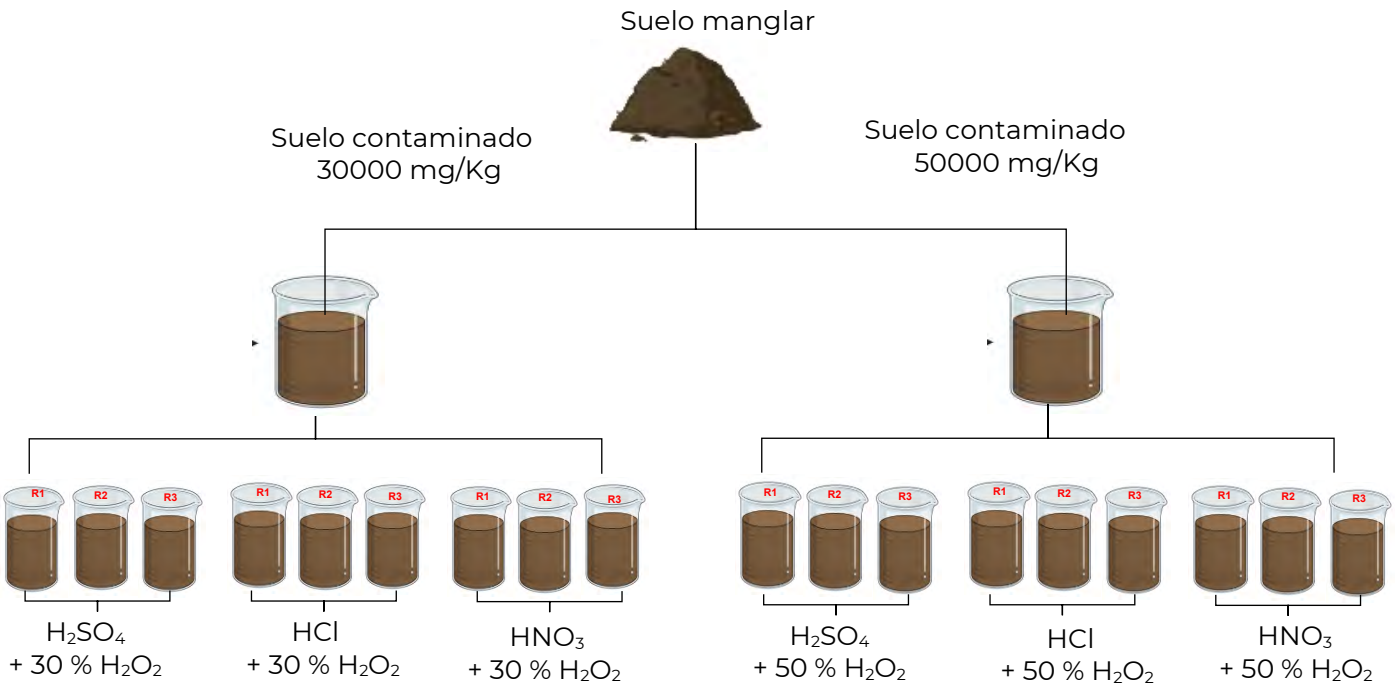


Figura 1: Diseño experimental.

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 $FeSO_4$ ($7H_2O$), 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 Soxleth) [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).

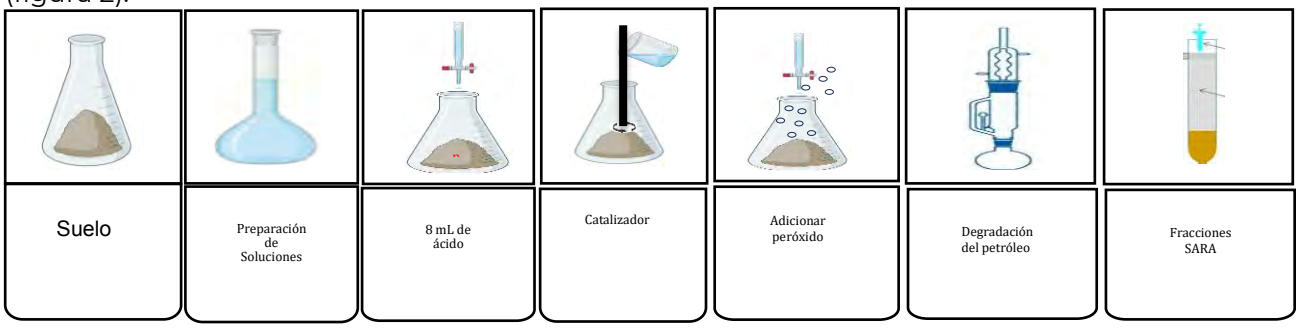


Figura 2: Aplicación y seguimiento del tratamiento fisicoquímico.

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, encontraste 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].

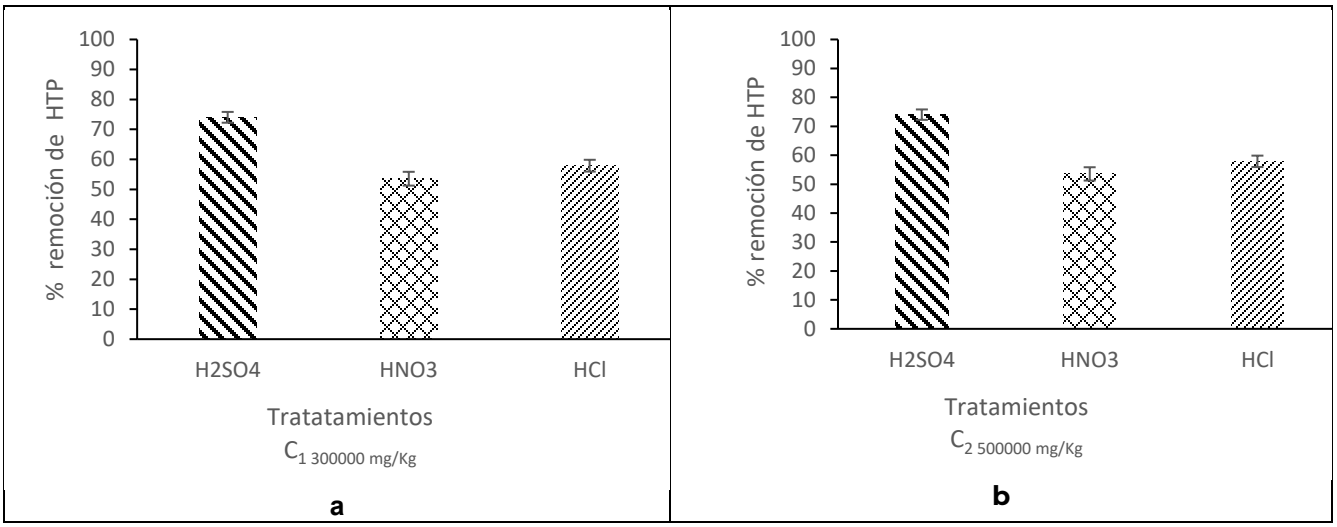


Figura 2. Porcentaje de remoción en los tratamientos con los tres tipos de ácidos

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 H_2SO_4 no existe presencia de las resinas [19,20].

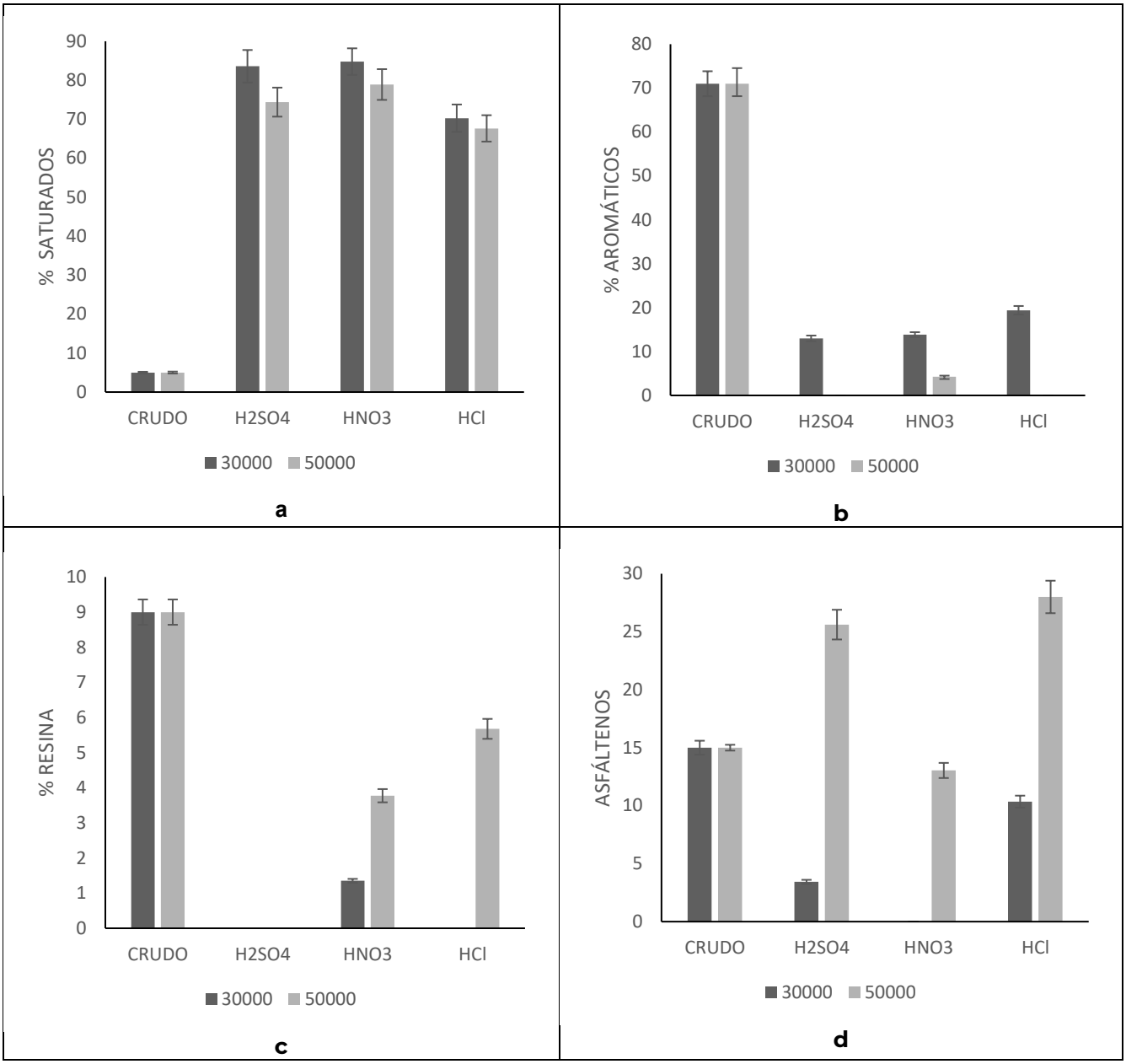


Figura 3. Fracciones SARA: saturados (S), aromáticos (A), Resina (R) y asfáltenos (As)

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 asfáltenos, 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.° 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.° 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.° 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.° 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.° 103, FAO, p. 103, 2007,

[10] A. D. “Standard practice for extraction of solid waste simples for chemical analysis using Environmental Assessment, Book of Standards”, vol. 11, n.° 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.° 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.° 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.° 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.° 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 Romeo1***
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 Conexion 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 molts (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 tabajo" [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 accesoriosy 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.

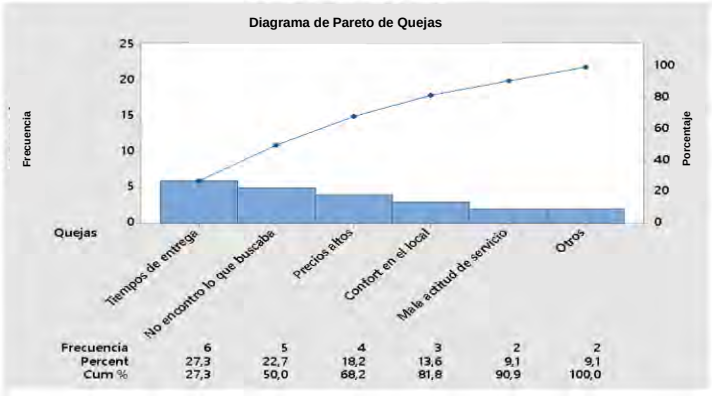


Figura 1.- Diagrama de Pareto realizado en Minitab, de las quejas de los clientes. Elaboración propia.

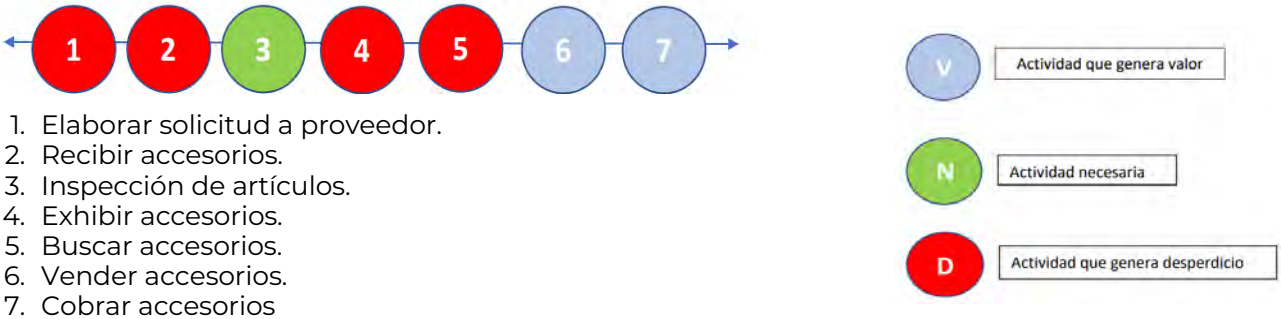
Materiales

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

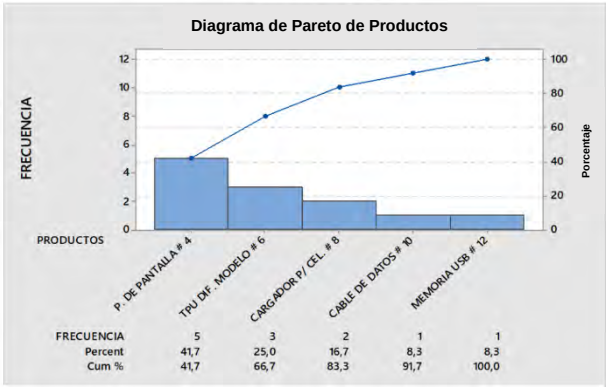


Figura 2.- Diagrama de Pareto de tiempos de entrega

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 x 4 = 24 días al mes

La demanda del cliente es la siguiente:
Producto # 4 requieren 5 accesorios diarios 5x24= 120
Producto #6 requieren 3 accesorios diarios 3x24= 72
Producto #8 requieren 2 accesorios diarios 2x24= 48
10 accesorios diarios
(120+72+48) = 240 accesorios al mes
8 horas diarias x 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

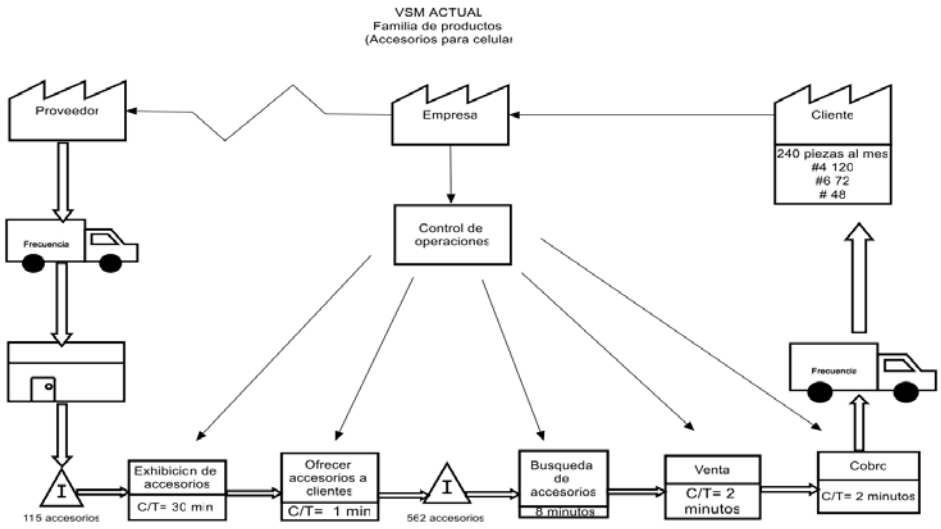


Figura 3.- VSM de la venta de accesorios para celular

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

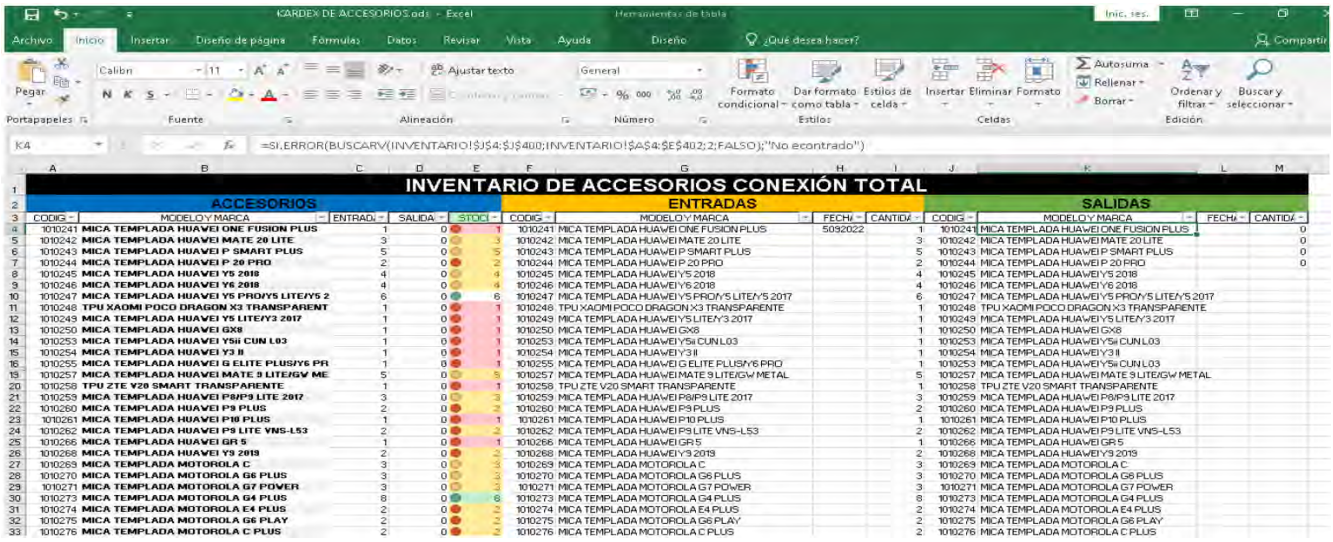
El proyecto Lean [6] se puede solucionar con herramientas de control y sentido común como por ejemplo 5´s o un inventario de accesorios en Excel que permitan eliminar el efecto de la espera en la cadena de valor.

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	FECHA	CANTIDA	CODIG	MODELO Y MARCA	FECHA	CANTIDA
1010241	MICA TEMPLADA HUAWEI ONE FUSION PLUS	1	0	1	1010241	MICA TEMPLADA HUAWEI ONE FUSION PLUS	5092022	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		
1010246	MICA TEMPLADA HUAWEI Y6 2018	4	0	4	1010246	MICA TEMPLADA HUAWEI Y6 2018		4	1010246	MICA TEMPLADA HUAWEI Y6 2018		
1010247	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5 PRO/Y5 LITE/Y5 2	6	0	6	1010247	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5 PRO/Y5 LITE/Y5 2017		6	1010247	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5 PRO/Y5 LITE/Y5 2017		
1010248	TPU XAOMI POCO DRAGON X3 TRANSPARENT	1	0	1	1010248	TPU XAOMI POCO DRAGON X3 TRANSPARENTE		1	1010248	TPU XAOMI POCO DRAGON X3 TRANSPARENTE		
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		
1010250	MICA TEMPLADA HUAWEI GX8	1	0	1	1010250	MICA TEMPLADA HUAWEI GX8		1	1010250	MICA TEMPLADA HUAWEI GX8		
1010253	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5II CUN L03	1	0	1	1010253	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5II CUN L03		1	1010253	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5II CUN L03		
1010254	MICA TEMPLADA HUAWEI Y3 II	1	0	1	1010254	MICA TEMPLADA HUAWEI Y3 II		1	1010254	MICA TEMPLADA HUAWEI Y3 II		
1010255	MICA TEMPLADA HUAWEI G ELITE PLUS/Y6 PR	1	0	1	1010255	MICA TEMPLADA HUAWEI G ELITE PLUS/Y6 PRO		1	1010253	MICA TEMPLADA HUAWEI Y5II CUN L03		
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		
1010258	TPU ZTE V20 SMART TRANSPARENTE	1	0	1	1010258	TPU ZTE V20 SMART TRANSPARENTE		1	1010258	TPU ZTE V20 SMART TRANSPARENTE		
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		
1010260	MICA TEMPLADA HUAWEI P9 PLUS	2	0	2	1010260	MICA TEMPLADA HUAWEI P9 PLUS		2	1010260	MICA TEMPLADA HUAWEI P9 PLUS		
1010261	MICA TEMPLADA HUAWEI P10 PLUS	1	0	1	1010261	MICA TEMPLADA HUAWEI P10 PLUS		1	1010261	MICA TEMPLADA HUAWEI P10 PLUS		
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		
1010266	MICA TEMPLADA HUAWEI GR 5	1	0	1	1010266	MICA TEMPLADA HUAWEI GR 5		1	1010266	MICA TEMPLADA HUAWEI GR 5		
1010268	MICA TEMPLADA HUAWEI Y9 2019	2	0	2	1010268	MICA TEMPLADA HUAWEI Y9 2019		2	1010268	MICA TEMPLADA HUAWEI Y9 2019		
1010269	MICA TEMPLADA MOTOROLA C	3	0	3	1010269	MICA TEMPLADA MOTOROLA C		3	1010269	MICA TEMPLADA MOTOROLA C		
1010270	MICA TEMPLADA MOTOROLA G6 PLUS	3	0	3	1010270	MICA TEMPLADA MOTOROLA G6 PLUS		3	1010270	MICA TEMPLADA MOTOROLA G6 PLUS		
1010271	MICA TEMPLADA MOTOROLA G7 POWER	3	0	3	1010271	MICA TEMPLADA MOTOROLA G7 POWER		3	1010271	MICA TEMPLADA MOTOROLA G7 POWER		
1010273	MICA TEMPLADA MOTOROLA G4 PLUS	8	0	8	1010273	MICA TEMPLADA MOTOROLA G4 PLUS		8	1010273	MICA TEMPLADA MOTOROLA G4 PLUS		
1010274	MICA TEMPLADA MOTOROLA E4 PLUS	2	0	2	1010274	MICA TEMPLADA MOTOROLA E4 PLUS		2	1010274	MICA TEMPLADA MOTOROLA E4 PLUS		
1010275	MICA TEMPLADA MOTOROLA G6 PLAY	2	0	2	1010275	MICA TEMPLADA MOTOROLA G6 PLAY		2	1010275	MICA TEMPLADA MOTOROLA G6 PLAY		
1010276	MICA TEMPLADA MOTOROLA C PLUS	2	0	2	1010276	MICA TEMPLADA MOTOROLA C PLUS		2	1010276	MICA TEMPLADA MOTOROLA C PLUS		

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.

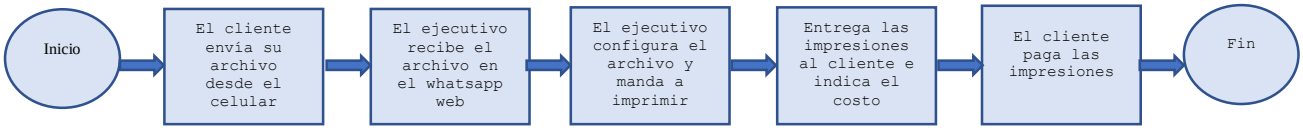


Figura 7.- Proceso de impresión de archivos

Diagrama SIPOC

PROVEEDOR	ENTRADAS									PROCESO	SALIDAS	REQUERIMIENTOS DE LAS SALIDAS	CLIENTE
	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				
Insumos		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

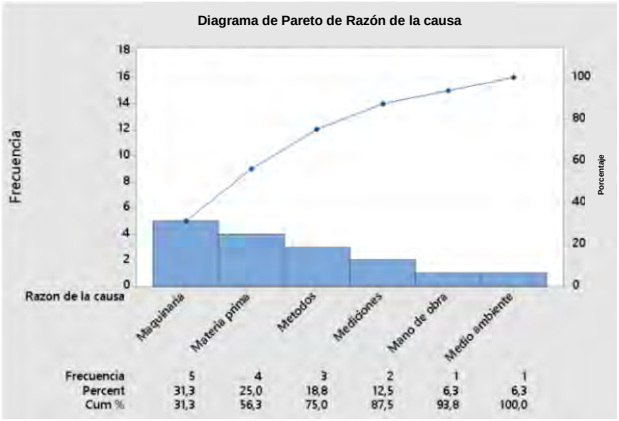


Figura 10.- Diagrama de Pareto

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

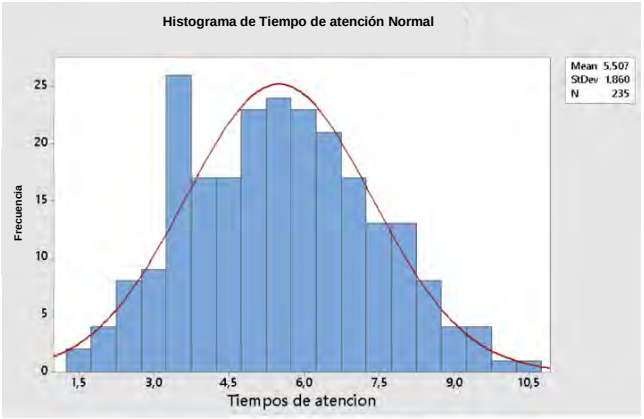


Figura 13.- Histograma de tiempos de atención

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 cliente 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.



Figura 14.- Calidad de la impresión de archivos.

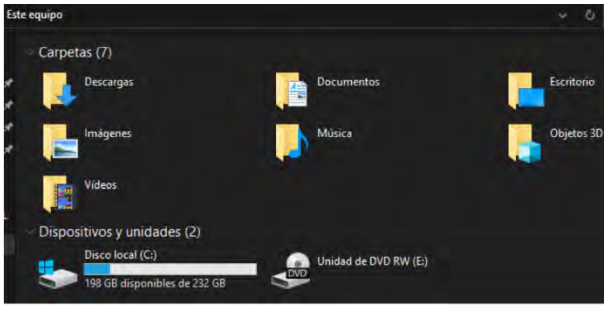


Figura 15.- Formateo de la máquina.

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

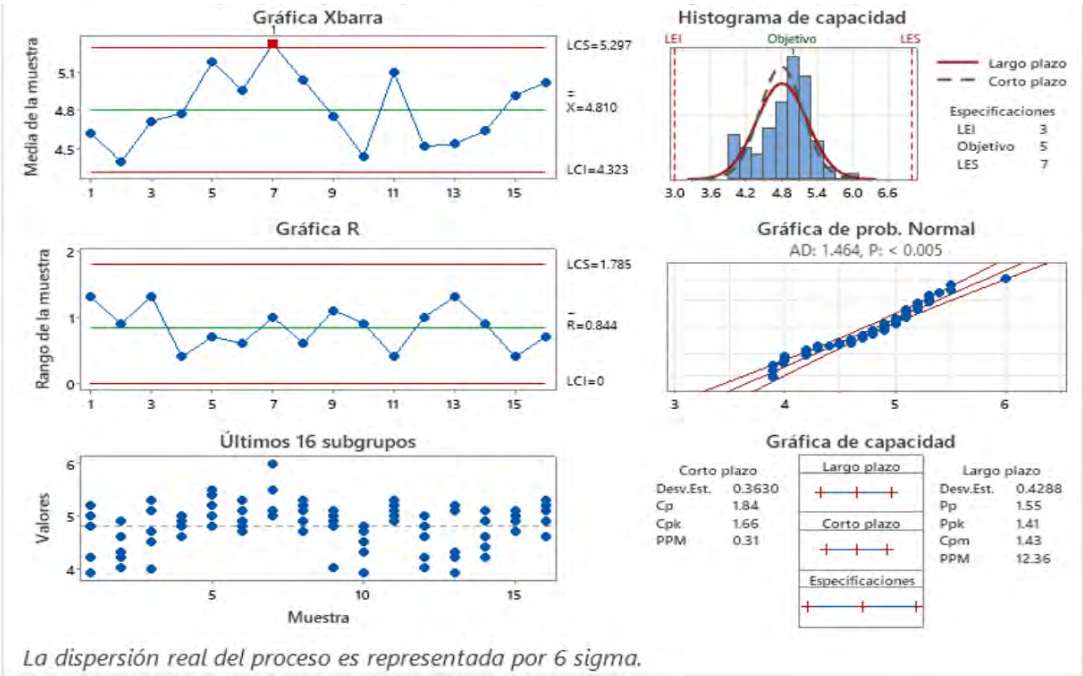


Figura 16.- Informe de capacidad Seis Sigma de tiempos de atención en el proceso de impresión

El proceso se encuentra cerca del valor objetivo de 5 minutos, aumentó el cumplimiento de las especificaciones de los clientes, aumentó la capacidad del proceso, y le falta estabilidad al proceso porque sigue existiendo variación. El proceso no es normal porque el valor P es de < 0.005. El proceso es marginal y se debe mejorar el nivel de calidad porque el Cpk es 1.66. Las partes defectuosas disminuyeron a 12.36.

Si Cpk >1.67 el proceso es aceptable.

Si Cpk <1.67 >1.33 el proceso es marginal y se debe mejorar el nivel de calidad.

Si Cpk < 1.33 el proceso es inaceptable

Trabajo a futuro

Se emitirán evaluaciones periódicas del grado de satisfacción del cliente en la microempresa, para que el proceso se mida conforme a lo establecido por la metodología empleada, y de esta manera se pueda documentar los cambios persistentes en busca del φpk aceptable.

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=CjwKCAjw8rW2BhAgEiwA oRO5rA-4adEIFQttDT-AFN-fytB147_7RwnmmniinTCkeeQGBzmDTNstbhoCmisQAvD_BwE&sig=AOD64_3rUW2BAfMfsIcoD_33-8uns Hc_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.