



Ingeniantes®

Año 12, No.2, Vol.1

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla

latindex

ISSN 2395-9452



Tierra, Energía, Biológicos,
Bioquímica, Medio Ambiente,
Gestión Educativa, Mecánica de Materiales,
Ciencias de la Computación, Calidad
y Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Año 12 / No. 2 / Vol. 1

Información Legal

Ingeniantes, Año 12, No. 2, Vol 1. diciembre 2025 - junio 2026 - es una publicación semestral editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93850, teléfono 01 (235) 323 60 18, página web citt.itsm.edu.mx. Editor responsable: Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-062512501200-203, ISSN 2395-9452, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología del ITSM, Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93850, fecha de última modificación, 12 de diciembre de 2025.

Actualmente indexada en la base de datos del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal LATINDEX, con número de registro 22843.

Se autoriza cualquier reproducción parcial de los contenidos o imágenes de la publicación siempre y cuando sea sin fines de lucro y para usos estrictamente académicos, citando invariablemente la fuente dando los créditos a los autores del artículo.

El contenido de los artículos publicados es responsabilidad de los autores y no representa el punto de vista del editor de la Revista Ingeniantes.

Cuerpo Editorial

Editor General
Instituto Tecnológico Superior de Misantla
Editor
L.M. Jorge Obdulio Gerón Borjas
Coeditor
Lic. Erik Balderas González

Administración

M.I.I. Mayra Lizeth Méndez Oloarte

Propiedad Intelectual

Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología
L.M. Jorge Obdulio Gerón Borjas

Sistemas

Administrador de Sistemas
Webmaster
L.I. Ana Marcela Gutiérrez Romero

Distribución

Publicación electrónica disponible en
citt.itsm.edu.mx/ingeniantes
Correo electrónico:
revista.ingeniantes@itsm.edu.mx
<https://www.latindex.org/latindex/ficha/22843>

Ingeniantes



03



10



16



24



32

Contenido

Identificación de patrones químico-biológicos en la detección de Cáncer de Próstata utilizando técnicas de machine learning _____ 03

Fernanda Ivette Inurreta Cortes; Marco Gallo, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Diagnóstico de necesidades de capacitación en PYMES restauranteras de Orizaba, Veracruz: análisis de variables formativas en manejo de alimentos, servicio al cliente y habilidades laborales _____ 10

Aldo Rosas Carmona; Jaime Alonso Bonilla Gutiérrez; Griselda López Pérez; Uriel Alejandro Morales Carrera; Francisco Javier Mejía Ochoa, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Zongolica.

Optimización de la Gestión Ecoturística mediante Inteligencia de Negocios en la Sierra Nororiental de Puebla _____ 16

Jacobo Robles Calderón; Guadalupe Robles Calderón; Marco Antonio Aguilar Cortés; Miguel Aguilar Cortés; Héctor Vicenteño Rivera, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

Metodología híbrida de investigación y dirección de empresas: ventajas e implicaciones en pequeñas y medianas empresas de Tamazula de Gordiano, Jalisco, México _____ 24

Christopher Ortiz Rubio; Tania Isela Montaña Ríos; Edgar Samid Limón Villegas; Hilda Ramos Martínez, Tecnológico Nacional de México / Tecnológico Superior de Jalisco -Tamazula

Comportamiento de la tasa de absorción de humedad en el bambú (*bambusa oldhamii*) utilizando correlaciones matemáticas _____ 32

Luis Eduardo Fernández Ramírez; Sergio Aurelio Zamora Castro; Lorena del Carmen Santos Cortés; Rolando Salgado Estrada; Margarita Díaz Olalde, Universidad Veracruzana

Ingeniantes



39



47



53



61

Inclusión de grupo Gielphe a la Green List de la Import Alert 24-23 _____ 39
Enrique Gamboa Cano, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Atlitico; Juan Maldonado Montalvo, Colegio de Postgraduados

Aplicación de un fertilizante orgánico líquido y su aplicación en Lactuca sativa _____ 47
Esmeralda Abigail García Suarez, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Mianilla; Arely Sugey Núñez Serrano, Universidad Autónoma de Nuevo León; María Cristina López Méndez; Alan Antonio Rico Barragán, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Mianilla

Desarrollo de un prototipo de fotocolorímetro didáctico lector de microplacas basado en tecnologías de código abierto _____ 53
Arturo Cabrera Vazquez; Eduardo Enrique Salazar; Juan Pablo Salazar; Ruben Enrique Cuevas Alarcon, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior Mianilla.

Sistema de Riego Automatizado con Raspberry Pi, ESP32 y Comunicación Vía MQTT y HTTP _____ 61
Arnulfo Gamaliel Hernández González; Daniela Lizbeth Hernández Sánchez; Oscar Omar García Vázquez; José Luis Fernández Jiménez, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Mianilla



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Identificación de patrones químico-biológicos en la detección de Cáncer de Próstata utilizando técnicas de machine learning

RESUMEN: El Cáncer de Próstata es considerada la segunda causa en mortalidad entre varones, existen dos pruebas de inicio que permite detectarlo entre ellas se encuentran la Prueba de Antígeno Prostático (PSA) y el tacto rectal, estos son considerados como métodos invasivos; los cuales una vez realizados se requiere otros estudios que confirmen de si padece o no la enfermedad, tales como; resonancias magnéticas y biopsias. Por tal motivo al usar inteligencia artificial y obtener un modelo predictivo coadyuvaría en la detección del cáncer de próstata.

En este proyecto se utilizaron herramientas de inteligencia artificial por medio de subrutinas en Python como Scikit-learn, Pandas, Seaborn y Matplotlib para el análisis de una base de datos de 985 pacientes con Cáncer de Próstata, con el fin de determinar las correlaciones tanto biológicas y químicas para su detección. Las variables que se usaron durante la investigación fueron edad, raza, el puntaje de Gleason, mutaciones, tiempo de sobrevivencia, el tipo de muestra de la biopsia y estadio, en donde se aplicó el método de correlaciones lineales. Enseguida se obtuvieron modelos predictivos basados en regresión logística, bosques aleatorios y potenciación extrema de gradiente. En los resultados se observó que entre mayor era la etapa del cáncer disminuía el tiempo para sobrevivir y de igual manera cuando el PSA se encontraba mayor a 4 ng/mL de sangre el paciente presentaba cáncer de próstata además que tenía una menor probabilidad de sobrevivir.

Además, se obtuvieron métricas estadísticas como precisión, sensibilidad, especificidad y área bajo la curva (AUC), resultando el mejor modelo predictivo basado en potenciación extrema de gradiente.

PALABRAS CLAVE: Aprendizaje automático, cáncer de próstata, inteligencia artificial, PSA.



Colaboración

Fernanda Ivette Inurreta Cortes; Marco Gallo, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Fecha de recepción: 04 de abril de 2025

Fecha de aceptación: 29 de mayo de 2025

ABSTRACT: Prostate cancer is considered the second leading cause of death among men. There are two initial tests that allow for its detection: the Prostate Cancer Antigen (PSA) test and the digital rectal examination. These are considered invasive methods; once performed, further studies are required to confirm whether or not the patient has the disease, such as MRIs and biopsies. Therefore, using artificial intelligence and obtaining a predictive model would aid in the detection of prostate cancer.

This project used artificial intelligence tools through Python subroutines such as Scikit-learn, Pandas, Seaborn, and Matplotlib to analyze a database of 985 patients with prostate cancer, in order to determine both biological and chemical correlations for its detection. The variables used in the study were age, race, Gleason score, mutations, survival time, biopsy sample type, and stage, where the linear correlation method was applied. Predictive models based on logistic regression, random forests, and extreme gradient boosting were then obtained. The results showed that the higher the stage of the cancer, the shorter the survival time, and similarly, when the PSA was greater than 4 ng/mL of blood, the patient had prostate cancer and had a lower probability of survival.

In addition, statistical metrics such as accuracy, sensitivity, specificity and area under the curve (AUC) were obtained, resulting in the best predictive model based on extreme gradient boosting XGBoost.

KEYWORDS: Artificial intelligence, cancer of prostate, machine learning, PSA.

INTRODUCCIÓN

La próstata es una glándula que compone el aparato reproductor masculino, donde se sitúa debajo de la vejiga urinaria, tiene como función la fabricación de la proteína llamada antígeno específico de la próstata (PSA), lo que permite sustancias que proporcionan nutrientes y protección para los espermatozoides al momento de la eyaculación, que ayuda para el surgimiento de la fertilización del ovulo [1].

Uno de los padecimientos relacionados que puede afectar esta parte de los varones es el cáncer de próstata que es considerada de las principales causas de morbilidad y mortalidad en México, esta enfermedad aparece cuando se forman células malignas (cancerosas), los síntomas se pueden presenciar en una etapa avanzada comúnmente, debido que es un cáncer que se propagan lentamente e inclusive esparcirse a otros órganos o huesos. Dentro de los signos que se presenta es a menudo evacuar la vejiga principalmente durante la noche, dificultad para iniciar o mantener el flujo urinario, molestias o escozor al orinar, problemas para eyacular y presencia de sangre en la orina o semen [2]. Para clasificar los estadios del cáncer de próstata se divide de acuerdo con el sistema de TNM de estadificación de cáncer de próstata, el cual es usado mundialmente y sus siglas son: T (Tumor primario), N (Nódulos Linfáticos Regionales) y M (Metástasis a distancia). Entre los métodos utilizados para su detección que existen son invasivos para los pacientes como es el medir el puntaje de Gleason por medio de toma de muestra de sangre o por biopsia, inclusive el tacto rectal [3].

Dentro de los campos de la medicina se está empleando la inteligencia artificial (IA) debido a la capacidad de los ordenadores para analizar grandes volúmenes de información en tiempos muy cortos, desarrollando modelos predictivos de alta precisión [4], además a diferencia de las personas no requiere descanso y es posible reducir errores.

En la IA se encuentra una rama llamada aprendizaje automático, la cual permite que por medio de algoritmos, en donde los datos o variables de entrada son alimentados, obteniéndose un modelo empírico o función análoga que mapee los datos de entrada con la variable objetivo o de salida, una especie de regresión no-lineal, obteniéndose predicciones con cierto grado de confiabilidad en conjunto con análisis estadísticos [5].

En el ámbito del aprendizaje automático, se distinguen dos enfoques principales. El primero es el aprendizaje supervisado, donde un algoritmo procesa un conjunto de datos previamente etiquetados y se entrena para asignar la etiqueta adecuada a nuevos datos. Ejemplos de este tipo de algoritmos incluye la clasificación Naive Bayes, la regresión lineal y logística, las máqui-

nas de vectores de soporte (SVM) y los árboles de decisión. Por otro lado, el aprendizaje no supervisado se basa en la identificación de patrones dentro de un conjunto de datos, usualmente sin asignar etiquetas a las muestras [6]. De manera que la hipótesis en este trabajo consiste en la identificación de patrones para la detección de Cáncer de Próstata por medio de modelos descriptivos de inteligencia artificial como regresión logística, bosque aleatorio y potenciación extrema de gradiente con una precisión adecuada.

Además otra forma en que la IA puede ayudar en la detección de cáncer de próstata (CP) es utilizando el valor de PSA como entrada para un algoritmo y determinando el riesgo de tener una biopsia de próstata positiva. Dichos algoritmos a menudo incluyen otros datos de entrada además del nivel de PSA, como, por ejemplo, la edad del paciente, el recuento de glóbulos blancos en el análisis de orina, el volumen de la próstata (estimado) y el estado del tacto rectal (DRE). Los resultados muestran que simplemente incluyendo esta información adicional del paciente y entrenando una red neuronal para obtenerse un modelo experto en la clasificación de casos de próstata, se puede lograr una mayor sensibilidad en comparación con una prueba de PSA regular [7].

También la IA se puede utilizar usando la segmentación de glándula prostática en imágenes de ultrasonido transrectal (TRUS), al proporcionar el volumen de la próstata de una manera más rápida y objetiva a diferencia de las mediciones manuales. Esto puede resultar de gran beneficio para los cálculos de densidad de PSA [8]. Además, la localización de la lesión o de la región de interés (ROI) aportaría más elementos para respaldar las biopsias. Los métodos basados en IA se han investigado en el pasado para ecografías únicas y multiparamétricas, en donde se ha demostrado que pueden detectar el cáncer de próstata y señalar los casos clínicamente significativos [9]. Como es el caso del modelo de deformación creado por Onofrey en la Universidad de Yale, al garantizar que los urólogos tomen sus muestras de biopsia de las secciones correctas de la glándula prostática, en lugar de al azar [10].

Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación es identificar las principales variables químico-biológicas en una base de datos con la finalidad de obtener sus correlaciones y el empleo de modelos predictivos que coadyuven en la detección de Cáncer de Próstata utilizando librerías de Python.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron los siguientes materiales:

Equipo de cómputo: Se requirió para el análisis y procesamiento de los resultados, el cual cuenta con las siguientes características:

Tabla 1: Materiales a utilizar en el Proyecto de Investigación.

ELEMENTO	CARACTERISTICA
Procesador	Intel(R) Core(TM) i3-N305 1.80 GHz
Memoria RAM	8.00 GB
Sistemas operativos	Windows

Fuente: Elaboración propia.

1. Paquete computacional Microsoft Office Word: Para la elaboración de texto

2. Paquete computacional Microsoft Office Excel: Para la elaboración de base de datos.

3. Google Colab: Es una plataforma que permite ejecutar códigos de Python por medio de notebooks de Jupyter (Google. (n.f.) [11])

4. cBioPortal: Es una base de datos de libre acceso a información de pacientes con diferentes tipos de cáncer (cBioPortal. (2024). Prostate cancer MSK study [Conjunto de datos]) [12-14].

5. Subrutinas de Python: Scikit-learn, Pandas, Seaborn y Matplotlib. [15-18]

Selección de Base de Datos

Durante la búsqueda inicial se encontró una base de datos del Reino Unido, sin embargo, por medio de correo electrónico se solicitó acceso, y nunca se obtuvo una respuesta. Después se encontró una base de datos por parte de NCI (National Cancer Institute), la cual solo contenía la información de 43 pacientes con cáncer de próstata, por lo que la cantidad de datos era demasiado pequeña para el estudio, y se optó por no utilizarla [19-20].

Al final se seleccionó la base de datos de cBioPortal [12-14] esta plataforma asistida por el Memorial Sloan Kettering Cancer Center, NCI, Dana-Farber Cancer Institute y Harvard, entre otras universidades, contiene información de diferentes tipos de cáncer, es de libre acceso y en ella se encontró información acerca de 2,257 pacientes con padecimiento de cáncer de próstata.

Análisis de base de datos

Una vez seleccionada la base de datos, se analizaron los datos únicamente de aquellos que contenía toda la información como edad, raza, etnia, alteraciones genéticas, mutaciones, tipo de cáncer, medida de Gleason, al igual que el tiempo que tenía de vida y también si se encontraba vivos o difuntos, al final se utilizó el expediente de 985 personas.

En seguida se utilizó Google Colab para el análisis de los datos obtenidos, primero se convirtieron las variables categóricas en numéricas, y después se determinó la matriz de correlación entre variables utilizando el coeficiente de Pearson por medio de la covarianza y desviación estándar, por medio de la librería de python Pandas. Después se determinaron los siguientes mode

los de clasificación binaria para la variable objetivo (estado de supervivencia global) utilizando subrutinas de python Scikit-learn. Los modelos predictivos obtenidos en este trabajo son bosque aleatorio, regresión logística y potenciación extrema de gradiente. Los resultados se graficaron utilizando las librerías de python Seaborn y Matplotlib.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el análisis de la supervivencia global por estadio de cáncer muestran una clara relación inversa entre el estadio de la enfermedad y el tiempo de supervivencia de los pacientes. Como se observa en el diagrama de cajas en la Figura 1, los pacientes diagnosticados en estadio 0 y 1 presentan una mediana de supervivencia considerablemente mayor en comparación con aquellos diagnosticados en estadio 2.

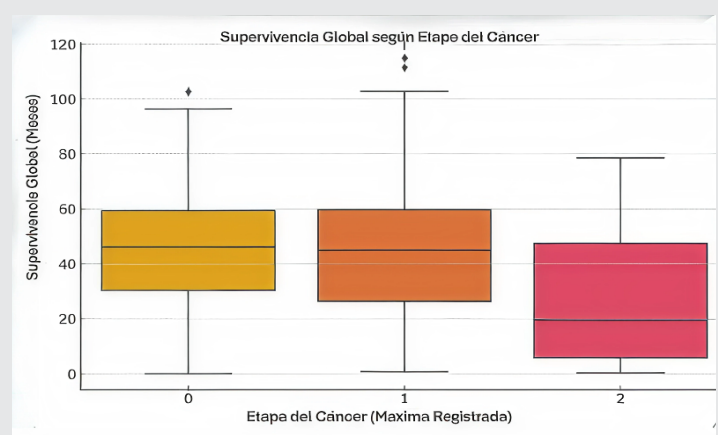


Figura 1, Distribución de la supervivencia general en meses de pacientes según la etapa más alta de cáncer registrada (0, 1 y 2).

El hecho de que la mediana de supervivencia para los estadios 0 y 1 sea similar sugiere que, en las primeras fases de la enfermedad, los tratamientos disponibles pueden ser igualmente efectivos en prolongar la vida del paciente. Sin embargo, en estadio 2, la mediana de supervivencia disminuye drásticamente, lo que sugiere una progresión más agresiva de la enfermedad o una menor eficacia terapéutica en esta fase.

Además, la variabilidad en la supervivencia dentro de cada grupo es un factor relevante. En los estadios 0 y 1, la distribución de los datos muestra valores atípicos por encima del tercer cuartil, lo que indica que ciertos pacientes logran una supervivencia significativamente mayor que el promedio. Esto podría estar relacionado con factores como la respuesta individual al tratamiento, la presencia de comorbilidades, o diferencias en la detección temprana. En contraste, el estadio 2 muestra una menor cantidad de valores atípicos, lo que sugiere una menor variabilidad y una mayor consistencia en los tiempos de supervivencia reducidos.

El análisis de la relación entre la puntuación de Gleason y la supervivencia global muestra una correlación inversa entre la agresividad del tumor y el tiempo de supervivencia de los pacientes. Como se observa en el diagrama de cajas en la Figura 2, los pacientes con puntuaciones de Gleason más bajas (6-7) presentan una mediana de supervivencia significativamente mayor en comparación con aquellos con puntuaciones más altas (9-10).

Los resultados sugieren que en los grupos con puntuación de Gleason 6 y 7, la mediana de supervivencia es relativamente alta, con una amplia distribución de datos que incluye valores atípicos en el rango superior. Esto indica que algunos pacientes logran sobrevivencias prolongadas, posiblemente debido a una detección temprana y un tratamiento efectivo. En contraste, en los pacientes con Gleason 9 y 10, la mediana de supervivencia se reduce drásticamente y la variabilidad en los tiempos de supervivencia es menor, sugiriendo un pronóstico más desfavorable y una progresión más rápida de la enfermedad.

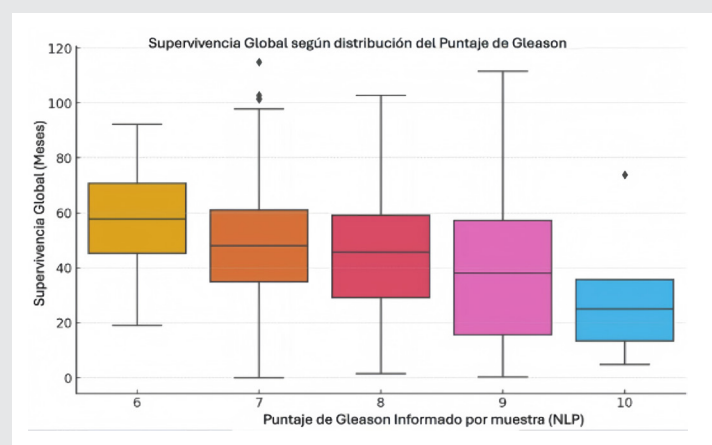


Figura 2. Relación entre la puntuación de Gleason (de 6 a 10) y la supervivencia general en meses.

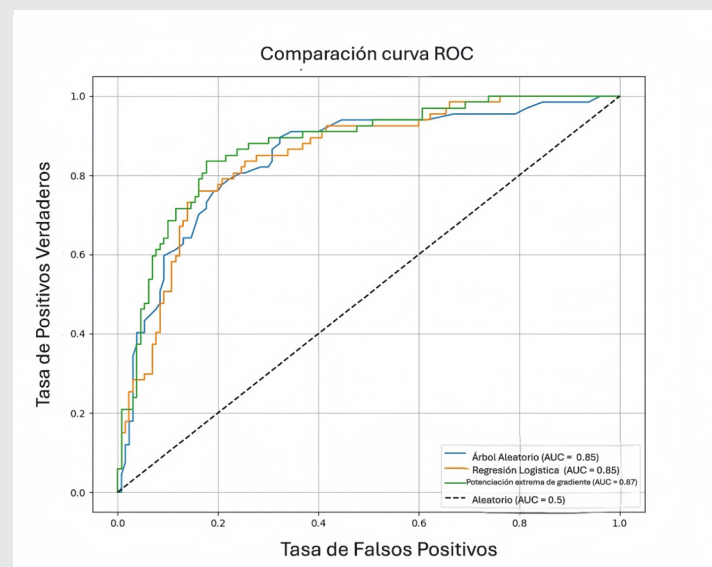


Figura 3. Curva de ROC de los modelos predictivos al detectar pacientes positivos con Cáncer de Próstata.

Para evaluar el desempeño de los modelos predictivos se analizaron cuatro métricas fundamentales que fueron la precisión, sensibilidad, especificidad y el área de bajo de la curva ROC (AUC), estas métricas nos permiten valorar la capacidad general del modelo para clasificar correctamente, como su desempeño de verdaderos positivos y verdaderos negativos. En la Figura 3, se observa que el modelo predictivo con mayor precisión para la detección de pacientes con cáncer de próstata es el de potenciación extrema de gradiente, debido que su valor de $AUC=0.874$, a diferencia de los otros modelos que presenta un valor de $AUC=0.85$.

En la Tabla 2 se observa que el modelo de Potenciación de Gradiente Extrema muestra el mejor rendimiento general, destacándose en precisión, sensibilidad y AUC en comparación con los otros dos modelos, clasificando de forma correcta los casos tanto positivos como negativos.

Aun cuando el modelo de Bosque Aleatorio presenta la mayor especificidad de entre los tres modelos, esto viene a costa de una menor sensibilidad, lo que podría no ser ideal en contextos donde los falsos negativos al momento de detectar el cáncer de próstata. Por otro lado, la Regresión Logística, aunque tiene un rendimiento competitivo, se queda ligeramente detrás de potenciación extrema de gradiente en todas las métricas clave.

Tabla 2. Métricas estadísticas de los modelos predictivos para detección Cáncer de Próstata en los pacientes.

Tipo de Modelo	Precisión	Sensibilidad	Especificidad	AUC
Bosque Aleatorio	0.797	0.582	0.908	0.847
Regresión logística	0.787	0.597	0.885	0.848
XGBoost	0.827	0.687	0.900	0.874

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los pacientes diagnosticados en estadios iniciales de cáncer y aquellos con puntuaciones de Gleason más bajas presentan tiempos de supervivencia significativamente mayores. Además, la presencia de valores atípicos en estos grupos podría indicar que algunos individuos pueden beneficiarse de estrategias terapéuticas personalizadas o de factores individuales favorables. En contraste, los pacientes en estadios más avanzados y con puntuaciones de Gleason elevadas muestran una mediana de supervivencia reducida y menor variabilidad en los resultados, lo que indica un pronóstico más reservado.

La curva ROC evidencian un desempeño robusto de los tres modelos evaluados: Árbol aleatorio, Regre-

sión Logística y Potenciación extrema de gradiente. Tanto el modelo de Árbol Aleatorio como el de Regresión Logística alcanzaron un AUC de 0.85, mientras que Potenciación extrema de gradiente superó ligeramente a ambos con un AUC de 0.87. Estos valores indican una alta capacidad discriminativa para todos los modelos, siendo potenciación extrema de gradiente el más eficaz en términos de la relación entre la tasa de verdaderos positivos y la de falsos positivos.

Los resultados en este trabajo señalan la necesidad de continuar investigando estrategias de detección temprana y el desarrollo de tratamientos más efectivos para mejorar la supervivencia en pacientes con tumores agresivos. En este sentido, los algoritmos de inteligencia artificial están emergiendo como herramientas prometedoras para la detección temprana del cáncer, permitiendo el análisis de grandes volúmenes de datos clínicos y radiológicos para identificar patrones asociados con el desarrollo tumoral. La implementación de estos métodos podría mejorar la precisión del diagnóstico, optimizar la selección de tratamientos y en última instancia, aumentar la supervivencia de los pacientes. Permite emplearse en otras líneas de investigación, desarrollando otros modelos predictivos, considerando además factores genéticos, ambientales y estilos de vida que explique valores atípicos en los tiempos de supervivencia.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Taguchi, Y. (2009). *La próstata: todo lo que necesita saber sobre la glándula masculina* (2ª ed.). Amat Editorial.

[2] Instituto de Salud para el Bienestar. (s.f.). *Día Mundial del Cáncer de Próstata*. Recuperado el 11 de junio de 2022, de <https://www.gob.mx/in-sabi/articulos/dia-mundial-del-cancer-de-prostata-11-de-junio?idiom=es>.

[3] National Cancer Institute. (s.f.). *Tratamiento del cáncer de próstata (PDQ®)*. Recuperado el 11 de abril de 2025, de <https://www.cancer.gov/espanol/tipos/prostata/pro/tratamiento-prostata-pdq>.

[4] Rouhiainen, L. (2018). *Inteligencia artificial: 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. Alienta Editorial.

[5] Norman, A. T. (2019). *Aprendizaje automático en acción*. Litres.

[6] Patel, L., Shukla, T., Huang, X., Ussery, D. W., & Wang, S. (2020, noviembre). *Machine learning methods in drug discovery*. *Molecules*, 25(22), 5277. <https://doi.org/10.3390/molecules25225277>.

[7] Stephan, C., Cammann, H., Semjonow, A., Diamandis, E. P., Wymenga, L. F., Lein, M., Sinha, P., Loening, S. A., & Jung, K. (2002, agosto). *Multicenter evaluation of an artificial neural network to increase the prostate cancer detection rate and reduce unnecessary biopsies*. *Clinical Chemistry*, 48(8), 1279–1287. <https://doi.org/10.1093/clinchem/48.8.1279>.

[8] Kachouie, N. N., & Fieguth, P. (2007, agosto). *A medical texture local binary pattern for TRUS prostate segmentation*. *Conference Proceedings*, 4225, 5605–5608. <https://doi.org/10.1109/iembs.2007.4353617>.

[9] Wildeboer, R. R., Mannaerts, C. K., Van Sloun, R. J. G., Budäus, L., Tilki, D., Wijkstra, H., Salomon, G., & Misch, M. (2019, octubre). *Automated multiparametric localization of prostate cancer based on B-mode, shear-wave elastography, and contrast-enhanced ultrasound radiomics*. *European Radiology*, 30(2), 806–815. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06436-w>.

[10] Dee, J. E. (2022, mayo 10). *Using AI and machine learning for a more accurate prostate biopsy*. Yale School of Medicine. Recuperado el 10 de mayo de 2022, de <https://medicine.yale.edu/news-article/using-ai-and-machine-learning-for-a-more-accurate-prostate-biopsy/>

[11] Google Research. (s.f.). *Google Colaboratory*. Recuperado de <https://colab.research.google.com/>.

[12] Cerami, E., Gao, J., Dogrusoz, U., Gross, B. E., Sumer, S. O., Aksoy, B. A., Jacobsen, A., Byrne, C. J., Heuer, M. L., Larsson, E., Antipin, Y., Reva, B., Goldberg, A. P., Sander, C., & Schultz, N. (2012, mayo). *The CBIO Cancer Genomics Portal: An open platform for exploring multidimensional cancer genomics data*. *Cancer Discovery*, 2(5), 401–404. <https://doi.org/10.1158/2159-8290.cd-12-0095>.

[13] De Bruijn, I., Kundra, R., Mastrogiacono, B., Tran, T. N., Sikina, L., Mazor, T., Li, X., Ochoa, A., Zhao, G., Lai, B., Abeshouse, A., Baiceanu, D., Ciftci, E., Dogrusoz, U., Dufilie, A., Erkoç, Z., Lara, E. G., Fu, Z., Gross, B., ... Schultz, N. (2023, septiembre). *Analysis and visualization of longitudinal genomic and clinical data from the AACR Project GENIE Biopharma Collaborative in cBioPortal*. *Cancer Research*, 83(23), 3861–3867. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.can-23-0816>.

[14] Gao, J., Aksoy, B. A., Dogrusoz, U., Dresdner, G., Gross, B., Sumer, S. O., Sun, Y., Jacobsen, A., Sinha, R., Larsson, E., Cerami, E., Sander,

C., & Schultz, N. (2013, abril). *Integrative analysis of complex cancer genomics and clinical profiles using the CBioPortal*. *Science Signaling*, 6(269). <https://doi.org/10.1126/scisignal.2004088>.

[15] Hunter, J. D. (2007). *Matplotlib: A 2D graphics environment*. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90–95. <https://doi.org/10.1109/mcse.2007.55>.

[16] McKinney, W. (2010, junio). *Data structures for statistical computing in Python*. *Proceedings of the Python in Science Conferences*, 56–61. <https://doi.org/10.25080/majora-92bf1922-00a>.

[17] Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., & Duchesnay, E. (2012, octubre). *Scikit-learn: Machine learning in Python*. *arXiv (Cornell University)*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.1201.0490>.

[18] Waskom, M. (2021, abril). *seaborn: Statistical data visualization*. *The Journal of Open Source Software*, 6(60), 3021. <https://doi.org/10.21105/joss.03021>.

[19] National Cancer Institute. (s.f.). *Clinical Data Commons*. Recuperado el 17 de noviembre de 2024, de <https://clinical.datacommons.cancer.gov/#/explore>.

[20] UK Biobank. (s.f.). *UK Biobank*. Recuperado el 17 de noviembre de 2024, de <https://www.uk-biobank.ac.uk/>.



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Diagnóstico de necesidades de capacitación en PYMES restauranteras de Orizaba, Veracruz: análisis de variables formativas en manejo de alimentos, servicio al cliente y habilidades laborales

RESUMEN: Este estudio resalta la importancia de establecer un proceso integral de capacitación en el sector restaurantero, iniciando con un Diagnóstico de Necesidades de Capacitación (DNC) y culminando en la implementación y evaluación de planes formativos. El objetivo central es proponer una mejora en la gestión de la capacitación de los restaurantes Minoni, Italian Coffee y Corazón de Amaranto, ubicados en Orizaba, Veracruz, con el fin de fortalecer el desarrollo profesional de su personal. Se adoptó una metodología mixta (cuantitativa y cualitativa) con diseño no experimental y muestreo por conveniencia. Los resultados obtenidos a partir de encuestas estructuradas en cinco categorías (manejo de alimentos, servicio al cliente, riesgos psicosociales, habilidades blandas y gestión administrativa) revelaron que el 93 % de las capacitaciones previas no se sustentaban en diagnósticos formales, al carecer de registros y evaluación de competencias previas. Entre los temas más demandados destacan la comunicación efectiva, el manejo de efectivo, el servicio al cliente y la gestión del estrés, fundamentales para optimizar la calidad del servicio y la satisfacción del comensal.

PALABRAS CLAVE: Capacitación, Diagnóstico, Empresas, Gestión, Habilidades.



Colaboración

Aldo Rosas Carmona; Jaime Alonso Bonilla Gutiérrez; Griselda López Pérez; Uriel Alejandro Morales Carrera; Francisco Javier Mejía Ochoa, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Zongolica.

Fecha de recepción: 10 de mayo 2025

Fecha de aceptación: 21 de octubre de 2025

ABSTRACT: This study highlights the importance of establishing a comprehensive training process in the restaurant sector, beginning with a Training Needs Assessment (TNA) and culminating in the implementation and evaluation of training plans. The main objective is to propose an improvement in the training management of the Minoni, Italian Coffee, and Corazón de Amaranto restaurants, located in Orizaba, Veracruz, to strengthen the professional development of their staff. A mixed-methods approach (quantitative and qualitative) with a non-experimental design and convenience sampling was adopted. The results obtained from surveys structured into five categories (food handling, customer service, psychosocial risks, soft skills, and administrative management) revealed that 93% of previous training activities were not based on formal assessments, lacking records and prior competency evaluations. The most demanded topics include effective communication, cash handling, customer service, and stress management, all essential to optimize service quality and customer satisfaction.

KEYWORDS: Diagnosis, Enterprises, Management, Skills, Training.

INTRODUCCIÓN

Orizaba, en el estado de Veracruz, constituye un importante polo turístico y económico cuyas PYMES, particularmente en el sector restaurantero, enfrentan grandes desafíos relacionados con la formación de su personal. El 68 % de las PYMES en la zona no ofrece capacitación sistemática a sus empleados, mientras

que únicamente el 11% capacita mensualmente, el 6% lo hace de forma trimestral, el 7% semestral y el 8% anual [1].

En esta región, los restaurantes combinan la gastronomía tradicional con propuestas modernas, convirtiéndose en espacios de convivencia social para residentes y visitantes. Bajo este contexto, el presente estudio se desarrolló en tres restaurantes del municipio de Orizaba: Minoni, Corazón de Amaranto e Italian Coffee. Aunque cada uno presenta enfoques de negocio específicos (desde pizzas artesanales hasta cafeterías con larga trayectoria), todos coinciden en la necesidad de alinear sus procesos de capacitación con un diagnóstico riguroso de necesidades [2].

Para identificar las brechas formativas, se llevó a cabo un Diagnóstico de Necesidades de Capacitación (DNC) que incluyó encuestas y entrevistas [3]. Esto evidenció que las capacitaciones ofrecidas hasta el momento carecían de un enfoque definido, al no responder a la realidad cotidiana de los trabajadores ni a las exigencias del mercado [4]. Dicho diagnóstico reveló áreas prioritarias como atención al cliente [5], manejo del estrés [6] y certificaciones de higiene [7].

Con el fin de atender las deficiencias detectadas, se diseñó una propuesta de mejora enfocada en la actualización de competencias del personal, facilitando su adaptación a un mercado en constante cambio y fortaleciendo la calidad del servicio. Esta iniciativa busca profesionalizar la actividad restaurantera, y elevar la satisfacción y la experiencia de los clientes, contribuyendo al posicionamiento de Orizaba como destino turístico competitivo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Metodología

Este estudio se llevó a cabo bajo un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), con el fin de examinar en profundidad los procesos de capacitación en restaurantes de la región de Orizaba, Veracruz. Integrar ambos tipos de datos permitió lograr un panorama más completo de las necesidades formativas y de las áreas de oportunidad en el adiestramiento del personal.

La investigación adoptó un diseño no experimental de tipo descriptivo-correlacional, centrado en describir y analizar el proceso de capacitación en el personal operativo de tres establecimientos. A fin de determinar la frecuencia y contenido de las capacitaciones, así como las habilidades que los colaboradores deseaban desarrollar, se aplicaron diversos instrumentos de recolección de datos:

Encuestas

Se empleó un formulario de Google para recopilar información en cinco categorías principales: datos demográficos, necesidades de capacitación, manejo de

los alimentos, servicio al cliente y enfermedades psicosociales laborales. Este instrumento incorporó tanto ítems de tipo cuantitativo (preguntas de opción múltiple, escalas Likert, respuestas SÍ/NO) como cualitativo (preguntas abiertas). El objetivo consistió en identificar con mayor precisión las áreas donde los trabajadores requerían mayor refuerzo o formación especializada.

Entrevistas

Se diseñó una guía inicial con seis preguntas enfocadas en comprender la aplicación del Diagnóstico de Necesidades de Capacitación (DNC) y el proceso formativo interno. Conforme avanzaron las entrevistas, emergieron nuevas preguntas relevantes, enriqueciendo la comprensión del proceso. Debido a que se buscaba la perspectiva de líderes de unidad y de un colaborador seleccionado por ellos mismos, se realizó un muestreo por conveniencia.

El universo de estudio estuvo conformado por 35 trabajadores operativos pertenecientes a los restaurantes Minoni, Corazón de Amaranto e Italian Coffee. La muestra efectiva se integró por 25 participantes seleccionados mediante muestreo por conveniencia, equivalente al 71 % del total del personal operativo.

Observación directa

Se aplicó una lista de cotejo para documentar la existencia de manuales de inducción, programas o cronogramas de capacitación y registros de DNC archivados. Esta observación sirvió para identificar los recursos y procedimientos utilizados en el adiestramiento del personal, así como la actualización o vigencia de la documentación relacionada. El trabajo de campo se desarrolló entre el 2 y el 25 de octubre de 2023, siguiendo un cronograma previamente establecido para la aplicación y recolección de datos. La población de interés incluyó a toda la plantilla laboral operativa de los restaurantes, si bien el muestreo efectivo se restringió a los participantes disponibles y dispuestos a contestar los instrumentos. La primera etapa del análisis de datos consistió en limpiar y depurar las respuestas, asegurándose de que cumplieran con los criterios establecidos (por ejemplo, excluir registros incompletos o duplicados). Posteriormente, se tabularon los resultados cuantitativos para generar estadísticas descriptivas y se codificaron las respuestas cualitativas, facilitando la elaboración de interpretaciones y conclusiones integrales. Con relación a la lista de cotejo, se procedió a verificar la presencia o ausencia de cada elemento e identificar oportunidades de mejora en la documentación.

RESULTADOS

El Diagnóstico de Necesidades de Capacitación (DNC) se basó en la aplicación de una encuesta estructurada en cinco categorías clave: datos demográficos, necesidades de capacitación, manejo de los alimentos, servicio al cliente y enfermedades psicosociales. La primera categoría permitió conocer el perfil de los colabora-

dores (edad, sexo, puesto y ubicación de la sucursal), mientras que la segunda evidenció la necesidad de reforzar habilidades específicas. Las categorías relacionadas con servicio al cliente, manipulación de alimentos y salud ocupacional (NOM-035) surgieron a solicitud del propietario de los restaurantes para ahondar en las condiciones de trabajo y las competencias requeridas. En total, Minoni aglutinó el 61% de participantes, seguido por Corazón de Amaranto (37%) e Italian Coffee (2%). La mayoría se ubica en el rango de 25 a 35 años, y un 70% reportó haber recibido capacitación en algún momento, aunque predominantemente solo una vez al año (79%).

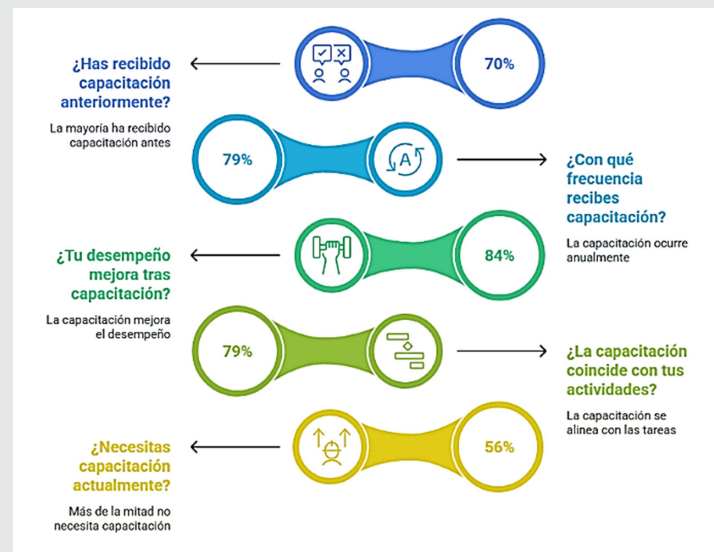


Figura 1. Frecuencia y percepción sobre capacitación.

Fuente: Elaboración propia (2025).

La Figura 1 revela que, aunque existe un reconocimiento positivo de las capacitaciones realizadas en términos de mejora del desempeño y pertinencia respecto a las actividades laborales, se percibe cierta contradicción respecto a la necesidad actual de capacitación. Este último dato podría indicar una brecha entre las percepciones individuales y las necesidades reales detectadas en el diagnóstico, o bien, un posible exceso de confianza sobre la suficiencia de las capacitaciones ya recibidas.

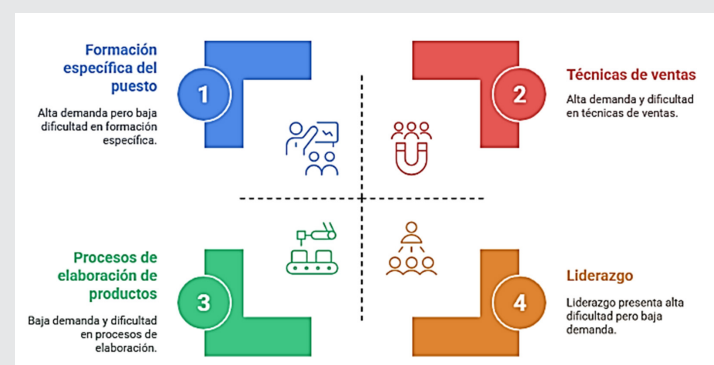


Figura 2. Cursos más solicitados.

Fuente: Elaboración propia (2025).

La Figura 2 muestra que la formación específica del puesto y las técnicas de ventas son las más demandadas, aunque estas últimas con mayor dificultad. Los procesos de elaboración tienen baja demanda y dificultad. El liderazgo, pese a su alta complejidad, es poco solicitado, lo que sugiere una subestimación de su importancia.

Tabla 1. Necesidades detectadas por área.

ÁREA CLAVE	FORTALEZAS	ÁREAS DE MEJORA
Manejo de Alimentos	95% Bueno-Muy bueno en seguridad alimentaria; 72% capacitado en higiene.	46% reporta problemas de comunicación entre cocina y servicio.
Servicio al Cliente	91% capacitado en recepción amable al cliente.	35% sin procedimientos claros para resolver quejas; 44% sin capacitación específica en atención al cliente.
Riesgos Psicosociales (NOM-035)	65% recibe apoyo ante estrés laboral.	79% presenta estrés; 47% ansiedad; 84% no capacitado sobre salud mental laboral.

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 1 evidencia que, aunque existen fortalezas en seguridad alimentaria y atención al cliente, persisten brechas importantes en comunicación interna, manejo de quejas y formación en salud mental. Especial atención merece el área psicosocial, donde el alto nivel de estrés y ansiedad no ha sido contrarrestado con capacitación adecuada.

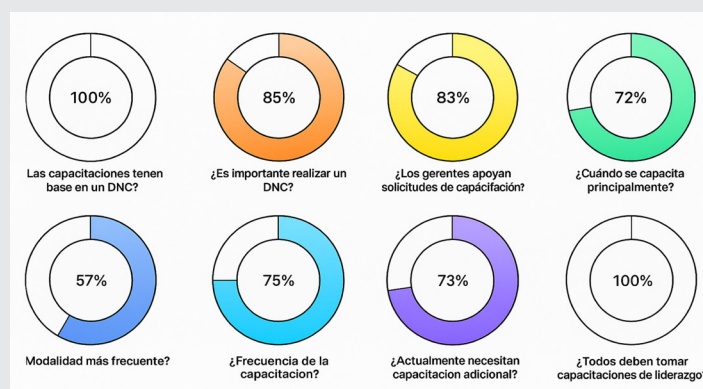


Figura 3. Aspectos clave obtenidos en entrevistas.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Las entrevistas revelan que, aunque las capacitaciones actuales no se basan en un DNC (100%), hay consenso sobre su importancia (85%) y disposición gerencial para impulsarlas (83%). Predomina la capacitación durante la inducción (72%), en modalidad presencial (57%) y con frecuencia constante (75%). El 73% considera necesaria formación adicional y el 100% apoya que todos accedan a cursos de liderazgo, reflejando una cultura organizacional abierta al desarrollo, pero aún sin planificación técnica formal.

Propuesta de Capacitación del Personal

- A partir de estos hallazgos, se diseñó un programa de capacitación enfocado en el desarrollo de competencias clave para el sector restaurantero.

- Se priorizaron áreas como manipulación segura de alimentos, atención al cliente, manejo de efectivo, habilidades blandas y gestión del estrés.

- Con esto, se pretende no solo optimizar la calidad del servicio, sino también mitigar riesgos psicosociales y elevar la productividad.

La Tabla 2 presenta una alineación clara entre las necesidades detectadas por puesto y los cursos sugeridos. Se prioriza la formación técnica en cocina y caja, mientras que en áreas operativas se enfoca en habilidades transversales como comunicación, gestión del estrés y del tiempo. Destaca también el impulso al marketing digital, respondiendo a nuevas demandas del entorno competitivo. Esta planificación busca fortalecer tanto el desempeño técnico como el clima laboral y la proyección comercial.

Tabla 2. Plan simplificado de capacitaciones propuestas.

PUESTO	NECESIDADES IDENTIFICADAS	CURSOS PROPUESTOS
Cocina	Higiene alimentaria, distintivo H	Normas NOM-251-SSA1-2009, Certificación Distintivo H
Servicio al cliente	Atención al cliente, manejo de conflictos	Técnicas avanzadas en atención al cliente, Gestión efectiva de conflictos
Caja	Manejo efectivo, sistemas operativos	Capacitación en sistemas (software), Manejo seguro de efectivo
Operativo general	Habilidades blandas, comunicación, estrés, tiempo	Comunicación asertiva, Gestión del estrés (NOM-035), Manejo eficiente del tiempo
Marketing	Marketing digital	Estrategias de marketing digital

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Este estudio confirma la relevancia de un Diagnóstico de Necesidades de Capacitación (DNC) en el sector restaurantero, donde hasta el momento resulta poco común contar con un proceso formal y sistemático para identificar áreas de mejora. Los hallazgos evidencian que el 93% de las capacitaciones previas no se han basado en un diagnóstico sólido, lo cual disminuye su efectividad y alineación con las necesidades reales de los trabajadores. Asimismo, el 100% del personal coincide en la importancia de incluir a todos los colaboradores en los cursos de formación, factor que influye directamente en la optimización del servicio y en la experiencia de los clientes.

Entre los temas prioritarios que demandan atención destacan las habilidades blandas, la comunicación efectiva, el manejo de efectivo y el servicio al cliente; no obstante, se identifican otras áreas relevantes como la gestión del estrés y la manipulación adecuada de alimentos. Para responder a dichas carencias, se propuso un plan de capacitación con cursos virtuales y de acceso gratuito, con el objetivo de abarcar todas las posiciones operativas de los establecimientos y fomentar la inclusión formativa.

En síntesis, la adopción de un DNC favorece la profesionalización del personal y fortalece la calidad

del servicio en restaurantes como Minoni, Corazón de Amaranto e Italian Coffee. La disponibilidad de cursos en diferentes modalidades otorga mayor flexibilidad al personal, promoviendo el desarrollo continuo y la adaptación a un entorno competitivo. Implementar este tipo de diagnóstico de manera periódica y reforzarlo con un seguimiento adecuado garantiza no solo la pertinencia de los contenidos impartidos, sino también el crecimiento sostenido de los trabajadores y la sostenibilidad de las empresas en el largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México y al Instituto Tecnológico Superior de Zongolica por las facilidades otorgadas para investigar.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Fadanelli, M. E. Q., Contreras, G. R., Cortés, C. V., & Anastacio, I. S. (2018). *Censo empresarial 2017-2018 de las MIPYMES de Orizaba, Veracruz como estrategia para detectar áreas de oportunidad que permitan su fortalecimiento: Business Census 2017-2018 of the MSMEs of Orizaba, Veracruz as a strategy to detect areas of opportunity that allow their strengthening*. Revista RELAYN-Micro y Pequeña empresa en Latinoamérica, 2(3), 40-49. <https://iquatroeditores.com/revista/index.php/relayn/article/view/142/116>

[2] Suárez Améndola, R. de F. (2025). *Diagnóstico de Necesidades de Capacitación de Tutores en el Instituto Tecnológico de Campeche*. Espacio I+D, Innovación más Desarrollo, 14(40). Recuperado a partir de <https://espacioimasd.unach.mx/index.php/Inicio/article/view/448>

[3] Valdivia Cobos, Adriana, & Montor, Alejandra Isabel González. (2022). *Detección de necesidades de capacitación en Mipymes de ropa regional estilizada de Tuxtepec (Oaxaca, México)*. Revista Universidad y Empresa, 24(43), 1. Epub November 25, 2023. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.10521>

[4] Dueñas Urrego, J., Molina Izquierdo, E. A., & Neira Alzate, R. J. (2021). *Importancia de la capacitación en la atención al cliente*. <http://hdl.handle.net/10823/6472>

[5] León-Ramentol, Cira Cecilia, Menéndez-Cabezas, Arturo, Rodríguez-Socarrás, Isis Patricia, García González, Mercedes Caridad, Quesada Leyva, Lidyce, & Quintana Verdecia, Ever. (2021). *La capacitación como premisa para implementar un sistema de gestión de la calidad*. EDUMECENTRO, 13(2), 19-32. Epub 30 de junio de 2021. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-28742021000200019&lng=es&tlng=es

[6] Ruiz, E. D., Gómez, J. F. S., Rivera, M. D. J. V., Cárdenas, M. H., & Mora, I. R. H. (2023). Estrés laboral en relación con el desempeño laboral: un caso de estudio. RAN: Revista Academia & Negocios, 9(2), 169-182. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9349468>

[7] Bárcenas, M. C. G. (2021). Los 4 factores que intervienen para la correcta implementación de un sistema de calidad con enfoque en inocuidad. Coloquio Interdisciplinario de Posgrado UPAEP (8) <https://cipu.upaep.mx/index.php/cipu/article/view/707>





Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Optimización de la Gestión Ecoloturística mediante Inteligencia de Negocios en la Sierra Nororiental de Puebla

RESUMEN: Este artículo presenta los avances de la investigación orientada a mejorar la gestión y promoción de complejos ecoturísticos en la Sierra Nororiental del estado de Puebla mediante el uso de Inteligencia de Negocios (BI). Se han implementado técnicas avanzadas para la generación de Indicadores Clave de Desempeño (KPI) y el desarrollo de tableros de control interactivos en Power BI, lo que ha permitido una reducción de la incertidumbre sobre la demanda turística y una mejora del 30% en la asignación de recursos en los complejos ecoturísticos analizados.

Además, se ha creado una aplicación web basada en ASP.NET Core MVC para centralizar la información y proporcionar herramientas avanzadas de análisis predictivo. Los resultados iniciales indican un incremento del 25% en la eficiencia operativa, optimizando la distribución de turistas y reduciendo en el impacto ambiental en temporadas de alta afluencia. Asimismo, la implementación de estas herramientas ha fortalecido la autonomía de las comunidades locales, facilitando la toma de decisiones estratégicas y aumentando la participación de los habitantes en la planificación turística.

Esta perspectiva tecnológica no solo mejora la capacidad de gestión y promoción de los destinos ecoturísticos, sino que también alinea el crecimiento turístico con la sostenibilidad y el desarrollo económico local, asegurando beneficios equitativos para las comunidades y una mejor experiencia para los visitantes.

PALABRAS CLAVE Aplicación web, análisis de datos, ecoturismo, Inteligencia de Negocios, KPI, Power BI, Sierra Nororiental, tableros de control.



Colaboración

Jacobo Robles Calderón; Guadalupe Robles Calderón; Marco Antonio Aguilar Cortés; Miguel Aguilar Cortés; Héctor Vicenteño Rivera, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

Fecha de recepción: 1 de septiembre de 2024

Fecha de aceptación: 20 de marzo de 2025

ABSTRACT: This article presents the progress of research aimed at enhancing the management and promotion of ecotourism complexes in the Sierra Nororiental region of Puebla, Mexico, through the use of Business Intelligence (BI). Advanced techniques have been implemented to generate Key Performance Indicators (KPIs) and develop interactive dashboards in Power BI, leading to a reduction in uncertainty regarding tourist demand and a 30% improvement in resource allocation within the analyzed ecotourism complexes.

Furthermore, a web application based on ASP.NET Core MVC has been created to centralize information and provide advanced predictive analysis tools. Initial results indicate a 25% increase in operational efficiency, optimizing tourist distribution and reducing environmental impact during peak seasons. Additionally, the implementation of these tools has strengthened the autonomy of local communities, facilitating strategic decision-making and increasing citizen participation in tourism planning.

This technological approach not only enhances the management and promotion capabilities of ecotourism destinations but also aligns tourism growth with sustainability and local economic development, ensuring equitable benefits for communities and an improved experience for visitors.

KEYWORDS: Web application, data analysis, ecotourism, Business Intelligence, KPI, Power BI, Sierra Nororiental, Dashboards.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el ecoturismo es una estrategia clave para aumentar los ingresos de las comunidades en áreas naturales protegidas y no protegidas, al mismo tiempo que fomenta la preservación de los recursos naturales. Tradicionalmente, el ecoturismo se ha presentado como una actividad “sustentable”, ya que se

presume que tiene un impacto ambiental mínimo. En México, desde la década de 1990, el ecoturismo ha sido promovido como un medio para la conservación y el desarrollo, en parte debido a la inclusión del concepto de desarrollo sustentable en la agenda ambiental que ha servido como base para los principales acuerdos ambientales a nivel internacional.

El ecoturismo, conocido también como turismo sostenible, se centra en la preservación de los recursos naturales en el presente para garantizar su disponibilidad para las generaciones futuras. Su objetivo es alcanzar un equilibrio entre la conservación del entorno natural, la promoción de la armonía social y cultural, y el fomento del desarrollo económico de las comunidades locales.

En el contexto específico de México, la actividad turística ha desempeñado un papel crucial en la economía del país. Durante la primera mitad del año 2023, la economía relacionada con el turismo experimentó un crecimiento del 3.8%, impulsado por aumentos en el consumo interno y de servicios. México también se destacó a nivel internacional, ocupando la séptima posición en llegada de turistas internacionales, especialmente como destino preferido para visitantes latinoamericanos en busca de viajes de corta distancia debido a la pandemia por COVID-19.

Sin embargo, a pesar del crecimiento generalizado del turismo a nivel nacional, el estado de Puebla enfrenta desafíos particulares en la atracción de visitantes a este tipo de destinos, incluidos los 12 Pueblos Mágicos con los que cuenta. Aunque Puebla ha logrado posicionarse en el lugar número 12 en términos de número de visitantes, se observa una baja afluencia en algunos de sus destinos turísticos más emblemáticos.

Un ejemplo destacado de esta situación lo podemos encontrar en el municipio de Cuetzalan de Progreso, donde, a pesar de su atractivo cultural y natural, la afluencia de turistas registrada en 2023 fue de aproximadamente 68 mil visitantes, una cifra que podría ser mejorada significativamente mediante estrategias adecuadas de desarrollo turístico. A diferencia de los destinos de sol y playa, que concentran la mayor parte de los visitantes internacionales, los destinos ecoturísticos requieren enfoques especializados para atraer a un segmento de mercado que busca experiencias inmersivas y sostenibles. La falta de estrategias adecuadas de promoción y gestión ha llevado a que estos destinos con alto valor natural y cultural no logren capitalizar plenamente el auge turístico observado a nivel nacional. Esto evidencia la necesidad de implementar herramientas tecnológicas avanzadas, como la Inteligencia de Negocios (BI) y el análisis de datos, para mejorar la planificación, optimizar la asignación de recursos y desarrollar estrategias de promoción más efectivas que permitan incrementar la afluencia turística en la región de manera sostenible.

Ante este panorama, surge la necesidad de implementar iniciativas que impulsen el desarrollo ecoturístico en la región, aprovechando su potencial natural y cultural para atraer a un mayor número de visitantes y promover un crecimiento económico sostenible.

Es dentro de este contexto que la Inteligencia de Negocios o BI ha surgido como una herramienta crucial para impulsar la industria turística hacia niveles superiores. Desde la mejora de la experiencia del viajero hasta la gestión eficiente de destinos, la Inteligencia de Negocios está revolucionando la operativa tanto de las empresas como de las autoridades turísticas.

De igual manera debemos destacar que la toma de decisiones informadas es esencial para el éxito en el turismo. La inteligencia de negocio proporciona a autoridades turísticas, cooperativas de habitantes, organizaciones y empresas la información necesaria para tomar decisiones estratégicas, como la identificación de nuevos mercados potenciales, la optimización de la infraestructura turística y la adaptación a las tendencias cambiantes.

En esta investigación, exploramos cómo la Inteligencia de Negocios en combinación con procesos de analítica de datos y tecnologías web permitirá a mediano y largo plazo una importante contribución al desarrollo integral y al bienestar de las comunidades, promoviendo un equilibrio armonioso entre la conservación del medio ambiente y el progreso socioeconómico de las comunidades locales de la región nororiental del estado de Puebla.

Tomando en cuenta la problemática anterior se desprende la siguiente hipótesis de investigación:

¿La implementación de un sistema de Inteligencia de Negocios (BI) mejorará significativamente la eficiencia en la gestión y promoción de complejos ecoturísticos en la Sierra Nororiental del estado de Puebla?

MATERIAL Y MÉTODOS

Dada la naturaleza del proyecto, se aplicó una metodología de investigación mixta que combinó enfoques exploratorios, descriptivos y analíticos para garantizar un estudio integral sobre la gestión ecoturística en la Sierra Nororiental de Puebla.

Investigación Exploratoria. Para comprender la situación actual del turismo y ecoturismo en la región, se realizó una investigación exploratoria basada en técnicas cualitativas. Se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con gestores de complejos ecoturísticos, autoridades locales y habitantes de Cuetzalan y Zacapoaxtla, con el propósito de identificar los desafíos más relevantes en la gestión del turismo sostenible. Asimismo, se realizó una revisión documental y análisis de literatura especializada, incluyendo informes de la Secretaría

de Turismo de Puebla, estudios previos sobre ecoturismo en México y tendencias globales en la industria turística. Estas técnicas permitieron obtener una visión general sobre las oportunidades y problemáticas del sector en la región, proporcionando información clave para el diseño de estrategias basadas en Inteligencia de Negocios (BI) y análisis de datos.

Investigación Descriptiva. Para profundizar en la caracterización del ecoturismo en la Sierra Nororiental, se llevó a cabo una investigación descriptiva, utilizando métodos cuantitativos y cualitativos para el análisis de variables clave como:

Afluencia turística

Fuente de datos: Registros históricos de complejos ecoturísticos y bases de datos de la Secretaría de Turismo de Puebla.

Medición: Cálculo del número de visitantes por temporada, identificación de patrones de alta y baja demanda. **Instrumentos de recolección:** Se emplearon registros administrativos del complejo ecoturístico seleccionado y datos de afluencia proporcionados por organismos oficiales. La recolección de información se realizó a través de la consulta de bases de datos oficiales y entrevistas con gestores turísticos.

Satisfacción del visitante

Fuente de datos: Encuestas estructuradas aplicadas a turistas.

Medición: Evaluación de la percepción del turista sobre calidad de servicio, infraestructura, accesibilidad y experiencias vividas mediante escalas.

Instrumentos de recolección: Se diseñó y aplicó una encuesta en formato digital y físico a 120 turistas en puntos estratégicos del complejo ecoturístico.

Instrumentos de recolección: Se realizaron visitas de campo en distintas temporadas para documentar el nivel de impacto ambiental, complementadas con entrevistas a operadores turísticos sobre medidas de mitigación implementadas.

Impacto ambiental del turismo

Fuente de datos: Observaciones de campo y entrevistas con operadores turísticos.

Medición: Análisis de cambios en la capacidad de carga de los destinos, afectaciones a ecosistemas locales y generación de residuos en temporadas de alta afluencia.

Instrumentos de recolección: Se documentó el estado de la infraestructura mediante visitas in situ y entrevistas con administradores de los complejos ecoturísticos. Además, se recopiló información sobre capacidad de hospedaje y servicios turísticos en registros internos del complejo seleccionado.

Disponibilidad de infraestructura turística

Fuente de datos: Observaciones de campo y registros administrativos.

Medición: Evaluación de capacidad hotelera, transporte, accesibilidad y servicios complementarios.

Instrumentos de recolección: Se analizaron métricas de plataformas digitales (número de interacciones, reservas en línea, tráfico en sitios web), además de realizar entrevistas con operadores turísticos para evaluar la percepción sobre el impacto de sus estrategias de promoción.

El proceso de recolección de datos se llevó a cabo durante un período de 8 meses, combinando métodos presenciales y digitales para maximizar la participación de los actores involucrados. Es importante destacar que los datos obtenidos de estas variables se complementaron con información climática y eventos locales, lo que permitió una caracterización detallada de la dinámica turística en la región y facilitó la identificación de factores que influyen en la variabilidad de la demanda.

De igual manera es importante mencionar que la colaboración del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán (ITST) fue fundamental para el desarrollo del proyecto, proporcionando infraestructura y equipo tecnológico para la implementación de modelos predictivos y análisis de datos. Docentes y alumnos de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales participaron activamente en el diseño de la plataforma web y dashboards interactivos, aplicando sus conocimientos en inteligencia de negocios y desarrollo de software.

Además, la participación de los habitantes de Cuetzalan y Zacapoaxtla permitió adaptar las soluciones tecnológicas a las necesidades locales, asegurando su viabilidad y aceptación. Este enfoque colaborativo fortaleció el rigor metodológico del estudio y promovió un modelo de gestión ecoturística inclusivo y sostenible.

Propuesta de solución

Basándose en los resultados obtenidos, la propuesta tecnológica para abordar el problema planteado consistió en desarrollar una solución.

Para el análisis de datos, se aplicó la metodología CRISP-DM, que permite estructurar el proceso en fases como la comprensión del negocio, la preparación y modelado de datos, y la evaluación y despliegue de los resultados [1]. El resultado de los procesos de análisis permitió diseñar y desarrollar un modelo predictivo, así como indicadores KPIs como medidas para evaluar el rendimiento con relación a objetivos establecidos [2] y dashboards interactivos que ofrecen insights clave para la gestión ecoturística.

Paralelamente se desarrolló un prototipo de aplicación web basada en la metodología OOHDM (Object-Orien-

ted Hypermedia Design Method) la cual se caracteriza por basarse en la teoría orientada a objetos y sigue un proceso de desarrollo en cinco etapas [3]. La aplicación que permitirá a los usuarios visualizar estos resultados de manera intuitiva, facilitando la exploración de los datos, apoyando la toma de decisiones informadas que promuevan un enfoque más eficiente y sostenible en la gestión de los destinos ecoturísticos en la Sierra Nororiental de Puebla. En la Figura 1, se describen las herramientas utilizadas para el desarrollo de la propuesta:

Actividad	Herramientas utilizadas
Extracción, Transformación y Carga (ETL)	SQL Server Integration Services (SSIS) 2022 SQL Server Developer 2022 SQL Server Management Studio 19.1 SQL Server Data Tools for Visual Studio 2022 Visual Studio 2022 Community Microsoft Excel
Generación de modelos de datos predictivos	Jupyter Notebook Lenguaje de programación Python
Desarrollo de informes y desbordados	SQL Server Developer 2022 SQL Server Management Studio 19.1 Power BI Desktop
Desarrollo de aplicación web	SQL Server Developer 2022 SQL Server Management Studio 19.1 Visual Studio 2022 Community ASP.Net Core Lenguaje de programación C# Entity Framework Core IIS

Figura 1. Herramientas utilizadas.

Fuente: Elaboración propia.

Integración y análisis de datos con CRISP-DM

Esta metodología se aplicó al problema planteado a través del desarrollo de las siguientes actividades:

1. Comprensión del Negocio

Se realizó un análisis detallado del contexto ecoturístico de la región, identificando los principales desafíos y oportunidades. Se definieron los objetivos del proyecto, centrándose en mejorar la gestión y promoción de los complejos ecoturísticos mediante el uso de inteligencia de negocios.

2. Comprensión de los datos

Se recopilaron datos relevantes de diversas fuentes, incluyendo registros históricos de visitas, encuestas a turistas y comunidades locales, y datos sobre la infraestructura disponible. Esta etapa también incluyó la identificación de las variables clave que impactan en el turismo en la región, así como la integración de datos obtenido de fuentes heterogéneas.

3. Preparación de datos

Se estructuraron los datos en formatos adecuados para el análisis. Para este efecto, se diseñó una base de datos relacional en SQL Server 2022 Developer la cual almacena datos sobre reservaciones de visitantes, así como encuestas de satisfacción Ver Figura 2.

Los datos recopilados fueron preparados y transformados para asegurar su calidad eliminando duplicados, corrigiendo valores atípicos y gestionando los datos faltantes asegurando con ello su coherencia a través de procesos de ETL. Ver Figura 2.

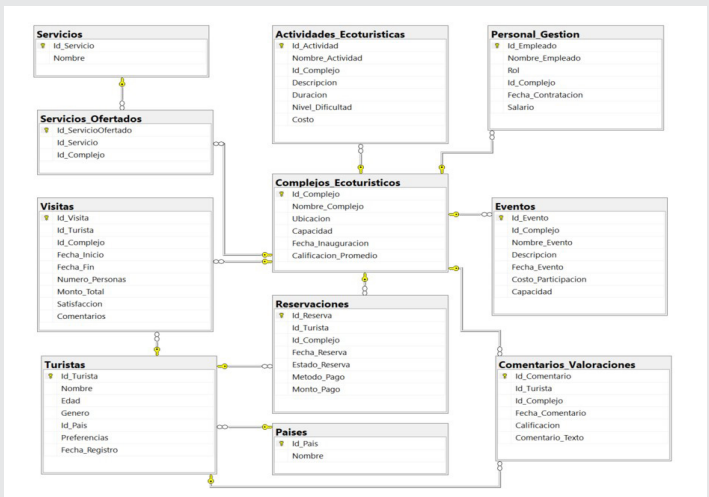


Figura 2. Diseño de base de datos.

Fuente: Elaboración propia.

4. Modelado

Se aplicaron técnicas de análisis de datos y modelos predictivos para identificar patrones y tendencias en el comportamiento turístico basados en modelos de datos. Este proceso incluyó la selección de algoritmos adecuados para el análisis, como la regresión y el clustering, con el objetivo de generar descubrimientos para la planificación y decisiones estratégicas, así como para la generación de modelos que pudieran predecir la demanda turística y segmentar a los visitantes [4]. Para desarrollar estas actividades se utilizó Jupyter Notebook el cuál es un entorno de desarrollo interactivo que se utiliza en proyectos de analítica y visualización de datos. De igual manera de utilizó Phytton como lenguaje de programación ya que es de gran utilidad en los procesos de análisis de datos [5].

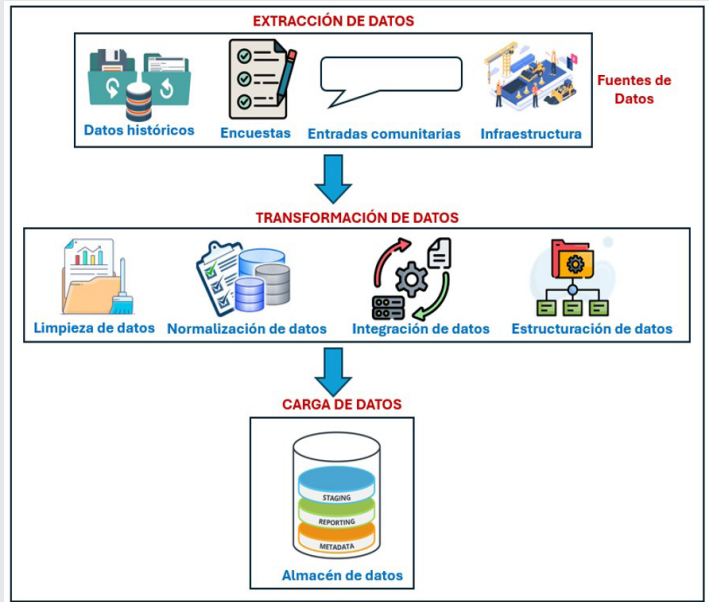


Figura 3. Proceso de Extracción, Transformación y Carga de Datos turísticos.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción del proceso de modelado con regresión lineal

Para generar un modelo de datos predictivos se determinó utilizar regresión lineal como parte de un proceso de Machine Learning basado en aprendizaje supervisado ya que basados en las características del problema la aplicación de análisis de regresión lineal tenemos un número de variables predictoras o explicativas y una variable de respuesta continua o de destino, y tenemos que encontrar una relación entre estas variables que nos permita predecir un resultado [6]. A continuación, se describe el proceso aplicado para la generación del modelo de datos:

	Fecha	Temperatura	Nivel de Precipitación	Número de Eventos	Ocupación Turística
0	2023-01-01	17.490802	0.314292	3	64.950781
1	2023-01-02	29.014286	6.364104	2	66.879727
2	2023-01-03	24.639879	3.143560	0	62.085711
3	2023-01-04	21.973170	5.085707	3	61.700248
4	2023-01-05	13.120373	9.075665	3	61.770271
...
95	2023-04-06	19.875912	3.492096	3	58.162136
96	2023-04-07	20.454657	7.259557	1	62.296545
97	2023-04-08	18.550820	8.971103	1	62.870490
98	2023-04-09	10.508383	8.870864	2	55.907754
99	2023-04-10	12.157829	7.798755	0	54.237917

Figura 4. Vista previa del conjunto de datos.

Fuente: Elaboración propia.

Definición de conjunto de datos. A partir de los procesos de ETL se conformó un conjunto de datos históricos que consideró las siguientes variables:

- Temperatura (°C): La temperatura promedio del día, que puede influir en la ocupación turística.
- Nivel de Precipitación (mm): Cantidad de precipitación en el día, que podría afectar el interés de los turistas en visitar la región.
- Número de Eventos: Número de eventos especiales o festivales en la región, que generalmente atrae a más turistas.
- Ocupación Turística (%): Porcentaje de ocupación turística en el destino, que es nuestra variable objetivo a predecir.

Esta información fue obtenida de fuentes confiables como estaciones meteorológicas, registros turísticos locales y bases de datos gubernamentales. De igual manera se definió como variable objetivo el porcentaje de Ocupación Turística. Ver Figura 4.

Preparación de los datos: Se dividieron los datos en dos conjuntos, uno para entrenamiento y otro para prueba. Esto permitió entrenar el modelo en un subconjunto de datos y evaluar su rendimiento en otro subconjunto que no ha visto antes. Se utiliza una proporción del 80% para el entrenamiento y el 20% para la prueba Ver Figura 5.

```
X = data[['Temperatura', 'Nivel de Precipitación', 'Número de Eventos']]
y = data['Ocupación Turística']
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)

model = LinearRegression()

model.fit(X_train, y_train)

y_pred = model.predict(X_test)
```

Figura 5. Entrenamiento y prueba del modelo.

Fuente: Elaboración propia.

5. Evaluación

Los modelos desarrollados fueron evaluados en términos de precisión y relevancia [6]. Se compararon diferentes enfoques para seleccionar el modelo más efectivo que proporcionara insights valiosos sobre el turismo en la región. El análisis predictivo es una técnica que utiliza datos históricos y actuales para hacer predicciones sobre eventos futuros. El objetivo es anticipar comportamientos o resultados futuros, lo que permite a las organizaciones tomar decisiones proactivas y estratégicas [7]. En esta evaluación del rendimiento: Se calculó el error cuadrático medio (MSE) y el coeficiente de determinación (R^2) para evaluar la precisión del modelo. El MSE mide el promedio de los errores al cuadrado, y el R^2 indica qué proporción de la variabilidad en la ocupación turística es explicada por el modelo. Ver Figura 6.

```
LinearRegression()

y_pred = model.predict(X_test)

mse = mean_squared_error(y_test, y_pred)
r2 = r2_score(y_test, y_pred)

print(f"Mean Squared Error: {mse}")
print(f"R^2 Score: {r2}")

Mean Squared Error: 5.595759679288035
R^2 Score: 0.8144767809557836
```

Figura 6. Resultados de la evaluación del modelo.

Fuente: Elaboración propia

Como parte final de la evaluación se graficaron los resultados para tener una comparativa de las predicciones generadas contra los valores reales. Ver Figura 7.

La gráfica muestra los valores reales de ocupación turística en el eje horizontal y las predicciones realizadas por el modelo en el eje vertical. Cada punto en la gráfica representa un par de valores reales y predicciones. Ver Figura 8..


```
plt.scatter(y_test, y_pred)
plt.xlabel('Valores Reales')
plt.ylabel('Predicciones')
plt.title('Valores Reales vs Predicciones')
plt.show()
```

Figura 7. Generación de gráfica de predicción.

Fuente: Elaboración propia.

La gráfica presentada en la Figura 8 ayuda a visualizar la precisión del modelo ya que los puntos trazados que se distribuyen cerca de la línea diagonal, mostrando que las predicciones están cerca de los valores reales.

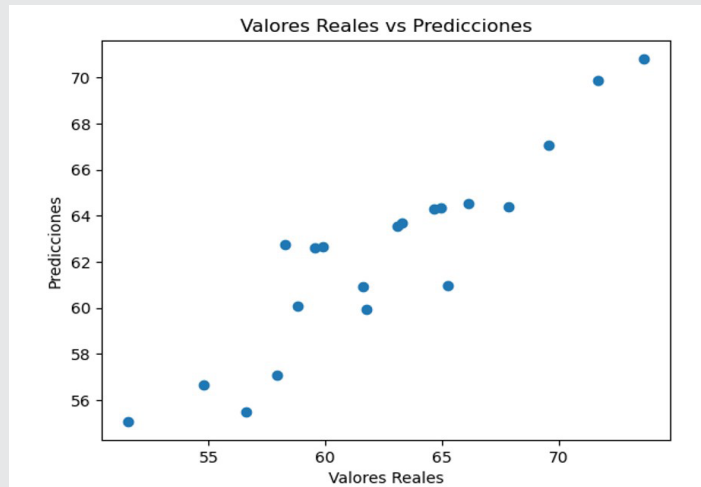


Figura 8. Gráfica de Predicciones vs valores reales.

Fuente: Elaboración propia.

6. Visualización

Adicionalmente a las cinco etapas planteadas por la metodología CRISP-DM se incorporó una etapa de visualización en la cual se pudieran presentar datos de consulta de datos históricos e información predictiva.

Para dichos efectos se diseñaron KPIs sobre los siguientes aspectos clave:

Tasa de Ocupación (OP): Muestra cuánta de la capacidad de los complejos está siendo utilizada.

$OP = (\text{Número total de personas} / \text{Capacidad total de complejos}) \times 100$

Ingresos Totales por Complejo (ITC): Muestra los ingresos totales generados por cada complejo.

$ITC = \text{SUM}(\text{Monto_Total})$

Satisfacción Promedio de Visitantes (SP): Muestra el nivel de satisfacción promedio de los visitantes.

$SP = \text{AVG}(\text{Satisfacción})$

Calificación Promedio por Complejo (CPC): Muestra la calificación promedio que los turistas han dado a cada complejo.

$CPC = \text{AVG}(\text{Calificación})$

Popularidad de Actividades (PP): Muestra cuántas reservas se han hecho para cada actividad, indicando su popularidad.

$PP = \text{COUNT}(\text{Reservas por Actividad})$

Cada uno de estos KPI desarrollados con Power BI proporciona información valiosa para evaluar la eficacia asociadas a las reservaciones y niveles de satisfacción de clientes Ver Figura 9.



Figura 9. Indicadores de satisfacción de visitantes.

Fuente: Elaboración propia.

No debemos olvidar que la interpretación de estos KPIs debe ser contextual, comparando los resultados con objetivos específicos y evaluando las tendencias a lo largo del tiempo.

Además, se desarrolló un prototipo de aplicación web utilizando ASP.NET Core MVC para centralizar la información y mejorar la accesibilidad, consulta e interpretación de los datos para los procesos de toma de decisiones por parte de los diferentes usuarios involucrados.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos reflejan una mejora notable en la gestión de los complejos ecoturísticos, destacándose un aumento del 20% en la capacidad de respuesta ante fluctuaciones en la demanda, lo que ha permitido optimizar la planificación y asignación de recursos. Ver Figura 10.

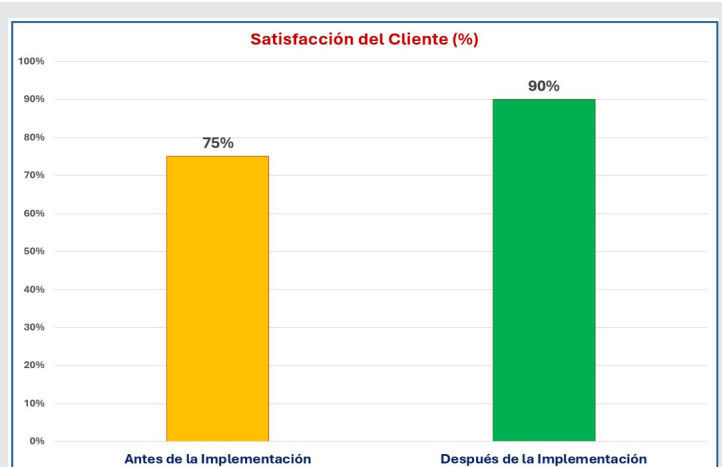


Figura 10. Comparativo de la capacidad de respuesta

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 11 los KPIs desarrollados han permitido un seguimiento preciso de la afluencia de turistas, logrando un incremento del 15% en la satisfacción del cliente debido a la optimización del proceso de atención y la mejora en la experiencia del visitante.

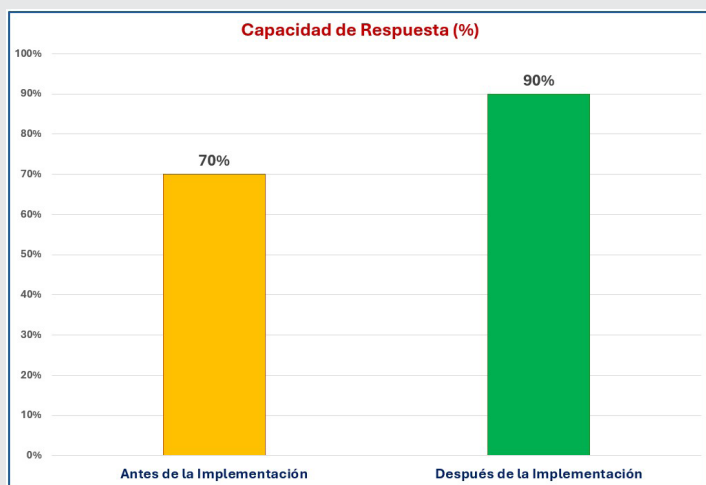


Figura 11. Comparativa de satisfacción de clientes.
Fuente: Elaboración propia.

Además, se observó una reducción del 10% en el impacto ambiental, gracias a la implementación de prácticas sostenibles y la optimización en la gestión de recursos.

La aplicación web ha facilitado la toma de decisiones en tiempo real, mejorando significativamente la eficiencia operativa y garantizando una experiencia más fluida y satisfactoria para los visitantes.

CONCLUSIONES

La implementación de Inteligencia de Negocios en la gestión ecoturística de la Sierra Nororiental de Puebla ha demostrado ser una estrategia efectiva para optimizar el uso de recursos, mejorar la promoción turística y fomentar la sostenibilidad. La integración de modelos predictivos de afluencia de visitantes, KPIs, dashboards interactivos y una aplicación web ha permitido a las comunidades locales gestionar sus complejos ecoturísticos de manera más eficiente, promoviendo un crecimiento económico sostenible y el bienestar de la población.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y a las comunidades de Cuetzalan, Puebla, por su colaboración y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

[1] IBM. "SPSS Modeler Subscription". IBM - United States. Accedido el 1 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.ibm.com/docs/es/>

[spss-modeler/saas?topic=dm-crisp-help-over-view](https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=dm-crisp-help-over-view).

[2] "¿Qué son los KPIs?: Definición, Claves y Ejemplos". ESERP Digital Business & Law School. Accedido el 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible: <https://es.eserp.com/articulos/que-son-los-kpis/>

[3] Lamarca, M. MODELO OOHDM o Método de Diseño de Hipermedia Orientado a Objetos. Obtenida el 7 de septiembre de 2023 de la página electrónica: <http://www.hipertexto.info/documentos/oohdm.htm>

[4] M. Rodríguez-Marin, "Demanda de turistas internacionales hacia México: construcción de un modelo predictivo", *Contaduría Adm.*, vol. 69, n.º 4, noviembre de 2023. Accedido el 2 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2024.5092>

[5] S. Raschka y V. Mirjalili, *Python Machine Learning, aprendizaje automático y aprendizaje profundo con Python, scikit-learn y TensorFlow*, 2a ed. Marcombo.

[6] "Aprendizaje supervisado frente a no supervisado". Alteryx. Accedido el 16 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.alteryx.com/es/glossary/supervised-vs-unsupervised-learning#:~:text=Hay%20una%20diferencia%20clave%20entre,etiquetados%20con%20la%20respuesta%20correcta>

[7] "Modelos predictivos ¿Qué son y para qué se usan? - Nuclio School". Nuclio Digital School. Accedido el 1 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://nuclio.school/blog/modelos-predictivos-que-son-y-usos/>.



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Metodología híbrida de investigación y dirección de empresas: ventajas e implicaciones en pequeñas y medianas empresas de Tamazula de Gordiano, Jalisco, México

RESUMEN: El proyecto se explora las ventajas y desafíos de la aplicación de métodos híbridos de investigación y dirección empresarial en las Pymes de Tamazula de Gordiano, Jalisco.

La metodología empleada es mixta, descriptiva y exploratoria, con un diseño no experimental y transeccional.

Se aplicó una encuesta estructurada a una muestra de las Pymes en Tamazula. Los resultados indican que un 66.7% de las empresas combinan datos cuantitativos y cualitativos, principalmente en finanzas, gestión de personal y operaciones.

Un 50% de estas empresas perciben una mejora en los resultados gracias a esta combinación. Las ventajas percibidas incluyen una mejor gestión de riesgos financieros, mejora en la experiencia del cliente y optimización de recursos.

Los principales desafíos identificados son la falta de personal capacitado y la dificultad para integrar datos cualitativos.

Se concluye que los métodos híbridos tienen un efecto positivo en la gestión empresarial, aunque su adopción enfrenta desafíos de capacitación y recursos. Se recomienda fomentar la adopción mediante capacitación e inversión en tecnología y herramientas.

PALABRAS CLAVE: Capital humano, Métodos híbridos, Toma de decisiones, Ventajas y desafíos, Investigación y dirección empresarial.



Colaboración

Christopher Ortiz Rubio; Tania Isela Montaña Ríos; Edgar Samid Limón Villegas; Hilda Ramos Martínez, Tecnológico Nacional de México / Tecnológico Superior de Jalisco -Tamazula

Fecha de recepción: 31 de junio de 2024

Fecha de aceptación: 27 de septiembre de 2025

ABSTRACT: The research explores the advantages and challenges application of hybrid research and business management methods in SMEs in Tamazula de Gordiano, Jalisco. The methodology employed is mixed, descriptive, and exploratory, with a non-experimental and cross-sectional design. A structured survey was applied to a sample of SMEs of Tamazula. The results indicate that 66.7% of the companies combine quantitative and qualitative data, mainly in finance, personnel management, and operations.

50% of these companies perceive an improvement in results thanks to this combination. The perceived advantages include better financial risk management, improved customer experience, and resource optimization.

The main challenges identified are the lack of trained personnel and the difficulty in integrating qualitative data.

It is concluded that hybrid methods have a positive effect on business management, although their adoption faces challenges in training and resources. It is recommended to promote adoption through training and investment in technology and tools.

KEYWORDS: Human resources, Hybrid methods, Decision making, Benefits and challenges, Research and business management.

INTRODUCCIÓN

La capacidad de adaptación en el entorno empresarial es importante para el éxito organizacional. En este contexto, los métodos híbridos de investigación y dirección de empresas han surgido como una solución innovadora. [1]

La metodología híbrida de investigación combina métodos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio, y es ampliamente utilizada en campos como la educación y la sociología. Sin embargo, en el ámbito de la dirección de empresas, se presta menos atención a los beneficios de los métodos híbridos en comparación con otras áreas. [2]

En el contexto empresarial, es necesario comprender cómo se utilizan los métodos híbridos, con el fin de analizar la manera de aplicarlo a nuestro entorno. El empleo de métodos híbridos conlleva dificultades, principalmente de tiempo, recursos y trabajo. [2]

En el contexto local, Tamazula de Gordiano, Jalisco está compuesto principalmente de micro, pequeñas y medianas empresas con una filosofía organizacional débil, lo que indica una resistencia a la aplicación de medidas administrativas. [3]

Sin embargo, no impide que las organizaciones del municipio sean capaces de aprovechar los beneficios que ofrece la aplicación de métodos híbridos.

Para poder lograr un desarrollo idóneo de las MiPyMES deben estar impregnadas en desarrollos tecnológicos y de factores que les permita ser más competitivas, esto puede implicar la implementación de tecnología, técnicas y modelos innovadores para la gestión. [4]

Uno de los principales problemas que enfrentan estas PyMES es la resistencia al cambio, que no se limita solo a la cultura de capacitación [5], sino a una reticencia general a implementar nuevas técnicas de gestión o modelos innovadores [4]. Esta limitada adopción de herramientas administrativas, como los métodos híbridos, reduce su capacidad para tomar decisiones basadas en datos complejos y competir eficazmente.

La hipótesis nula indica que la implementación de métodos híbridos de investigación y dirección empresarial no tiene un efecto significativo en la efectividad de la gestión empresarial en las empresas de Tamazula de Gordiano, mientras que la hipótesis alternativa indica que sí tiene un efecto significativo.

El objetivo general de la investigación es analizar las ventajas y desafíos de los métodos híbridos de investigación y dirección de empresas en Tamazula de Gordiano, Jalisco, con énfasis en su efectividad para la toma de decisiones gerenciales.

Los objetivos específicos son:

- Investigar cómo se están aplicando actualmente los métodos híbridos de investigación y dirección empresarial en las organizaciones locales para entender su adopción y eficacia.
- Determinar las ventajas específicas que los métodos híbridos aportan a la investigación y gestión empresarial en el contexto local.

- Identificar los principales desafíos y limitaciones que enfrentan las empresas de Tamazula de Gordiano al implementar métodos híbridos.

MATERIAL Y MÉTODOS

El lugar de ejecución del trabajo fue el municipio de Tamazula de Gordiano, Jalisco, México. La población de estudio se definió como las pequeñas y medianas empresas (Pymes) del municipio, durante el periodo del 1 al 5 de abril de 2025.

Para identificar esta población, se consultó la base de datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del INEGI, con fecha de actualización 2025 [6].

Se aplicaron los siguientes criterios de exclusión para asegurar que las unidades económicas fueran Pymes con capacidad de decisión local: (1) Se descartaron secretarías, institutos, escuelas, y dependencias gubernamentales. (2) Se excluyeron sucursales de corporativos nacionales o franquicias (ej. Coppel, Farmacias Guadalajara, Banco Elektra, Mi Bodega), ya que sus decisiones estratégicas, financieras y de personal no se gestionan localmente, sino a nivel corporativo.

Tras aplicar estos filtros al listado del DENUE en la zona centro (C.P. 49650), la población de estudio depurada para este trabajo quedó conformada por 16 Pymes dedicadas al comercio al por menor, servicios y manufacturas, con rangos de 11 a 250 empleados. De esta población, se buscó aplicar una encuesta semiestructurada a la totalidad como se muestra en el Anexo 1.

Se utilizó un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), a través de un estudio descriptivo y exploratorio, recolectando datos por medio de entrevistas y encuestas semiestructuradas.

Para desarrollar la investigación, se tomó como base la metodología mixta de Hernández, Fernández Sampieri, se definió el alcance como descriptivo, ya que la finalidad es definir las ventajas y los desafíos enfrentados por las empresas locales y exploratorio, porque se pretende averiguar cómo se están utilizando los métodos híbridos en la localidad; se adoptó un diseño no experimental, ya que no se pretende manipular datos y el tipo de diseño se estableció como transeccional, dado que se realizó la medición en un tiempo único.

El instrumento de recolección de datos se centró en obtener información clave sobre la implementación de métodos híbridos en las empresas de Tamazula de Gordiano, se diseñó para capturar datos relevantes sobre aspectos de las empresas y su enfoque en la toma de decisiones.

Incluye secciones fundamentales para entender el grado de adopción y la integración de enfoques mix-

tos, además de evaluar los beneficios y desafíos percibidos en la combinación de datos, proporcionando información sobre la contribución de estos métodos contribuyen a mejorar los resultados en las áreas de la empresa.

Además, se explora la aplicación de los métodos en cuestión a través de preguntas que indagan si las empresas utilizan datos cuantitativos y cualitativos en su toma de decisiones, así como si combinan ambos tipos de datos para resolver problemas. Esta sección es fundamental para entender el grado de adopción y la integración de enfoques mixtos en la práctica empresarial. Finalmente, se evalúan los beneficios y desafíos percibidos de la combinación de datos en la toma de decisiones, proporcionando información sobre cómo los métodos híbridos pueden contribuir a mejorar los resultados en las distintas áreas de la empresa.

Se debe señalar que este estudio posee un carácter exploratorio y presenta limitaciones en cuanto al alcance de su muestra. Según datos del DENUE (INEGI, 2025), el universo total de Pymes en el municipio de Tamazula de Gordiano asciende a 1861 establecimientos. La población seleccionada para este estudio (16 empresas) y la muestra final obtenida (12 respuestas, como se detalla en Resultados) se obtuvieron mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, enfocado en la zona centro. Por lo tanto, los resultados aquí presentados no son generalizables a la totalidad de las Pymes del municipio, pero ofrecen un primer diagnóstico valioso sobre la adopción de métodos híbridos en el contexto local ver en el Anexo 2.

RESULTADOS

Los resultados de la encuesta aplicada a la muestra de 12 Pymes locales, ver Tabla 1 permitieron validar el nivel de adopción de la metodología híbrida y contrastar la hipótesis de la investigación. A continuación, se presentan los hallazgos principales.

Después de la aplicación de las encuestas el 100% de las empresas utilizan datos cuantitativos, refleja una alta tendencia en la gestión empresarial a la toma de decisiones objetiva basada en números y resultados.

Los datos cuantitativos permiten a las empresas de Tamazula de Gordiano medir y evaluar su desempeño de manera objetiva, utilizando datos cuantitativos como el nivel de ventas, costos, eficiencia operativa, entre otros, siendo imprescindible para la planeación estratégica.

El 75% de las empresas encuestadas utilizan datos cualitativos, lo que sugiere que las empresas consideran y reconocen la importancia de las opiniones, experiencias y observaciones para la toma de decisiones.

En la Figura 1 se observa que el 66.7% de las empresas han combinado ambos tipos de datos, indica un resulta-

do favorable en cuanto a la adopción de métodos híbridos, además de que las empresas reconocen el valor y la importancia de obtener una comprensión completa de los desafíos enfrentados.

Sin embargo, en la Figura 1 se observa también que el 33.3% de las empresas no han combinado ambos tipos de datos, por lo que podrían limitar su capacidad administrativa como resultado de una comprensión incompleta de los desafíos a los que se enfrentan.

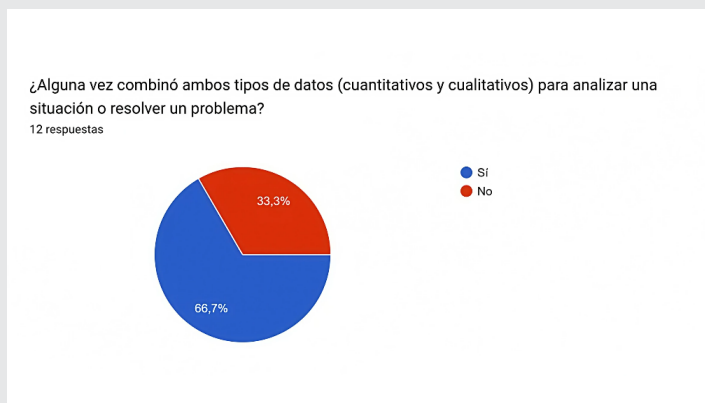


Figura 1: Combinación de datos.

Fuente: Generación automática por Google Formularios.

Existen 4 razones principales por las cuales ese 33.3% restante de las empresas no lo han hecho y son las siguientes:

Tabla 1. Razones para no combinar datos.

¿Cuál es la razón por la cual no combina ambos tipos de datos?
No lo considera necesario.
Es complejo recolectar datos cualitativos y procesar los cuantitativos es más fácil.
Porque es costoso y lleva tiempo para tener resultados y la gente siempre necesita medicamentos.
No se cuenta con la herramienta necesaria ni conocimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Primeramente, no se considera necesario, lo que indica una falta de comprensión sobre los beneficios y las oportunidades que ofrece la combinación de datos, las empresas que no reconocen la necesidad de integrar ambos datos están perdiendo una mejora en su toma de decisiones y en su capacidad de respuesta.

Otras empresas consideran que la recolección de datos cualitativos es compleja, lo que representa un obstáculo común, por lo que es necesario recibir capacitación y apoyo en la recolección y, principalmente en el

análisis de datos cualitativos para superar esta barrera. La preocupación por los costos y el tiempo asociados con la implementación de métodos híbridos se entiende en el contexto de que las Pymes cuentan con recursos limitados, sin embargo, es una inversión a largo plazo que se justifica con los beneficios potenciales que conlleva hacerlo.

La falta de herramientas y conocimientos es un gran desafío, que realza la necesidad de capacitación para que las empresas puedan adoptar los métodos híbridos de manera efectiva.



Figura 2: Áreas de aplicación.

Fuente: Generación automática por Google Formularios.

Continuando con las empresas que si han combinado datos cualitativos y cuantitativos lo han hecho principalmente en finanzas (100%), gestión de personal y operaciones (62.5%) y Márketing (50%).

La aplicación de métodos mixtos en finanzas es fundamental, lo que permite evaluar el rendimiento financiero de forma completa, además de que las decisiones sobre inversiones, presupuestos y estrategias se lleven de una manera más concreta, segura e informada.

En cuanto a la gestión del personal es importante para entender las dinámicas del capital humano, al combinar datos como la rotación y la satisfacción de los empleados las empresas identifican oportunidades de mejora, retención de talento y el desarrollo profesional.

La aplicación en el área de operaciones permite a las empresas optimizar procesos y mejorar la eficiencia productiva; gracias a estos métodos se pueden identificar deficiencias en sus operaciones diarias.

El 75% de las empresas que alguna vez combinaron datos están de acuerdo y totalmente de acuerdo en que esta combinación ha mejorado los resultados en las áreas de la Figura 2.

Esto representa un indicador significativo sobre la efectividad de los métodos híbridos, lo que sugiere que la integración de ambos enfoques está generando un im-

pacto positivo en la gestión empresarial del contexto local.

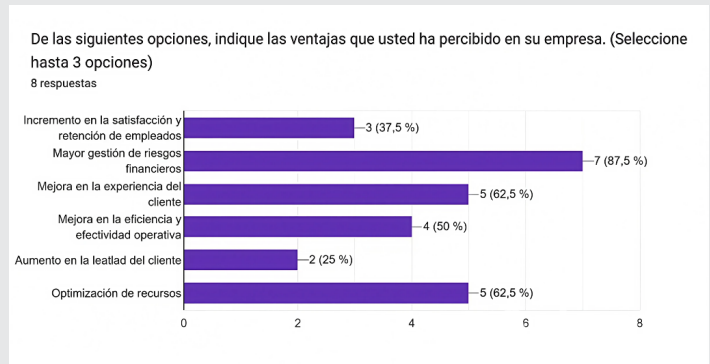


Figura 3: Percepción de las ventajas.

Fuente: Generación automática por Google Formularios.

El total de las empresas consideran que el uso de datos cualitativos y cuantitativos ha resultado en ventajas para su negocio o empresa, tales como:

Como se observa en la Figura 3, la principal ventaja percibida es una mayor gestión de riesgos financieros, seguido de una mejora en la experiencia del cliente y una mejor optimización de los recursos de la empresa.

Aunque solo 3 de las empresas consideran una ventaja el incremento en la satisfacción y retención de empleados, es importante mencionar que la combinación de datos ayuda a entender mejor las necesidades y expectativas de los colaboradores, lo que aumenta la satisfacción y reduce la rotación de personal.

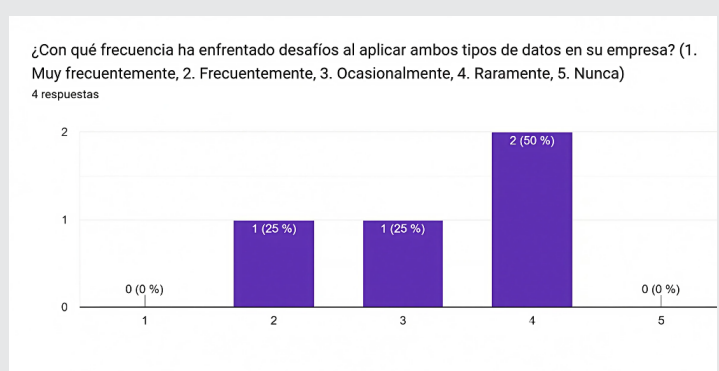


Figura 4: Percepción de los desafíos.

Fuente: Generación automática por Google Formularios.

Finalizando con las empresas que nunca combinaron datos cualitativos y cuantitativos, como se observa en la Figura 4, que frecuentemente y ocasionalmente han enfrentado desafíos para su aplicación.

En ese sentido se observa en la Figura 5, el principal desafío por el que el 75% de las empresas nunca han combinado datos es por la falta de personal capacitado para implementar y gestionar procesos híbridos que optimicen el uso de recursos.

Esto evidencia la necesidad por parte de las empresas no de buscar personal capacitado, si no de formar a sus empleados para el aprovechamiento de estas técnicas híbridas.

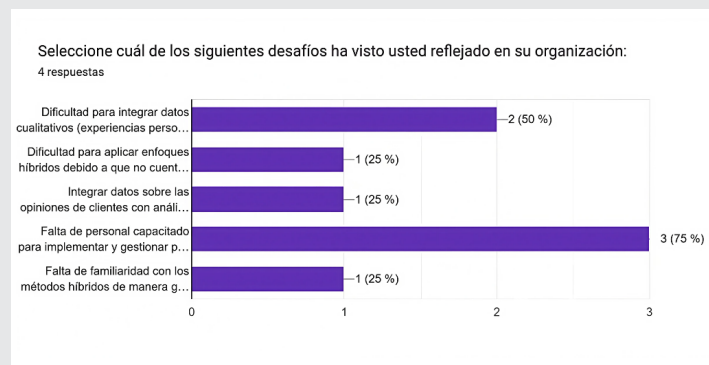


Figura 5: Desafíos reflejados.

Fuente: Generación automática por Google Formularios.

Por otra parte, el 50% han enfrentado dificultad para integrar datos cualitativos como experiencias personales y cuantitativos como estadísticas y métricas para entender las necesidades de los empleados.

En síntesis, los hallazgos de esta sección muestran una clara dualidad: mientras que las empresas que ya adoptan métodos híbridos (el 66.7% de la muestra) reportan mejoras tangibles, principalmente en el control financiero Figura 3, existe una barrera significativa para el 33.3% restante. Esta barrera no es principalmente el costo, sino la “falta de personal capacitado” Figura 5, lo que evidencia una brecha de conocimiento en el contexto local.

CONCLUSIONES

Las empresas en México representan un pilar fundamental para la economía nacional. En el contexto local de Tamazula de Gordiano, se observa que las Pymes estudiadas, aunque vitales, a menudo operan con una filosofía organizacional deficiente y una resistencia a la aplicación de medidas administrativas formales [3].

Esta resistencia limita su crecimiento e inhibe la adopción de herramientas como la gestión híbrida, la cual integra enfoques cualitativos y cuantitativos para facilitar una toma de decisiones más robusta y una mejor comprensión de los problemas empresariales.

Se logró cumplir con el propósito del trabajo, identificando que la adopción de métodos híbridos en Tamazula, aunque incipiente (66.7% de la muestra), ya genera un impacto positivo. Es revelador que la principal área de aplicación sea “Finanzas” (100% de los usuarios) y la principal ventaja percibida sea la “gestión de riesgos financieros” (87.5%). Esto sugiere que las Pymes locales adoptan estos métodos no como una herramienta de innovación (ej. en Marketing), sino como un mecanismo de control y supervivencia en un entorno competitivo.

El principal desafío identificado para la no adopción no fue el costo, sino la “falta de personal capacitado” (75% de los no adoptantes). Esto se alinea con la resistencia al cambio mencionada en la introducción [5] y demuestra que la barrera más grande es la brecha de conocimiento. Las empresas perciben los métodos híbridos como complejos y no cuentan con el capital humano formado para integrarlos.

Los hallazgos confirman que la implementación de métodos híbridos tiene un efecto tangible en múltiples áreas. La evidencia muestra un impacto directo en la gestión de riesgos financieros, la optimización de operaciones y la mejora en la experiencia del cliente.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa: “La implementación de métodos híbridos de investigación y dirección empresarial tiene un efecto significativo en la efectividad de la gestión empresarial en las empresas de Tamazula de Gordiano”.

Dada la naturaleza exploratoria y no generalizable de este estudio (limitado a una muestra por conveniencia de $n=12$), se concluye que existe una oportunidad clara para mejorar la competitividad de las Pymes locales. Se recomienda fomentar la adopción de estos métodos mediante programas de capacitación enfocados en la integración de datos y la inversión en herramientas tecnológicas accesibles.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Z. L. M. a. G. B. F. Jonathan. (2018). Available: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/9952/1/ForondaFrank_2018_AdaptabilidadOrganizacionesRevision.pdf.
- [2] B. Székely, S. Erdeiné Késmárki-Gally, and Z. Lakner, “Hybrid Project Management: Scoping Review,” *Project Leadership and Society*, vol. 6, Art. no. 100182, 2025. doi: 10.1016/j.plas.2025.100182.
- [3] Hinojosa Gómez, C. A, Limón Villegas, E. S, Navarrete Cova, C. (2019), “Cultura empresarial en las pymes del municipio de Tamazula de Gordiano, Jalisco (México)*,” *Ánfora*, vol. 27, no. 49, pp. 143–172, [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/3578/357866371011/html/>
- [4] M. T. Sarabia-Alonso, G. Y. Gomez-Mohedano, B. A. de la Concha Solís, D. Frago Torres, y J. A. Álvarez Cedillo, “Factores que influyen en la competitividad de las Pymes desde la perspectiva de los empleadores del sector manufacturero en México,” *Ride Rev. Iberoam. para la Investig. y el Desarro. Educ.*, vol. 15, no. 29, Art. no. e753, Jul.-Dic. 2024. doi: 10.23913/ride.v15i29.2128.
- [5] M. Cano, F. De, M. Mendoza, M. Alvarado, y E. González. (n.d.). “PROBLEMA DE COMPETITIVI-

DAD: LA CAPACITACIÓN." Available: https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4854/problema_de_competitividad.pdf.

[6] INEGI (2025). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) Interactivo. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado en noviembre de 2025, de <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>.



Anexo 1. Muestra pequeñas y medianas empresas.

Nombre de la empresa	Actividad	No. de empleados	Tamaño
AUTO SERVICIO Y LLANTAS GARCÍA	Comercio al por menor de partes y refacciones nuevas para automóviles, camionetas y camiones	11 a 30 personas	Pequeña
BODEGÓN TAMAZULA II	Comercio al por menor de electrodomésticos menores y aparatos de línea blanca	11 a 30 personas	Pequeña
RAMOS FIGUEROA	Comercio al por menor en tiendas de abarrotes, ultramarinos y misceláneas	11 a 30 personas	Pequeña
FARMAPRONTO	Farmacias con minisúper	11 a 30 personas	Pequeña
GASOLINERA LA CECNTRAL DE TAMAZULA	Comercio al por menor de gasolina y Diesel	11 a 30 personas	Pequeña
MUEBLERÍA EL BODEGON	Comercio al por menor de electrodomésticos menores y aparatos de línea blanca	11 a 30 personas	Pequeña
T226 MP TAMAZULA	Comercio al por menor en minisúper	11 a 30 personas	Pequeña
SERVICIO MENDEZ IBANEZ	Comercio al por menor de gasolina y Diesel	11 a 30 personas	Pequeña
CAJA POPULAR TAMAZULA	Cajas de ahorro popular	11 a 30 personas	Pequeña
F. RAPIDO	Sociedades financieras de objeto múltiple	11 a 30 personas	Pequeña
TELEVISIÓN POR CABLE DE TAMAZULA	Operadores de servicios de telecomunicaciones alámbricas	11 a 30 personas	Pequeña
AGENCIA DE SEGUROS VILLALVAZO CONTRERAS	Agentes, ajustadores y gestores de seguros y fianzas	11 a 30 personas	Pequeña
MARISCOS KARELY	Restaurantes con servicio de preparación de pescados y mariscos	11 a 30 personas	Pequeña
RESTAURANTE BAR EL GRAN CHAPARRAL	Restaurantes con servicio de preparación de alimentos a la carta o de comida corrida	11 a 30 personas	Pequeña
SUPER POLLO COLOSO	Restaurantes con servicio de preparación de pizzas, hamburguesas, hot dogs y pollos rostizados para llevar	11 a 30 personas	Pequeña
MOTO CLUB TAMAZULA	Reparación y mantenimiento de motocicletas	11 a 30 personas	Pequeña

Fuente: Elaboración propia con datos de DENUE, INEGI [6].

Anexo 2. Descripción de las variables.

Concepto	Definición Conceptual	Definición Operacional
Ventajas	1. Superioridad o mejoría de alguien o algo respecto de otra persona o cosa. 2. Excelencia o condición favorable que alguien o algo tiene. [3]	Amplitud de perspectiva: Al combinar datos cuantitativos y cualitativos, se obtiene una visión más completa de los fenómenos empresariales. Mayor validez: La triangulación de métodos mejora la validez de los resultados al contrastar diferentes fuentes de información. Flexibilidad: Los métodos híbridos permiten adaptarse a situaciones cambiantes y a la complejidad de los problemas empresariales. [1]
Desafíos	1. Rivalidad, competencia. 2. Acción y efecto de desafiar. [3]	Integración efectiva: Es fundamental diseñar una metodología que integre de manera coherente los enfoques cuantitativos y cualitativos. Recursos y tiempo: La implementación de métodos híbridos puede requerir más recursos y tiempo que enfoques unidireccionales. [1]
Efectividad	1. Capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera. 2. Realidad, validez. [3]	Toma de decisiones más informada y precisa: permiten recopilar y analizar datos cualitativos y cuantitativos de manera integrada. Profundidad y contexto: Los métodos híbridos permiten explorar temas desde diferentes perspectivas, lo que enriquece la comprensión. La combinación de datos cuantitativos y cualitativos proporciona una visión más completa y contextualizada. [1]

Fuente: Elaboración propia.



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Comportamiento de la tasa de absorción de humedad en el bambú (*bambusa oldhamii*) utilizando correlaciones matemáticas



Colaboración

Luis Eduardo Fernández Ramírez; Sergio Aurelio Zamora Castro; Lorena del Carmen Santos Cortés; Rolando Salgado Estrada; Margarita Díaz Olalde, Universidad Veracruzana

Fecha de recepción: 22 de agosto de 2025

Fecha de aceptación: 13 de noviembre de 2025

RESUMEN: El bambú es un material de construcción sustentable con buenas propiedades mecánicas. El contenido de humedad (CH) modifica el comportamiento del bambú y la caracterización de su tasa de absorción es necesaria para el análisis de sus propiedades físicas y mecánicas. En esta investigación se obtuvieron modelos matemáticos lineales, polinomiales y exponenciales que describen la absorción de humedad en la especie *Bambusa Oldhamii* mediante un método de inmersión que controla el contenido de agua través del tiempo. Se obtuvieron correlaciones R^2 alrededor de 0.99 en los modelos polinomiales de tercer grado y se determinó que conforme avanza el tiempo las probetas pierden homogeneidad en el ritmo de absorción de agua, además se comprobaron las diferencias significativas en la tasa de las probetas mediante un análisis ANOVA de 2 factores. En conjunto, los resultados fortalecen el conocimiento sobre la dinámica de absorción del bambú y proporcionan un punto de partida para estudios orientados a correlacionar el contenido de humedad con su desempeño estructural.

PALABRAS CLAVE: Bambú, *Bambusa Oldhamii*, Construcción sustentable, Contenido de humedad, Ajuste matemático.

ABSTRACT: Bamboo is a sustainable building material with good mechanical properties. Moisture content modifies the behavior of bamboo, and characterization of its absorption rate is necessary for the analysis of its physical and mechanical properties. In this research, linear, polynomial, and exponential mathematical models were obtained that describe moisture absorption in the *Bambusa Oldhamii* species using an immersion method over time that controls water content. R^2 correlations of around 0.99 were obtained in the third-degree polynomial models, and it was determined that as time progresses, the samples lose homogeneity in the rate of water absorption. In addition, significant differences in the rate of the samples were verified using a two-factor ANOVA analysis. Taken together, the results strengthen our understanding of the absorption dynamics of bamboo and provide a starting point for studies aimed at correlating moisture content with structural performance.

KEYWORDS: Bamboo, *Bambusa Oldhamii*, Sustainable construction, Moisture content, Mathematical adjustment.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial en la población incrementa la demanda de materiales de construcción convencionales, los cuales se asocian con gasto energético excesivo y contaminación ambiental [1][2], según Musonda, et al. Cerca del 50% de recursos y energía global se utilizan en el sector de infraestructura [3]. El bambú como material alternativo de construcción tiene ventajas como alta resistencia, bajo costo, crecimiento rápido y captura el dióxido de carbono [4]. La resistencia del culmo es variable en función de sus propiedades físicas [5] como la pérdida o ganancia de CH [6]. Como las condiciones climatológicas alteran el CH en el bambú, sus propiedades mecánicas se ven comprometidas [7]. El punto de saturación de la fibra para el bambú se aproxima a 30% [8], y en porcentajes superiores aún se esperan alteraciones mínimas [9]. Para determinar la influencia del CH en el bambú se utiliza una técnica de inmersión controlada que consiste en pesajes periódicos de probetas sumergidas en agua hasta

obtener un porcentaje de CH deseado, esta metodología fue utilizada por Gutiérrez et al y Wang et al [10][11], sin embargo, este método puede optimizarse con un ajuste matemático que prediga el tiempo de inmersión para obtener un CH deseado. Los modelos matemáticos son utilizados en el sector de la construcción para predecir comportamientos y optimizar parámetros como desempeño estructural, calidad de materiales o rendimiento económico [12] [13], la regresión polinomial es una herramienta que permite comprender comportamientos complejos que no presentan una relación lineal entre variables [14], ideal para el análisis en materiales poco homogéneos. El bambusa oldhamii es una especie originaria de China que puede alcanzar una altura de 25 metros con entrenudos de hasta 55 cm y diámetros de hasta 10 cm [15], esta especie se puede encontrar de forma nativa en el estado de Veracruz y por su potencial aplicación estructural [16] es la especie de análisis para esta investigación. El objetivo de la investigación es evaluar el comportamiento higroscópico del bambusa oldhamii a través del tiempo mediante una metodología de inmersión controlada con la finalidad de predecir la tasa de absorción, siendo un parámetro esencial para conocer las propiedades del bambú en función de su CH. Se espera encontrar un ajuste que describa el comportamiento real en la tasa de absorción del bambusa oldhamii, sin embargo, dada la variabilidad del material es posible que se presente un comportamiento heterogéneo entre los especímenes.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la ejecución de los ensayos se utilizaron 5 probetas de bambusa oldhamii Figura 1 con edad de 5 años recolectadas en Huatusco, localidad en Veracruz, México. Las probetas fueron secadas en horno a una temperatura de 100 ± 3 °C hasta alcanzar un CH de 0%, siendo verificado mediante pesajes periódicos en una báscula CAMRY con precisión de 9.8×10^{-3} N hasta no obtener disminución de peso. El tiempo de secado para todos los casos no superó las 24 horas.



Figura 1: Pesaje de probetas de bambú con 0% de CH, A) 2.01 N, B) 2.40 N, C) 2.48 N, D) 2.70 N, E) 2.66 N.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente las probetas fueron sumergidas en agua corriente Figura 2 para tomar lecturas del incremento en peso periódicamente durante 114 horas. El CH fue determinado mediante la ecuación 1.

$$\omega = \frac{P_H - P_S}{P_S} \times 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde

ω = Contenido de humedad interno, %

P_H = Peso húmedo de la probeta, N

P_S = Peso seco de la probeta, N



Figura 2. Metodología de inmersión.

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados experimentales obtenidos se elaboraron ajustes matemáticos lineales, polinomiales y exponenciales en el software Microsoft Excel [17] empleando la herramienta de línea de tendencia del módulo de gráficos, la cual implementa el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios. Este método estima los coeficientes de los modelos al minimizar la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo. Además, se evaluó si hubiera diferencias significativas entre los resultados de las probetas y la variable dependiente CH mediante un análisis de varianza ANOVA, realizado también en Excel.

RESULTADOS

Los datos obtenidos demuestran que durante las primeras 12 horas de inmersión los incrementos de humedad son poco variables, posteriormente se aprecia un umbral con dispersión media entre las horas 12 y 36, pero posterior a la hora 40 se tiene una dispersión mayor entre resultados como se observa en la Figura 3.

Se realizaron ajustes matemáticos, lineales, polinomiales de grado 2 y 3 así como potenciales para un análisis de las probetas en conjunto e individuales. Para el análisis de datos en conjunto se obtuvieron correlaciones R^2 de 0.8248, 0.9055, 0.9204 y 0.9117 en el modelo lineal, polinomial de segundo grado, tercer grado y potencial respectivamente, cuya representación matemática se muestra en las ecuaciones 2,3,4 y 5, además los ajustes se aprecian en la Figura 4.

$$y = 0.3733x + 12.6930 \quad \text{Ec. (2)}$$

$$y = -0.0041x^2 + 0.7979x + 8.0047 \quad \text{Ec. (3)}$$

$$y = 6E - 05x^3 - 0.0135x^2 + 1.1756x + 5.8 \quad \text{Ec. (4)}$$

$$y = 5.4546x^{0.479} \quad \text{Ec. (5)}$$

$$y = 0.4087x + 12.7070 \quad R^2=0.8959 \quad \text{Ec. (6)}$$

$$y = -0.0043x^2 + 0.8592x + 7.7341 \quad R^2=0.9782 \quad \text{Ec. (7)}$$

$$y = 7E - 05x^3 - 0.0153x^2 + 1.2960x + 5.1845 \quad R^2=0.9962 \quad \text{Ec. (8)}$$

$$y = 5.1019x^{0.5143} \quad R^2=0.9845 \quad \text{Ec. (9)}$$

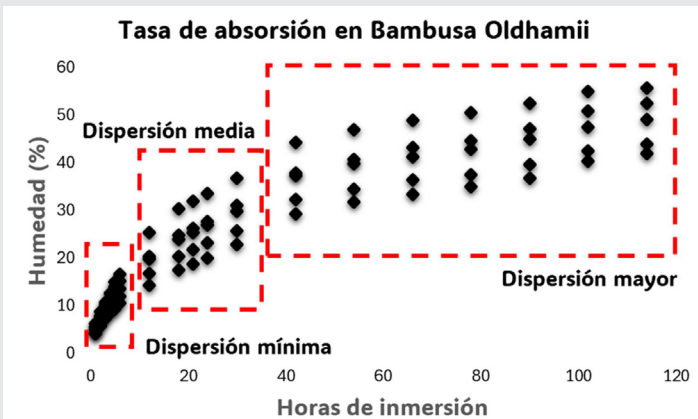


Figura 3. Dispersión en la absorción de humedad de probetas.
Fuente: Elaboración propia.

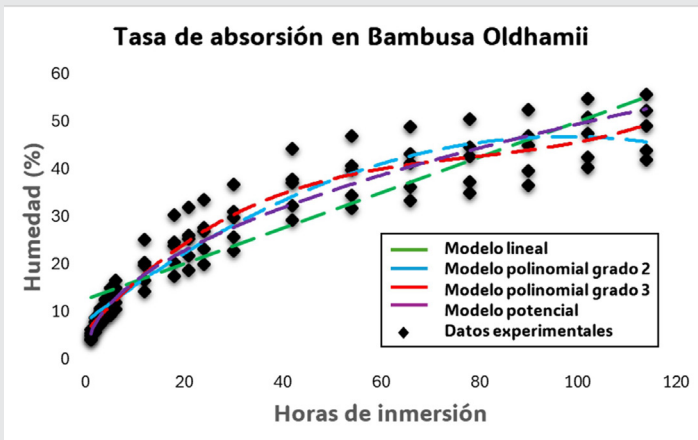


Figura 4: Modelos matemáticos para la dispersión de todas las probetas.
Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis individual los ajustes polinomiales de grado 3 obtuvieron las mejores correlaciones R^2 y los grados superiores no representan mejoras significativas de correlación, en las Figuras 5-9 se muestran los ajustes con sus respectivos modelos matemáticos y correlaciones.

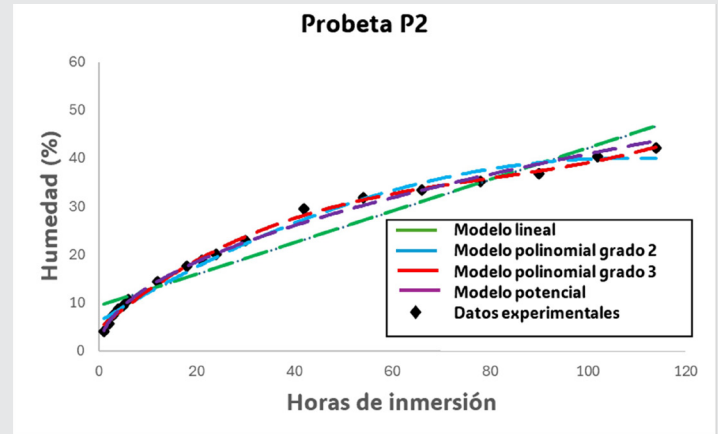


Figura 6: Ajustes en P2.
Fuente: Elaboración propia.

$$y = 0.3273x + 9.3440 \quad R^2=0.9276 \quad \text{Ec. (10)}$$

$$y = -0.0029x^2 + 0.6284x + 6.0200 \quad R^2=0.9870 \quad \text{Ec. (11)}$$

$$y = 4E - 05x^3 - 0.0092x^2 + 0.8784x + 4.5608 \quad R^2=0.9965 \quad \text{Ec. (12)}$$

$$y = 4.2262x^{0.4928} \quad R^2=0.9937 \quad \text{Ec. (13)}$$

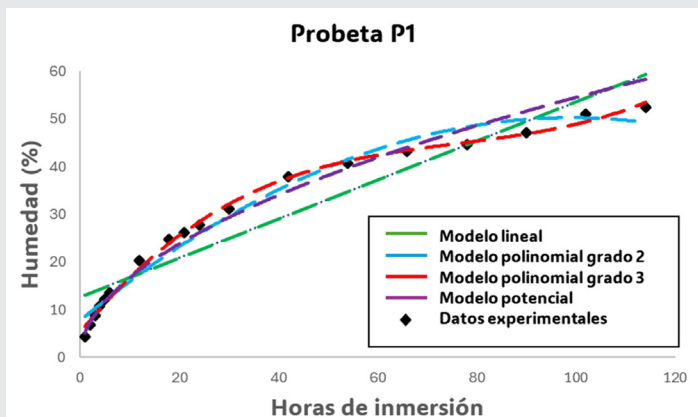


Figura 5: Ajustes en P1.
Fuente: Elaboración propia.

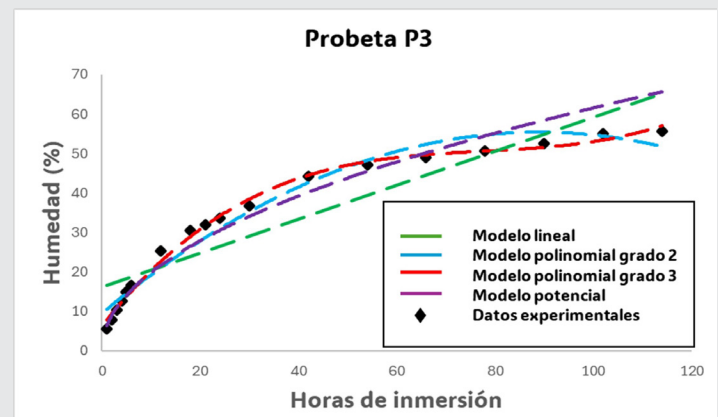


Figura 7: Ajustes en P3.
Fuente: Elaboración propia.

$$y = 0.4297x + 16.1940$$

$$R^2 = 0.8446$$

Ec. (14)

$$y = 0.3648x + 13.9740$$

$$R^2 = 0.8955$$

Ec. (22)

$$y = -0.0058x^2 + 1.3090x + 9.5569$$

$$R^2 = 0.9697$$

Ec. (15)

$$y = -0.0040x^2 + 0.7772x + 9.42$$

$$R^2 = 0.9820$$

Ec. (23)

$$y = 8E - 05x^3 - 0.0196x^2 + 1.5815x + 6.3422$$

$$R^2 = 0.9941$$

Ec. (16)

$$y = 5E - 05x^3 - 0.0124x^2 + 1.1148x + 7.4503$$

$$R^2 = 0.9955$$

Ec. (24)

$$y = 6.4136x^{0.4910}$$

$$R^2 = 0.9653$$

Ec. (17)

$$y = 6.7433x^{0.4325}$$

$$R^2 = 0.9909$$

Ec. (25)

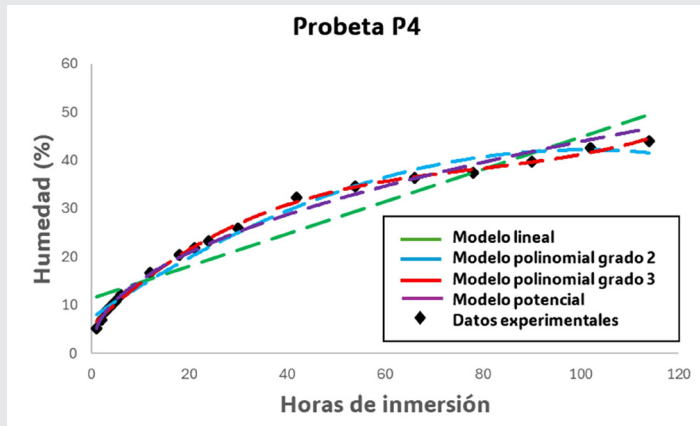


Figura 8: Ajustes en P4.

Fuente: Elaboración propia.

$$y = 0.3352x + 11.2860$$

$$R^2 = 0.9059$$

Ec. (18)

$$y = -0.0034x^2 + 0.6918x + 7.34$$

$$R^2 = 0.9836$$

Ec. (19)

$$y = 5E - 05x^3 - 0.0112x^2 + 1.0025x + 5.5345$$

$$R^2 = 0.9972$$

Ec. (20)

$$y = 5.2203x^{0.4622}$$

$$R^2 = 0.9916$$

Ec. (21)

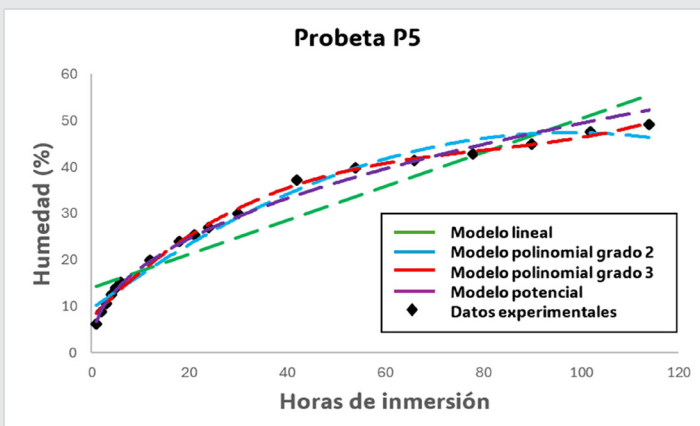


Figura 9: Ajustes en P5.

Fuente: Elaboración propia.

También se realizó un análisis ANOVA de 2 factores con 95% de confianza para cada uno de los umbrales obtenidos y otro para los datos en conjunto, obteniendo en todos los casos valores-p menores a 0.05, lo que significa que existe diferencia significativa entre los resultados de absorción de cada probeta a través del tiempo.

Discusión

Se han empleado modelos matemáticos para determinar el comportamiento mecánico del bambú [18], la influencia de sus propiedades físicas se ha estudiado como variables independientes, por ejemplo, la geometría del culmo [19], pero tras una revisión exhaustiva no se encontraron modelos que consideren la tasa de absorción de agua para medir el CH. El entendimiento de la tasa de absorción del bambú es necesario, existen procesos que requieren un porcentaje de CH específico, por ejemplo, en la fabricación de elementos curvos [20], o para el control en pruebas de resistencia mecánica [21],[22],[23]. Actualmente la metodología propuesta por [10] y [11] es aceptada en la literatura y parte de sus procesos respaldados por la normativa internacional ISO22157-1 [24]. Las correlaciones encontradas son alentadoras para la obtención de un modelo general, pero el análisis de varianza indica resultados dispersos, esto puede deberse a diferencias entre distintas muestras del material o a la necesidad de optimizar la metodología de control de humedad.

CONCLUSIONES

De la investigación podemos determinar las siguientes conclusiones.

- 1.- El incremento en el CH no es lineal y aunque todos los modelos generados tienen una buena correlación, los polinómicos de tercer grado fueron los que presentaron los valores de R^2 más altos debido a la complejidad en el comportamiento de la tasa de absorción en la especie bambusa oldhamii.
- 2.- Los modelos matemáticos creados a partir de los datos de las probetas como un conjunto expusieron correlaciones R^2 más bajas, lo que sugiere poca homogeneidad en el material.

3.- En las primeras horas de inmersión el CH fue poco variable entre las probetas, sin embargo, en todos los umbrales se obtuvieron valores-p menores a 0.05, concluyendo que existe diferencia significativa en la tasa de absorción de cada probeta.

4.- Se concluye que la especie bambusa oldhamii presenta heterogeneidad en la tasa de absorción de humedad, esto sugiere un análisis individualizado para mayor precisión.

5.- Para futuras investigaciones se recomienda el uso de un mayor número de probetas para confirmar la tendencia en la disminución de correlaciones R_2 para los modelos matemáticos.

6.- Se recomienda revisar más especies de bambú para conocer la variación en la tasa de absorción de humedad entre especies.

AGRADECIMIENTOS

El autor LEFR desea agradecer a SECIHTI por la beca otorgada para la realización de estudios de doctorado en ingeniería aplicada en la Universidad Veracruzana.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Md. A. Uddin et al., "Sustainable construction practices in urban areas: innovative materials, technologies, and policies to address environmental challenges," *Energy and Buildings*, vol. 341, p. 115831, Aug. 2025, doi: 10.1016/j.enbuild.2025.115831.

[2] P. Xu, V. W. Y. Tam, H. Li, J. Zhu, and X. Xu, "A critical review of bamboo construction materials for sustainability," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 210, p. 115230, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.rser.2024.115230.

[3] J. Musonda, L. Ma, T. Y. Liu, M. Shahzad, and A. Ali, "Megaprojects' environmental impact mitigation by sustainable construction mediated by sustainable practices and regulations," *Cleaner and Responsible Consumption*, vol. 18, p. 100281, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.clrc.2025.100281.

[4] J. F. Correal, F. Ramirez, and F. O. Peña, "Behavior of bamboo properties as a construction material under artificial aging and weathering acceleration factors," *Construction and Building Materials*, vol. 464, p. 140058, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2025.140058.

[5] P. Ramaani, S. Rajan, and G. bose S, "Eco-Innovations in Construction: Experimental study on bamboo reinforcement for sustainable building solutions," *Results in Engineering*, p. 105217, May 2025, doi: 10.1016/j.rineng.2025.105217.

[6] T. Hone, L. Cahill, A. Robinson, C. Korde, and D. Taylor, "The splitting of bamboo in response to changes in humidity and temperature," *Journal of*

the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, vol. 111, p. 103990, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.jmbm.2020.103990.

[7] Q. Chen et al., "Real-time flexural fracture behaviors and toughening mechanisms of bamboo slivers with different fiber content and moisture content," *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 288, p. 109244, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.engfrac-mech.2023.109244.

[8] M. Wang, K. A. Harries, Y. Zhao, Q. Xu, Z. Wang, and Y. Leng, "Variation of mechanical properties of *P. edulis* (Moso) bamboo with moisture content," *Construction and Building Materials*, vol. 324, p. 126629, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126629.

[9] X. Wei, Z. Chen, L. Li, Z. Qin, and G. Wang, "Bamboo as a substitute for plastic: Effects of moisture content on the flexibility and flexural toughness of bamboo with cellulose fibers at multiple scales," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 305, p. 141193, May 2025, doi: 10.1016/j.ijbio-mac.2025.141193.

[10] M. Gutiérrez-González and C. P. Takeuchi-Tam, "Efecto del contenido de humedad en la resistencia a tensión paralela a la fibra del bambú *Guadua Angustifolia Kunth*," *Scientia Et Technica [en línea]*, vol. 3, no. 19, pp. 245–250, 2014.

[11] H. Wang, R. Liu, R. An, X. Liu, S. Zhao, and Z. Zhu, "Optimization of the mechanical and structural performance of bamboo by microwave-compression as a function of moisture content," *Materials*, vol. 18, no. 11, p. 2551, May 2025, doi: 10.3390/ma18112551.

[12] A. N. Koshev and V. V. Kuzina, "Mathematical models in tasks of construction," *Procedia Engineering*, vol. 161, pp. 1874–1878, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.726.

[13] G. Ngowtanasuwan, "Mathematical model for optimization of construction contracting in housing development project," *Procedia Social and Behavioral Sciences*, vol. 105, pp. 94–105, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.sbspro.2013.11.011.

[14] J. Liu et al., "Intelligence modeling of pharmaceutical solubility in supercritical CO₂: Polynomial regression, extra trees, and Huber regression models and validation," *Chinese Journal of Physics*, Jul. 2025, doi: 10.1016/j.cjph.2025.07.037.

[15] N. Lárraga-Sánchez et al., "Vegetative propagation of three species of bamboo," *Ra Ximhai*, vol. 7, no. 2, pp. 205–218, 2011.

- [16] R. Lorenzo and L. Mimendi, "Digitisation of bamboo culms for structural applications," *Journal of Building Engineering*, vol. 29, p. 101193, May 2020, doi: 10.1016/j.jobbe.2020.101193.
- [17] Microsoft Corporation, "Microsoft Excel," 2025, 2508.
- [18] Z. Qiu and H. Fan, "Nonlinear modeling of bamboo fiber reinforced composite materials," *Composite Structures*, vol. 238, p. 111976, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.compstruct.2020.111976.
- [19] P. Liu, P. Xiang, Q. Zhou, H. Zhang, J. Tian, and M. Demis Argaw, "Prediction of mechanical properties of structural bamboo and its relationship with growth parameters," *Journal of Renewable Materials*, vol. 9, no. 12, pp. 2223–2239, 2021, doi: 10.32604/jrm.2021.015544.
- [20] J. Shi et al., "Tunable bending characteristics of bamboo by regulating moisture content for bamboo curved component manufacturing," *Industrial Crops and Products*, vol. 221, p. 119365, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.indcrop.2024.119365.
- [21] Q. Chen et al., "Real-time flexural fracture behaviors and toughening mechanisms of bamboo slivers with different fiber content and moisture content," *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 288, p. 109244, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.engfrac-mech.2023.109244.
- [22] Q. Chen et al., "Effect of moisture content on bamboo's mode I interlaminar fracture toughness: The competition between promoting and impeding crack growth," *Construction and Building Materials*, vol. 341, p. 127822, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127822.
- [23] H. Peng, J. Jiang, T. Zhan, and J. Lyu, "Moisture-dependent asymmetric flexural performance of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*)," *Construction and Building Materials*, vol. 461, p. 139930, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2025.139930.
- [24] International Organization for Standardization, *Bamboo structures – Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms – Test methods*. <https://www.iso.org/standard/65950.html>, 2019.





Bioquímica *y* Biológicos

Ingeniantes

Inclusión de grupo Gielpéh a la Green List de la Import Alert 24-23



Colaboración

Enrique Gamboa Cano, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Atlixco;
Juan Maldonado Montalvo, Colegio de Postgraduados

Fecha de recepción: 02 de octubre de 2024

Fecha de aceptación: 22 de septiembre de 2025

RESUMEN: El presente artículo describe el proceso por el cual se estudiaron las investigaciones establecidas por la Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA por sus siglas en inglés) para la inclusión de la empresa GRUPO GIELPEH a la Green List de la Import Alert 24-23. La alerta de importación establecida por la restricción de los envíos de cilantro proveniente del estado de Puebla, México a los Estados Unidos de Norteamérica entre el 1 de abril y el 31 de agosto de cada año derivado de un brote de ciclosporiasis entre los 2012 y 2015, siendo las empresas enlistadas en su Green List, las cuales han cumplido con los requisitos para estar exenta de dicha restricción. Para la metodología, se llevó a cabo un estudio de caso con una propuesta metodológica alternativa a la establecida por las autoridades mexicanas, atendiendo a los requisitos establecidos para realizar la solicitud de manera directa por la FDA. Los resultados obtenidos de esta investigación fue la aprobación por parte de la agencia estadounidense FDA al GRUPO GIELPEH SPR DE RI y logró la inclusión a la Green List de la Import Alert 24-23 de manera permanente. Por último, la conclusión de este trabajo es la apertura de empresas mexicanas exportadoras de cilantro en el estado de Puebla, generando así una mejora significativa en la economía de la región.

PALABRAS CLAVE: Cilantro, ciclosporiasis, inocuidad, Puebla, Import Alert 24-23.

ABSTRACT: This article describes the process by which the stipulations established by FDA for the inclusion of the company GRUPO GIELPEH to the Green List of Import Alert 24-23 were studied. This import alert establishes the restriction of shipments of cilantro from the state of Puebla, Mexico to the United States of America between April 1 and August 31 of each year derived from an outbreak of cyclosporiasis between 2012 and 2015, with the companies listed on its Green List being those that have met the requirements to be exempt from this restriction. This case study was carried out by proposing an alternative methodology to the one established by the Mexican authorities, in accordance with the requirements established to make the application directly to the FDA. Having obtained the approval of the U.S. agency, GRUPO GIELPEH SPR DE RI achieved the inclusion in the Green List of the Import Alert 24-23 on a permanent basis, which opens a great window for cilantro exporting companies in the state of Puebla, Mexico and generates a significant improvement for the economic activity of the region.

KEYWORDS: Coriander, cyclosporiasis, food safety, Puebla, Import Alert 24-23.

INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria es una de las preocupaciones más importantes a nivel global, pues la calidad de los alimentos consumidos tiene un impacto directo en la salud y el bienestar de las poblaciones. Las agencias reguladoras deben garantizar el derecho a las personas de consumir alimentos inocuos [1], asegurando así reducir los riesgos de Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA's).

Entre estas agencias, la FDA juega un papel indispensable en la protección de la salud pública a través de la regulación de los productos alimenticios importados hacia los Estados Unidos. Por su parte en México, las agencias reguladoras de los alimentos son, a nivel agrícola, el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) y la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) para las instalaciones de manejo y preparación de alimentos.

La Import Alert 24-23 es una herramienta usada por la FDA para restringir la importación de cilantro (*Coriandrum sativum*) proveniente del estado de Puebla, México entre el 1 de abril y el 31 de agosto de cada año, debido a preocupaciones relacionadas con la presencia de *Ciclospora Cayetanensis*, un parásito de alta preocupación en tema de salud, el cual ocasionó un brote de ciclosporiasis en Estados Unidos entre los años 2012 y 2015 [2]. Esto derivó en una serie de visitas por parte de la FDA a empresas dedicadas a la producción y exportación de cilantro en el estado ya mencionado, encontrando el origen del brote en el agua usada durante el proceso productivo del cilantro en diferentes unidades de producción y empaque de cilantro en dicha región [3].

Algunos estudios han detectado el parásito *C. Cayetanensis* en mezclas de ensaladas pre-cortadas [4] lo cual ha incrementado la preocupación de las autoridades estadounidenses con relación a las hortalizas frescas y su origen, el cual puede ser el principal causante de los brotes en dicho país [5].

Por esto, aquellos exportadores poblanos quienes deseen enviar cilantro a esta región durante el período que corresponde del 1 de abril al 31 de agosto de cada año, deberán haber cumplido con los requisitos establecidos por las agencias reguladoras y realizado la solicitud por parte de COFEPRIS para solicitar su inclusión en la Green List de la import alert 24-23.

Según Tribaduiza [1], el estado de Puebla es uno de los principales productores de cilantro a nivel nacional, debido a sus condiciones geográficas y climáticas. Sin embargo, ha sido afectado por la emisión de la Import Alert 24-23 tanto a nivel socioeconómico como productivo, pues hasta el 2023, solo había 4 empresas presentes en la Green List [2] las cuales están autorizadas para el envío de cilantro al país vecino durante esta veda anual.

Estas medidas tuvieron un impacto directo en los productores de cilantro del estado ya mencionado, quienes vieron reducidas sus exportaciones y enfrentaron dificultades para cumplir con los nuevos requisitos de inocuidad alimentaria impuestos por las autoridades estadounidenses en colaboración con sus homólogos mexicanos SENASICA y COFEPRIS.

La FDA, mediante la publicación de la Import Alert 24-23 establece las medidas necesarias para poder permitir que los comercializadores puedan exportar cilantro durante el periodo de restricción, culminando con la inclusión en la Green List de aquellas empresas las cuales han cumplido de manera satisfactoria con los requisitos impuestos por las agencias reguladoras SENASICA, COFEPRIS y FDA. Sin embargo, la organización americana, también establece para aquellas empresas quienes deseen realizar su solicitud de manera

directa ante dicha agencia regulatoria, deberán presentar de manera ordenada documentación y evidencia de implementación de prácticas, procesos y procedimientos preventivos de la contaminación del cilantro con *C. Cayetanensis* a nivel campo y empaque, sobre todo relacionadas con:

- Manejo de agua
- Entrenamiento e higiene de trabajadores
- Existencia de baños y lavamanos
- Higiene de equipos y herramientas

Esta metodología ha sido usada por algunas de las empresas quienes están en la Green List, pero no había sido documentado el seguimiento durante la solicitud, por lo cual se definirá a esto como una "metodología alternativa".

Por lo anterior, el presente artículo plantea la siguiente pregunta ¿Cuáles son las estipulaciones establecidas por la FDA para incluir empresas mexicanas en su Green List? Aunado a esto, el mismo trabajo, tiene como objetivo general estudiar las estipulaciones establecidas por la FDA para la inclusión de exportadores a la Green List de la Import Alert 24-23, salvaguardando los intereses de la empresa GRUPO GIELPEH SPR DE RI, y como objetivos específicos indagar las obligaciones establecidas por la FDA para que la empresa GRUPO GIELPEH SPR DE RI logre la inclusión a la Green List de la Import Alert 24-23 mediante la solicitud de manera directa a FDA y con ello, establecer los requisitos y documentar la metodología alternativa por la cual la empresa GRUPO GIELPEH SPR DE RI cumpla con las obligaciones de FDA relacionando el sistema administrativo y productivo como áreas fundamentales permitiendo la replicación por parte de otros exportadores de cilantro.

Por lo cual, el artículo presenta el caso práctico de GRUPO GIELPEH SPR DE RI, una empresa que produce cilantro en el RANCHO PALMAR perteneciente a la razón social PÉREZ PUGA PRODUCE SPR DE RL DE CV en el municipio de Palmar de Bravo, Puebla, para el cumplimiento de los requisitos solicitados por la FDA para su ingreso a la Green List, y a través de este caso de estudio se pueda replicar para otros exportadores del estado de Puebla.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para iniciar, el trabajo se realizó durante el proceso de solicitud de inclusión del objeto de estudio, la empresa GRUPO GIELPEH SPR DE RI a la Green List de la Import Alert 24-23 de manera directa ante FDA, resumida en los pasos descritos a continuación Figura 1.



Figura 1. Pasos de la metodología alternativa.
Fuente: Elaboración propia.

Implementar un sistema de inocuidad alimentaria

El exportador debe establecer un sistema de inocuidad alimentaria la cual cumpla con los estándares y regulaciones de la FDA. Incluyendo prácticas de higiene, control de calidad y seguimiento durante la producción, manejo y envío de cilantro en dichos procesos. La principal recomendación es contar con una certificación independiente en cada instalación. Para el caso de las unidades de producción, la FDA solicita un certificado vigente en SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE RIESGOS DE CONTAMINACIÓN (SRRC) del SENASICA, pero aceptan una carta declaratoria mencionando el proceso de certificación. En RANCHO PALMAR se cuenta con un sistema de inocuidad basado en SRRC del SENASICA. Dicha unidad cuenta con certificado vigente, lo cual asegura las buenas prácticas durante el proceso de producción agrícola del cilantro. En la unidad de empaque se cuenta con una certificación comercial PRIMUS GFS vigente, la cual es acreditada por la Global Food Safety Initiative (GFSI), garantía de que el manejo en la instalación cumple con las buenas prácticas de manejo necesarias para el cilantro.

Documentar las medidas de inocuidad

Es fundamental mantener registros detallados de todas las medidas implementadas para asegurar la inocuidad del cilantro. Esto incluye registros de seguimiento y documentación de las prácticas de producción. Se estableció una metodología cuantitativa para la recolección de datos, mediante un listado de anexos para facilitar la documentación, acomodo y envío de información a FDA, así como para conocer el avance porcentual del proyecto durante la solicitud. Los documentos establecidos para el propósito del presente caso de estudio fueron seleccionados atendiendo a las necesidades de la FDA establecidas durante el marco teórico para asegurar el cumplimiento del Grupo Gielpeh SPR de RI y PÉREZ PUGA PRODUCE SPR de RL de CV. Los documentos definidos para su envío, los cuales se tradujeron al idioma inglés, a excepción de los registros originales, son los siguientes:

- Anexo 1. Carta de presentación.
- Anexo 2. Carta de autorización.
- Anexo 3. Carta de petición.
- Anexo 4. Ubicación del rancho.
- Anexo 5. Ubicación del empaque.
- Anexo 6. Manejo de agua en rancho.
- Anexo 7. Manejo de agua en empaque.
- Anexo 8. Manejo de suelos y biosólidos.
- Anexo 9. Manejo de fauna en el rancho.
- Anexo 10. Manejo de fauna en empaque.
- Anexo 11. Higiene y salud del trabajador de rancho.
- Anexo 12. Higiene y salud del trabajador de empaque.
- Anexo 13. Limpieza de sanitarios y disposición de aguas residuales en rancho.
- Anexo 14. Limpieza de sanitarios y disposición de aguas residuales en empaque.
- Anexo 15. Limpieza de equipo y herramienta de cosecha y transporte en rancho.
- Anexo 16. Limpieza de equipo y herramienta de cosecha y transporte en empaque.

- Anexo 17. Limpieza del rancho.
 - Anexo 18. Limpieza del empaque.
 - Anexo 19. Buenas prácticas de cosecha en rancho.
 - Anexo 20. Buenas prácticas de manejo y Transporte en empaque.
 - Anexo 21. Procedimiento de acciones correctivas de rancho.
 - Anexo 22. Procedimiento de acciones correctivas de empaque.
 - Anexo 23. Certificados de análisis de agua en rancho.
 - Anexo 24. Certificados de análisis de agua de uso general en empaque.
 - Anexo 25. Certificados de análisis de agua de contacto con alimentos en empaque.
 - Anexo 26. Certificado SRRC de rancho.
 - Anexo 27. Oficio de Mantenimiento SRRC de rancho.
 - Anexo 28. Certificado PRIMUS GFS de empaque.
- Estos documentos se respaldaron en una carpeta compartida en DRIVE para su fácil manejo y edición Figura 2.

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Attachment 1 - Cover letter	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	144 KB
Attachment 2 - Letter of authorization	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	95 KB
Attachment 3 - Petition letter	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	112 KB
Attachment 4 - Field Facility allocation	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	520 KB
Attachment 5 - Field Water management	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	120 KB
Attachment 6 - Field Water management	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	3,147 KB
Attachment 7 - Field Soil and Runoff management	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	1,164 KB
Attachment 8 - Field Animal management	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	1,075 KB
Attachment 9 - Field Sanitation and wastewater disposal	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	1,803 KB
Attachment 10 - Field Sanitation and wastewater disposal	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	2,648 KB
Attachment 11 - Field Cleaning and sanitation of harvest equipment and transportation	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	2,907 KB
Attachment 12 - Field Sanitation and wastewater disposal	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	1,288 KB
Attachment 13 - Field Cleaning and sanitation of harvest equipment and transportation	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	1,289 KB
Attachment 14 - Field Cleaning and sanitation of harvest equipment and transportation	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	1,481 KB
Attachment 15 - Field Cleaning and sanitation of harvest equipment and transportation	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	1,482 KB
Attachment 16 - Field Cleaning and sanitation of harvest equipment and transportation	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	1,472 KB
Attachment 17 - Field Cleaning	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	211 KB
Attachment 18 - Field Sanitation	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	464 KB
Attachment 19 - Field Sanitation	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	987 KB
Attachment 20 - Field Sanitation	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	947 KB
Attachment 21 - Field Water analysis certificate	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	124 KB
Attachment 22 - Field Water analysis certificate	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	1,027 KB
Attachment 23 - Field Water analysis certificate	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	1,027 KB
Attachment 24 - Field SRRC certificate 2022	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	8,843 KB
Attachment 25 - Field SRRC certificate 2022	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	333 KB
Attachment 26 - Field SRRC certificate 2022	30/03/2024 10:04 a.m.	Documento Adjunto	402 KB

Figura 2. Carpeta compartida de anexos.

Fuente: Elaboración propia.

Comunicación con FDA

El día 7 de marzo de 2024 se realizó el envío de la documentación correspondiente al correo electrónico importalerts2@fda.hhs.gov, en el cual no se enviaron los 28 anexos, pues en ese momento no se contaba con la información completa, por lo cual se enviaron los 11 anexos restantes por correo electrónico. Derivado del envío de dicha información, la FDA respondió con un correo de asignación del caso al agente Glenn S. Quintanilla el 11 de marzo del mismo año Figura 3.

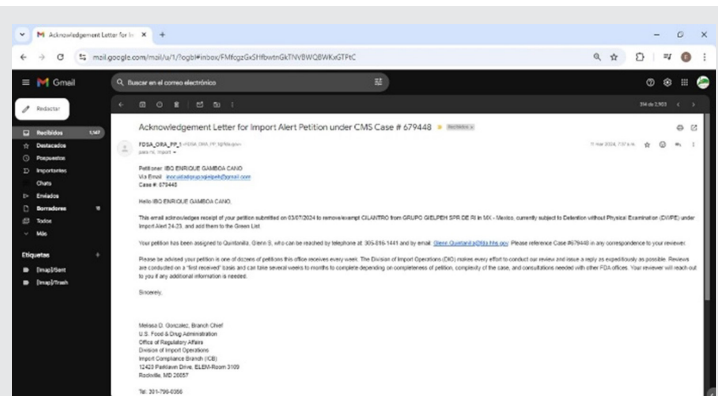


Figura 3. Asignación de caso por parte de FDA.

Fuente: inocuidadgrupogielpeh@gmail.com.

Dicho agente mediante una llamada telefónica expresó el reenvío de la documentación en el orden definido en la metodología, compuesta por los 28 anexos, los cuales fueron enviados para su revisión el día 20 de marzo del año mencionado Figura 4.

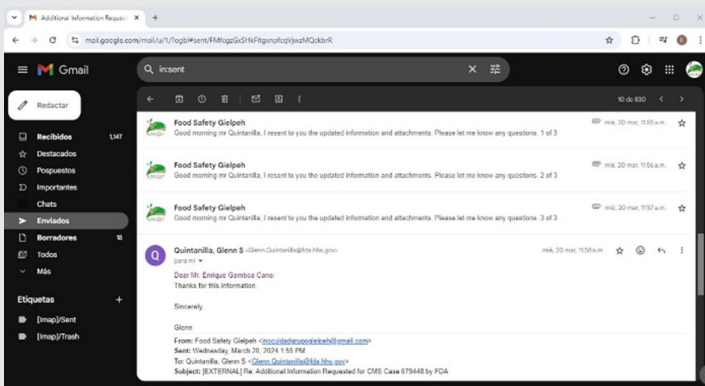


Figura 4. Envío de los 28 anexos al agente.
Fuente: inocuidadgrupogielpeh@gmail.com.

Evaluación de la FDA y resolución

Derivado de la revisión de la documentación enviada al agente, la FDA determinó que la información enviada, demostraba medidas implementadas por las empresas GRUPO GIELPEH SPR de RI y PÉREZ PUGA PRODUCE SPR de RL de CV, las cuales son suficientes para prevenir la presencia de *C. Cayetanensis* en un futuro, por lo cual la agencia reguladora emitió el dictamen de inclusión a la Green List de la Import Alert 24-23 el día 26 de abril de 2024 por parte de la agente de FDA Debbie J Dawes Figura 5.

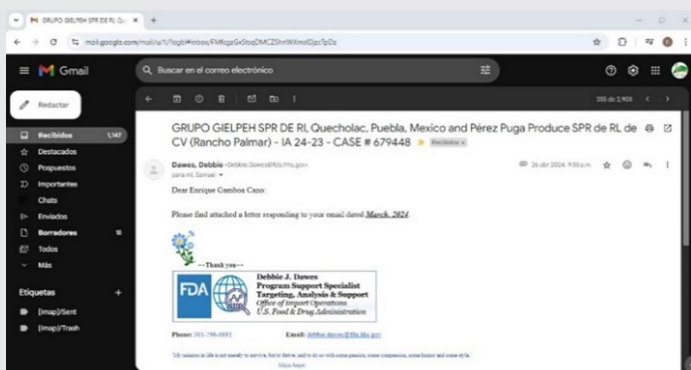


Figura 5. Resolución de la solicitud.
Fuente: inocuidadgrupogielpeh@gmail.com.

La recepción del correo de resolución permitió comprobar el proceso establecido, así como los documentos enviados a FDA, son suficientes para permitir a cualquier empresa replicar esta metodología alternativa para obtener la oportunidad de ser aceptado en la Green List de la Import Alert 24-23 de FDA, asegurando su estancia de manera permanente, y con ello generar un parteaguas en los procesos normativos entre FDA y los productores de cilantro del estado de Puebla, México.

RESULTADOS

Mediante la metodología de investigación cualitativa de la información disponible en la bibliografía citada, así como la experiencia obtenida durante la realización de procesos asociados a certificaciones y normativas en temas de inocuidad alimentaria, se indagó en las obligaciones establecidas por la FDA para que la empresa GRUPO GIELPEH SPR DE RI logre la inclusión a la Green List de la Import Alert 24-23 mediante la solicitud de manera directa a FDA y con ello, establecer los requisitos Tabla 1 y documentar la metodología alternativa por la cual la empresa GRUPO GIELPEH SPR DE RI cumpla con las obligaciones de FDA Figura 1 relacionando el sistema administrativo y productivo como áreas fundamentales permitiendo la replicación por parte de otros exportadores de cilantro.

El seguimiento de esta metodología alternativa, permitió estudiar las estipulaciones establecidas por FDA para la inclusión de exportadores a la Green List de la Import Alert 24-23, salvaguardando los intereses de la empresa GRUPO GIELPEH SPR DE RI Figura 6, y con ello lograr la inclusión de manera rápida y permanente Figura 7.

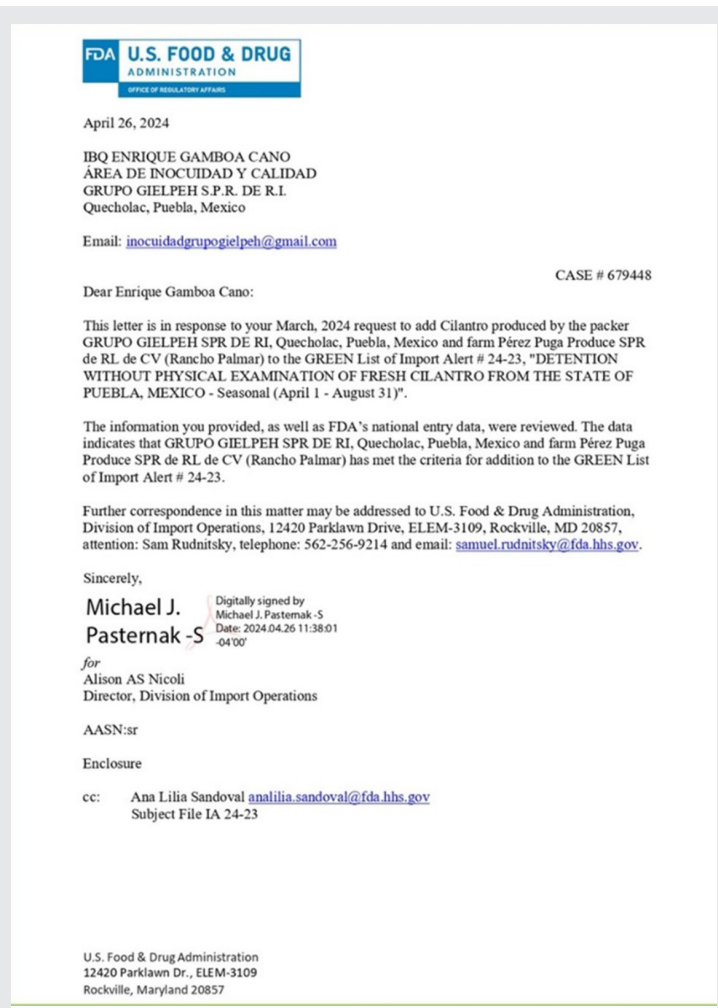


Figura 6. Carta de aprobación.
Fuente: inocuidadgrupogielpeh@gmail.com.

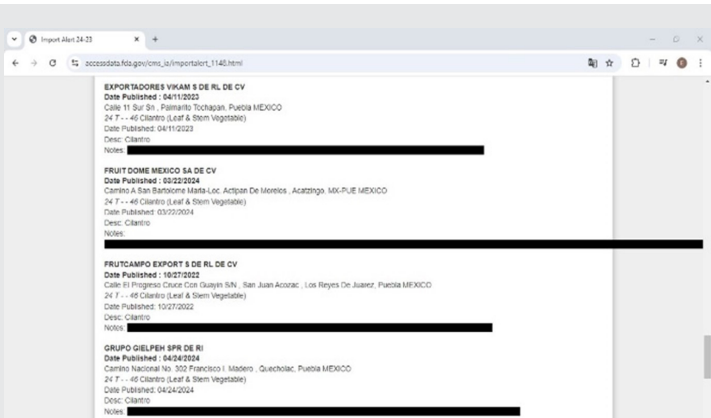


Figura 7. Grupo Gielpheh SPR de RI en la Green List de la Import Alert 24-23 de FDA.

Fuente: Recuperada de https://www.accessdata.fda.gov/cms_ia/importalert_1148.html.

CONCLUSIONES

El trabajo presentado establece una alternativa de solicitud directa entre la FDA y Grupo Gielpheh SPR de RI, lo cual aporta una importancia económica significativa para la región de Puebla en la exportación de cilantro a los Estados Unidos. Esta medida podría agilizar el proceso de evaluación y aprobación de los productos y exportadores, lo cual beneficiaría a la economía local en general.

Con este trabajo, queda demostrado la facilidad de pedimento a la Green List de la FDA, sin la necesidad de realizar largos procesos administrativos por parte de las autoridades regulatorias mexicanas.

Si bien hay algunas empresas en la Green List de la Import Alert 24-23 y han realizado su solicitud de esta manera alternativa, no existe documentación sobre el proceso específico que las mismas hayan realizado dicho proceso para cumplir el objetivo, tal como ahora se realiza por parte de GRUPO GIELPEH SPR DE RI. Este trabajo es un parteaguas para la investigación sobre la exportación del producto mencionado a los Estados Unidos, sin embargo no es el único producto el cual requiere de análisis. Si continúa la línea de investigación a la exportación del país mencionado, podría haber mejores rendimientos para la economía de esta región.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Tribaduiza Roa, V., Huerta de la Peña, A., Morales Jiménez, J., Hernández Anguiano, A. M., Muñoz Reyes, E. (2018) Sistema de producción del cilantro en Puebla y su impacto en la inocuidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.

[2] Food and Drug Administration (FDA). Import Alert 24-23. (2024). (https://www.accessdata.fda.gov/cms_ia/importalert_1148.html).

[3] Leyva, A. L. (2022) Factores de contaminación microbiológica en el agua de uso agrícola del sistema productivo de cilantro (*Coriandrum sativum* L.), propuesta de medidas preventivas. BUAP. agosto 2022.

[4] Almeria, S. Shipley, A. (2021) Detection of *Cycluspora cayetanensis* on bagged pre-cut salad mixes within their shelf-life and after sell by date by the U.S. food and drug administration validated method. Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition (CFSAN), Office of Applied Research and Safety Assessment (OARSA. University of Maryland, Joint Institute for Food Safety and Applied Nutrition Or University of Maryland, JIFSAN.

[5] Casillas, S. M., Bennett, C., Straily, A. (2018) Notes from the field: Multiple cyclosporiasis outbreaks – CDC.



Anexo A. Requisitos para la inclusión a la Green List de la Import Alert 24-23 de FDA.

DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
Anexo 1. Carta de presentación (inglés)	Se especifica la información correspondiente a la empresa que solicita la inclusión a la <i>Green List</i> de la <i>Import Alert 24-23</i> , tal como razón social, dirección, número FDA, además debe especificar cómo la empresa se relaciona con la empresa productora en caso de ser diferentes empresas. Nombre y domicilio fiscal del proveedor. Domicilio de la granja. Nombre y domicilio fiscal del exportador. Domicilio del empaque. Número DUNS del empaque. Registro de FDA del exportador.
Anexo 2. Carta de autorización (inglés)	Debe establecerse la autorización de la persona responsable del seguimiento de la solicitud, así como sus datos de contacto, por parte del representante legal de la empresa.
Anexo 3. Carta de petición (inglés)	Debe especificar de manera resumida todas las acciones que la o las empresas han implementado para evitar la contaminación del cilantro con <i>C. Cayetanensis</i> , además debe incluir un listado de todos los anexos que formarán parte de la solicitud y sus nombres
Anexo 4. Ubicación del Rancho (inglés)	Debe incluir un mapa de ubicación geográfica y coordenadas de las instalaciones de producción, además debe incluir un croquis de ubicación de las instalaciones tales como sanitarios, fuentes de agua, comedores y almacenes
Anexo 5. Ubicación del Empaque (inglés)	Debe incluir un mapa de ubicación geográfica y coordenadas de las instalaciones de manejo, además debe incluir un croquis de las instalaciones tales como sanitarios, fuentes de agua, comedores y almacenes.
Anexo 6. Manejo de agua en Rancho	Debe incluir fotografías de las fuentes de agua en la unidad de producción del cilantro para conocer sus condiciones (limpio y protegido), además de registros de inspección de fuentes de agua, así como fotos y registros del tratamiento que se le realiza al agua (en caso de que se realice).

Anexo 7. Manejo de agua en Empaque	Debe incluir fotografías de las fuentes de agua en la unidad de producción del cilantro para conocer sus condiciones (limpio y protegido), además de registros de inspección de fuentes de agua, así como fotos y registros del tratamiento que se le realiza al agua (se debe aplicar tratamientos al agua de lavado del cilantro).
Anexo 8. Manejo de suelos y biosólidos	Se deben establecer las medidas de manejo de suelos y fertilización biológica (compostas y fertilizantes de origen animal con o sin tratamiento) para evitar la contaminación del cilantro durante la aplicación de este tipo de productos, se deben adjuntar tanto fotografías como registros, resultados de análisis de compostas y toda la información que derive de dicha actividad
Anexo 9. Manejo de fauna en el Rancho	Se debe especificar por medio de fotografías y registros las medidas preventivas que se han establecido en la unidad de producción para evitar el ingreso de fauna doméstica y silvestre.
Anexo 10. Manejo de fauna en Empaque	Se debe especificar por medio de fotografías y registros las medidas preventivas que se han establecido en la unidad de manejo para evitar el ingreso de plagas.
Anexo 11. Higiene y salud del trabajador de Rancho	Se debe incluir fotos y registros de las capacitaciones al trabajador en temas de salud e higiene (se deben incluir certificados de formación del capacitador en temas de normativa tal como Produce Safety Rule o Preventive Controls for Human Food), además de registros de la inspección diaria al personal para evaluar sus condiciones de salud e higiene.
Anexo 12. Higiene y salud del trabajador de Empaque	Se debe incluir fotos y registros de las capacitaciones al trabajador en temas de salud e higiene (se deben incluir certificados de formación del capacitador en temas de normativa tal como Produce Safety Rule o Preventive Controls for Human Food), además de registros de la inspección diaria al personal para evaluar sus condiciones de salud e higiene.
Anexo 13. Limpieza de sanitarios y disposición de aguas residuales en Rancho	Se debe incluir fotos de las instalaciones sanitarias y estaciones de lavado de manos, las cuales deben demostrar limpieza y estar adecuadamente abastecidas, además debe incluir registros de su limpieza y mantenimiento continuo (extracción de fosas sépticas).

Anexo 14. Limpieza de sanitarios y disposición de aguas residuales en Empaque	Se debe incluir fotos de las instalaciones sanitarias y estaciones de lavado de manos, las cuales deben demostrar limpieza y estar adecuadamente abastecidas, además debe incluir registros de su limpieza y mantenimiento continuo (extracción de fosas sépticas).
Anexo 15. Limpieza de equipo y herramienta de cosecha y transporte en Rancho	Se debe incluir fotos del equipo y herramienta que se usa durante el proceso de cosecha (Cuchillos, taras, guantes), así como los registros de la limpieza de estos equipos y materiales que sean responsabilidad de la unidad de producción.
Anexo 16. Limpieza de equipo y herramienta de cosecha y transporte en Empaque	Se debe incluir fotos del equipo y herramienta que se usa durante el proceso de cosecha / manejo (Cuchillos, taras, guantes), así como los registros de la limpieza de estos equipos y materiales que sean responsabilidad de la unidad de empaque.
Anexo 17. Limpieza del Rancho	Se debe incluir fotos y registros de las actividades de limpieza en la unidad de producción, de caminos, áreas verdes y áreas productivas.
Anexo 18. Limpieza del Empaque	Se debe incluir fotos y registros de las actividades de limpieza en la unidad de Empaque, de caminos, áreas verdes y áreas productivas
Anexo 19. Buenas prácticas de cosecha en Rancho	Se debe incluir fotos y registros de la actividad de cosecha, en las cuales sean evidentes las buenas prácticas durante la cosecha de cilantro, además los registros deben incluir la inspección de las condiciones del área productiva previas a la cosecha de cilantro (inspección precosecha).
Anexo 20. Buenas prácticas de manejo y transporte en Empaque	Se debe incluir fotos y registros de las actividades de transporte y manejo, en las cuales sean evidentes las buenas prácticas durante el manejo de cilantro, además los registros deben incluir la inspección de las condiciones de recepción de cilantro, así como el envío de cilantro al cliente final.
Anexo 21. Procedimiento de acciones correctivas de Rancho (inglés)	Se debe documentar el procedimiento operativo estándar que indique el seguimiento de acciones correctivas en la empresa.

Anexo 22. Procedimiento de acciones correctivas de Empaque (inglés)	Se debe documentar el procedimiento operativo estándar que indique el seguimiento de acciones correctivas en la empresa.
Anexo 23. Certificados de análisis de agua en Rancho (inglés)	Se debe contar con análisis vigentes (1 año) de las fuentes de agua, tomadas previo a su tratamiento y uso, que indique ausencia de E. Coli y/o C. Totales.
Anexo 24. Certificados de análisis de agua de uso general en Empaque (inglés)	Se debe contar con análisis vigentes (1 año) del agua de uso general y/o higiene (lavado de manos), tomadas en su punto de uso, que indique ausencia de E. Coli y/o C. Totales.
Anexo 25. Certificados de análisis de agua de contacto con alimentos en Empaque (inglés)	Se debe contar con análisis vigentes (1 año) del agua de contacto con alimentos con tratamiento, tomadas en su punto de uso, que indique ausencia de E. Coli y/o C. Totales.
Anexo 26. Certificado de SRRC de Rancho (inglés)	Se debe contar con certificación vigente en SRRC de SENASICA en la unidad de producción.
Anexo 27. Oficio de mantenimiento de los SRRC de rancho	En caso de haber pasado un año desde la emisión del certificado, se deberá contar con el documento de mantenimiento de los SRRC por parte de SENASICA.
Anexo 28. Certificado de inocuidad o inspección de Empaque (inglés)	Se debe contar con certificación vigente en la unidad de empaque o una inspección por parte COFEPRIS, donde se demuestre la evaluación de cumplimiento de las buenas prácticas de manejo, en caso de estar en proceso de certificación se recomienda enviar carta compromiso que defina esto.



Mecánica *de* Materiales

Ingeniantes

Aplicación de un fertilizante orgánico líquido y su aplicación en *Lactuca sativa*



Colaboración

Esmeralda Abigai García Suarez, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla; Arely Sugey Núñez Serrano, Universidad Autónoma de Nuevo León; María Cristina López Méndez; Alan Antonio Rico Barragán, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Fecha de recepción: 21 de mayo de 2025

Fecha de aceptación: 9 de septiembre de 2025

RESUMEN: Se evaluó el efecto de un fertilizante líquido orgánico elaborado a partir de contenido rumiante bovino sobre el crecimiento morfológico de la lechuga (*Lactuca sativa*), en comparación con un fertilizante químico y un tratamiento sin fertilizante. El experimento se llevó a cabo en Miahuatlán, Veracruz, aplicando los tratamientos mediante fertilización radicular y foliar. Se midieron la altura y el número de hojas de las plantas después de 60 días. Los resultados mostraron diferencias significativas entre los tratamientos y las técnicas de aplicación. El fertilizante orgánico aplicado por vía radicular generó la mayor altura promedio y un alto número de hojas, superando incluso al fertilizante químico. Estos hallazgos sugieren que el fertilizante orgánico líquido es una alternativa eficaz y sustentable en la producción agrícola de hortalizas.

PALABRAS CLAVE: Fertilizante orgánico líquido, *Lactuca sativa*, fertilización radicular, crecimiento vegetal, agricultura sustentable.

ABSTRACT: The effect of a liquid organic fertilizer made from bovine rumen content on the morphological growth of lettuce (*Lactuca sativa*) was evaluated, in comparison to a chemical fertilizer and a control treatment. The experiment was conducted in Miahuatlán, Veracruz, applying the treatments via root and foliar fertilization. Plant height and number of leaves were measured after 60 days. The results showed significant differences among treatments and application methods. Root-applied organic fertilizer produced the highest average height and a high number of leaves, even surpassing the chemical fertilizer. These findings suggest that liquid organic fertilizer is an effective and sustainable alternative for vegetable crop production.

KEYWORDS: Liquid organic fertilizer, *Lactuca sativa*, root fertilization, plant growth, sustainable agriculture.

INTRODUCCIÓN

En la agricultura, los fertilizantes orgánicos líquidos representan una sostenible e innovadora alternativa; son derivados de fuentes naturales y procesos orgánicos que ofrecen una forma eficiente y respetuosa con el ambiente de nutrir los cultivos, de combatir la desertificación, recuperar de fertilidad y de minimizar la contaminación ambiental por medio de la reducción, reutilización y reciclado de los residuos que contienen componentes importantes como

celulosas, hemicelulosas, ligninas, azúcares y compuestos nitrogenados [1].

Dentro de las zonas rurales, los desechos orgánicos más comunes incluyen a los residuos de los rumiantes; el estiércol y la sangre, que, junto a otros organismos, experimentan un proceso de descomposición natural creando un sistema equilibrado, generando finalmente materia orgánica que puede ser empleada para el compostaje mejorando la estructura del suelo y la capacidad para retener agua. Los contenidos rumiantes contienen un alto porcentaje de flora y fauna microbiana que favorecen la fermentación anaeróbica por lo que tiene un valor significativo en la agricultura, ya que si es gestionado adecuadamente puede convertirse en una fuente de nutrientes para el suelo a través de prácticas de compostaje. Otra de las ventajas es la reducción la acumulación de residuos en las explotaciones ganaderas y evitar problemas ambientales como la contaminación del agua y la emisión de gases de efecto invernadero [2].

Existe un gran interés de ganaderos, agricultores, técnicos y profesionales en la producción de fertilizantes orgánicos utilizando materia prima a partir de residuos de los desechos animales, alimentos y otras fuentes orgánicas, debido a su fácil producción e insumos que se requieren. En la actualidad, la producción de este tipo de fertilizantes es una alternativa de gran importancia debido a las altas demandas de alimentos sanos [3], una de los más producidos y consumidos son las hortalizas gracias a su fuente principal de vitaminas y minerales, y debido a que en su mayoría son de ciclo corto asimilan los nutrientes provenientes de fertilizantes sintéticos y orgánicos [4].

La lechuga forma parte del grupo de hortalizas de hoja y es ampliamente consumida a nivel global. La producción de lechuga ha alcanzado un éxito notable en los mercados internacionales, destacándose por su gran diversidad de cultivares. En los últimos años, este cultivo ha experimentado un avance significativo, tanto en términos de rendimiento como de calidad, lo que ha incrementado de manera considerable su demanda entre la población [5].

Por lo tanto, para este trabajo se plantea el uso de contenido rumiante bovino para la elaboración de fertilizante líquido orgánico mediante el proceso de fermentación anaeróbica y evaluarlo mediante un diseño de experimentos en la morfología del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*).

MATERIAL Y MÉTODOS

Sitio de Estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la localidad de Miahuatlán, Veracruz (19° 42' 13" N, 96° 51'

51" O, 1970 msnm). El estudio tuvo una duración de 60 días de trabajo experimental, complementados por 50 días destinados al establecimiento del ensayo. Este enfoque metodológico permitió una evaluación del crecimiento morfológico de la lechuga *Lactuca sativa* [6], garantizando la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Diseño del Experimento

En charolas de germinación fueron colocadas semillas del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) HortafloTM, utilizando además sustrato de coco. Durante 20 días, las charolas de germinación se mantuvieron bajo una estructura enmallada protegida del sol, agua y aire, aplicando riego de agua por las mañanas mediante un sistema de riego por aspersión [7].

Posteriormente, las plántulas fueron trasplantadas a macetas donde la preparación del suelo se realizó de forma manual, asegurando una mezcla homogénea del sustrato de coco para optimizar las condiciones de crecimiento [8].

Fertilizante orgánico líquido

La generación del fertilizante se obtuvo a partir de la siguiente mezcla: 62% de agua, 31% de materia ruminal sin líquido, el cual previamente fue retirado mediante una malla, 2.5% de melaza y 2.5% de leche, 0.6% de ceniza y 0.09% de melaza, teniendo un total de 40 kg. después de 50 días, el fertilizante orgánico fue cosechado.

Aplicación del Fertilizante Orgánico

El uso del fertilizante orgánico se comparó con un fertilizante químico comercial (NufolyTM), además de establecer un grupo de control sin aplicación de fertilizante para evaluar el impacto de los tratamientos. Se realizaron un total de cuatro aplicaciones de fertilizante, una cada 10 días [9], cada aplicación presentó un volumen de 20 mL al 20%. A los 60 días después del trasplante, se realizó la medición de las variables de altura (cm) y número de hojas.

De igual manera se determinó el mejor tipo de aplicación, es decir la evaluación de una fertilización radicular o foliar, teniendo un total de 8 repeticiones por tratamiento.

Comparación de resultados

La variabilidad de los datos, así como la comparación entre los diferentes tratamientos se analizaron mediante diagramas de cajas y bigotes, los cuales son útiles como representaciones gráficas de los resultados. Se aplicó una prueba T de Student, con un $\alpha = 0.05$, lo anterior para evaluar la efectividad entre la forma de aplicación del fertilizante (foliar o radicular) y su relación con el número de hojas y la altura de las plantas, la prueba se llevó a cabo mediante el software Minitab.

RESULTADOS

Los datos obtenidos muestran cómo distintos tipos de fertilización; orgánica (FO), química (FQ) y el control sin fertilización (SF) y sus vías de aplicación (radicular vs. foliar) influyen en el desarrollo de *Lactuca sativa* en términos de número de hojas y altura.

Número de hojas de *Lactuca sativa*

En lo que se refiere, al número de hojas, el uso de un fertilizante ya sea orgánico o líquido, muestra un mayor número de hojas que el tratamiento sin fertilizante (SF). En la aplicación foliar ver Figuras 1, la mediana mostrada por el fertilizante químico supera al orgánico (21.87 vs 21.12), observando una mayor dispersión de los resultados en el fertilizante orgánico líquido.

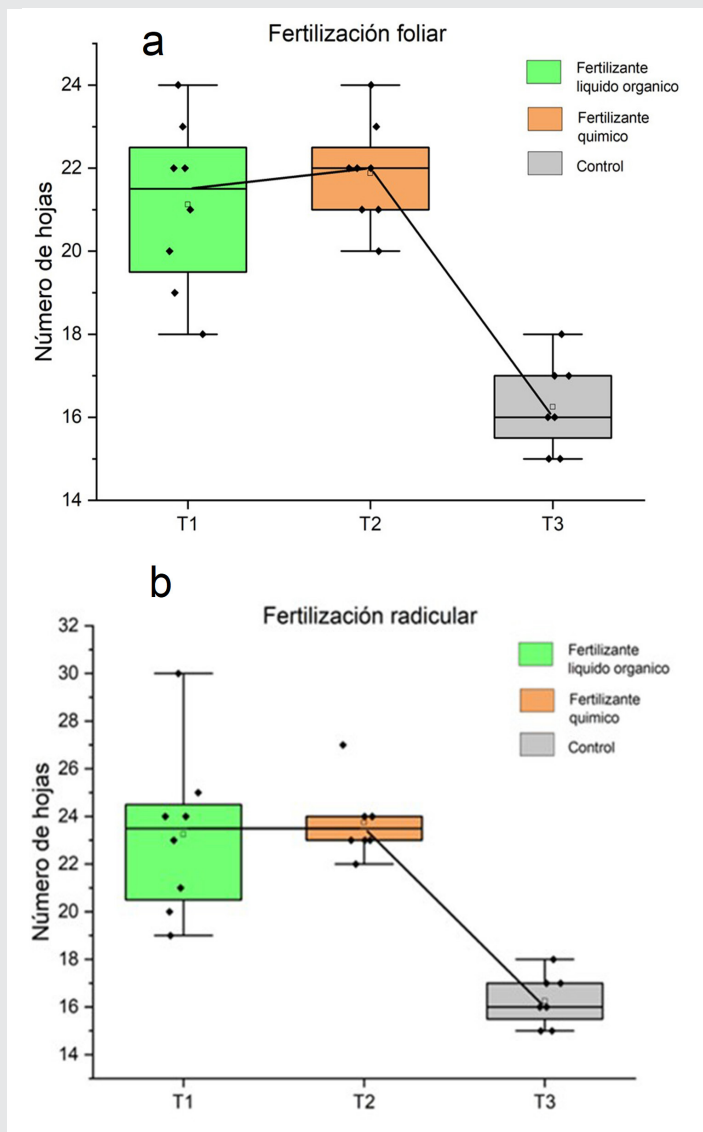


Figura 1. Comparación de número de hojas a partir de diversos fertilizantes y su aplicación a) foliar b) radicular.

Fuente: Elaboración propia.

Las diferencias observadas en ambos fertilizantes pueden considerarse como no significativa. En lo

que respecta a una aplicación radicular, la mediana alcanzada del número de hojas fue muy similar (FQ: 23.75 vs FO: 23.50). De igual manera se observa una mayor dispersión, en los resultados mostrados por el fertilizante líquido orgánico, alcanzando un número de 30 hojas de *Lactuca sativa*. El tratamiento sin fertilización (SF) mostró un valor considerablemente menor en ambas formas de aplicación, indicando un impacto claro de la fertilización sobre el desarrollo foliar.

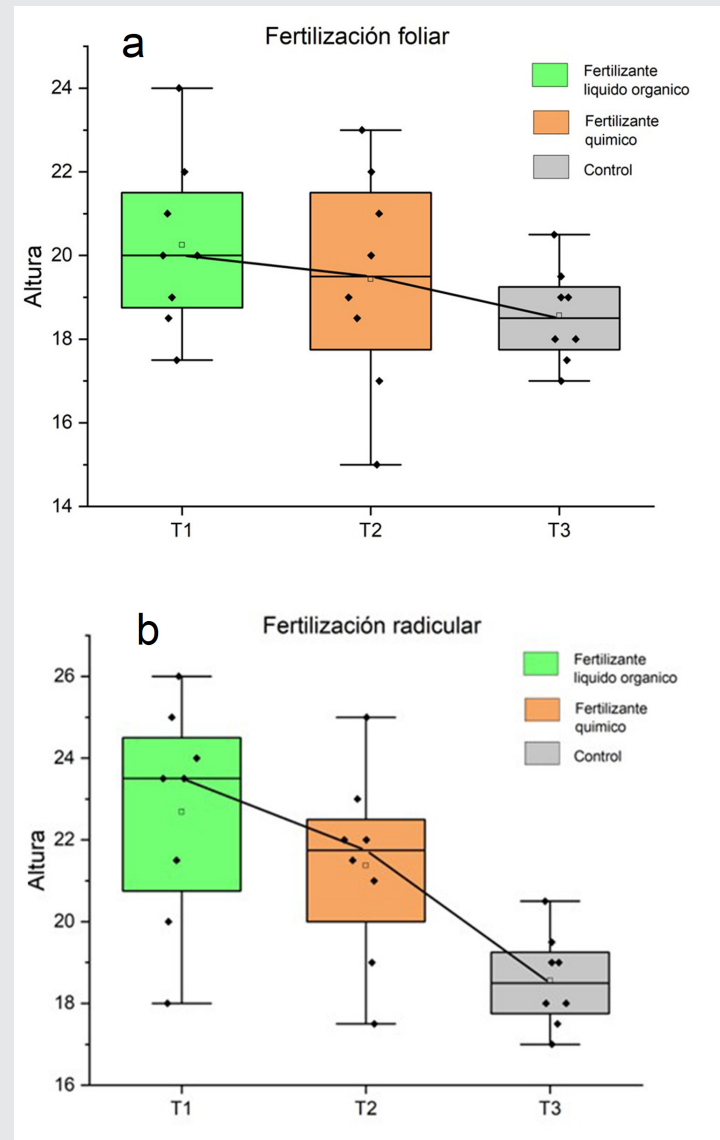


Figura 2. Comparación de la altura (cm) a partir de diversos fertilizantes y su aplicación a) foliar b) radicular.

Fuente: Elaboración propia.

Altura de *Lactuca sativa*

Dentro del parámetro de la altura (cm) alcanzada por la planta ver Figura. 2 después del tiempo de aplicación del fertilizante (60 días), se observó que el fertilizante orgánico alcanza una altura cercana a los 24 cm con una mediana de 20 cm, mientras que el fertilizante químico presente una mediana por de-

bajo del fertilizante líquido orgánico (19.5 cm) y a la altura máxima mostrada fue cercana a los 23 cm.

En lo que corresponde a la aplicación por vía radicular (ver Fig. 2b), el FO presentó mejores resultados, incluso superando los de la aplicación foliar. La mediana obtenida por el FO superó los 23 cm, alcanzando su punto mayor cercano a los 26 cm.

Su contraparte, FQ mostró una mediana cercana los 22 cm y teniendo su valor más alto rondando los 25 cm. De igual manera, se observa que el uso de un fertilizante, orgánico o químico, presenta mejoras en la altura de las plantas a comparación del control donde no se utiliza ningún agente de fertilización.

Comparación entre tipos de aplicación

Los resultados, tanto del número de hojas como de la altura obtenida por la Lactuca sativa, muestra que la aplicación por vía radicular genera mejores efectos sobre la planta, independientemente el tipo de fertilizante utilizado Tabla 1. En el caso del FO, se observa más hojas y mayor altura utilizando una vía radicular que en una aplicación foliar. Con la misma tendencia se observa la aplicación radicular utilizando FQ.

Tabla 1. Análisis de la comparación de medias para el número de hojas y la altura promedio para los tipos de fertilización.

Tipo de Fertilización	Número de hojas	Altura (cm)
Radicular (B1)	23.5	22.03
Foliar (B2)	21.5	19.84

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del número de hojas, una vía radicular mejora hasta un 11% la cantidad de hojas mostradas, mientras que, en el caso de la altura, se tiene una mejora de cerca del 10% respecto a la aplicación foliar ver Tabla 1.

Estos datos pueden sugerir que una aplicación radicular es más eficiente para la absorción de nutrientes, especialmente en el caso del fertilizante orgánico. Aunque faltaría determinar la cantidad de nutrientes o otros tipos de fertilizantes para concluir lo anterior.

La dispersión de los datos se puede observar en la Figura 3. En el caso, número de hojas, la aplicación radicular muestra una dispersión mas homogénea a comparación de una fertilización por la vía radicular, aunque se encontraron dos valores atípicos (27 y 29).

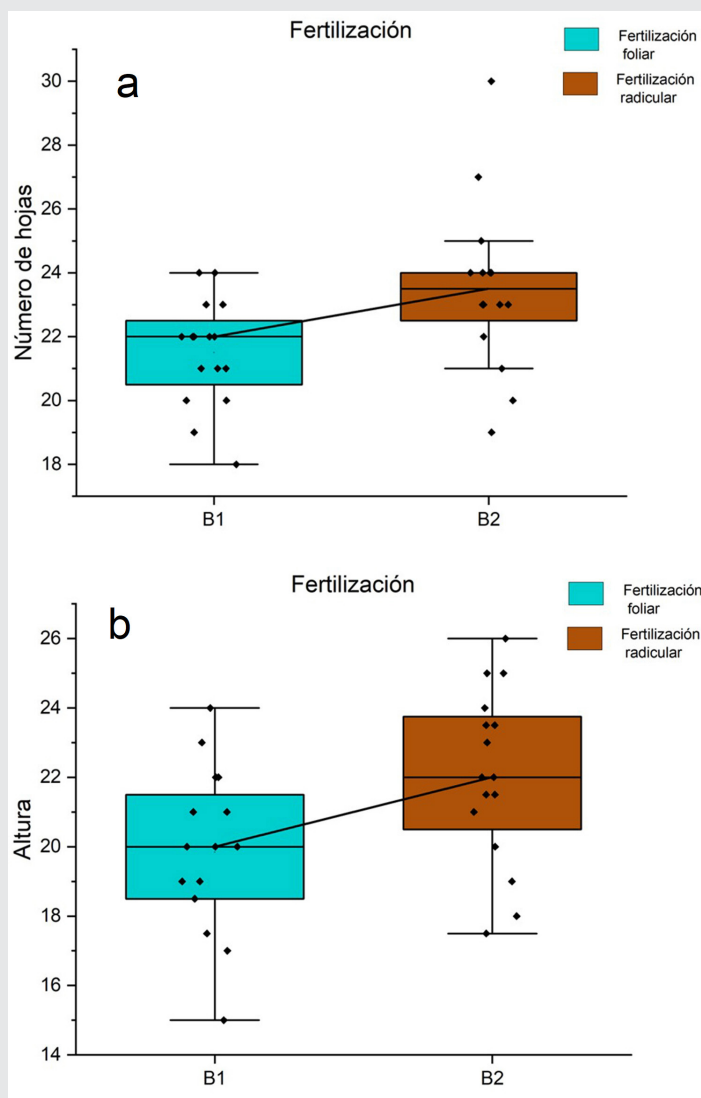


Figura 3. Comparación del a) número de hojas y b) altura (cm) promedio para el tipo de aplicación fertilización B1 (Radicular) y B2 (Foliar).

Fuente: Elaboración propia.

Mientras que, en la variable de la altura, la dispersión en ambos tipos de vía de aplicación, foliar o radicular, es similar y no se encuentran datos atípicos.

La comparación entre las medias del tipo de fertilización radicular y foliar se realizó mediante una prueba T de Student ($\alpha = 0.05$), utilizada para comparar la media de dos grupos y confirmar si existe una diferencia significativa. En el caso del número de hojas, se concluye que existe diferencia significativa entre una aplicación foliar y una aplicación tipo radicular ($\alpha = 0.05 > 0.015 = p$). De igual manera, en la variable de la altura, existe diferencia estadística entre el tipo de aplicaciones ($\alpha = 0.05 > 0.015 = p$).

Los anteriores datos, reflejan que la utilización de una fertilización orgánica mediante una vía radicular presenta mejoras a comparación de la otra vía, además del uso de un fertilizante comercial químico, abriendo

las posibilidades de la aplicación de este fertilizante en otras condiciones y con otro tipo de plantas.

CONCLUSIONES

Se realizó una aplicación de un fertilizante líquido orgánico a partir de residuos rumiantes y se comparó con un fertilizante químico en la producción de *Lactuca sativa*. Los resultados muestran diferencias en el crecimiento de la lechuga en función del tipo de fertilizante y la técnica de aplicación. La aplicación de fertilizante líquido orgánico mediante fertilización radicular resultó en la mayor altura promedio. Sin embargo, al utilizar fertilización foliar, no se encontraron diferencias significativas entre los fertilizantes químico y orgánico, ambos presentando rendimientos similares.

Los resultados del estudio indican que tanto el fertilizante líquido orgánico como el químico presentan efectos en el crecimiento de la lechuga, superando al tratamiento de control en todas las variables analizadas. La fertilización radicular demostró ser la más efectiva, alcanzando promedios de 23.5 hojas y 22.03 cm de altura, siendo el fertilizante líquido orgánico el que mostró un efecto superior en comparación con el químico.

En posteriores estudios, se buscará la aplicación en otros tipos de plantas y con diferente configuración del fertilizante líquido orgánico.

AGRADECIMIENTOS

EAGS agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por la Beca de Manutención No. CVU 1308351.

BBIBLIOGRAFÍA

[1] Marín, D. (2019). *Impacto del Uso de Biofertilizantes a Base de Residuos Orgánicos en los Suelos*.

[2] Chungandro, K. (2023). *Obtención de fibra a partir de la masa ruminal de ganado bovino para aplicación agroindustrial*. Universidad Nacional de Chimborazo.

[3] Rueda, L. (2022). *Evaluación de productividad de ajo (*Allium sativum* L.), con la aplicación de tres fertilizantes orgánicos en el cantón San Pedro de Huaca*. Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

[4] Chiara, P. (2020). "Efecto de dos abonos foliares orgánicos en la caracterización agronómica del cultivo de espinaca (*spinacea oleracea* L.) en el centro experimental de Cota." Universidad mayor de San Andrés.

[5] Cabrera, J. A. (2021). *Evaluación de Cuatro Cultivares de Lechuga en Parámetros Agronómicos similares en la granja santa Ines*.

[6] Meskelu, A.F. Senbeta, Y.G. Keneni, G. Sime (2024). *Growth and marketable yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) as affected by bio-slurry and chemical fertilizer application*, Heliyon 10 e23600.

[7] Chowdhury, A. Espinoza-Ayala, U.C. Samarakoon, J.E. Altland, T. Yang. (2024). *Substrate Comparison for Tomato Propagation under Different Fertigation Protocols*, Agriculture 2024, Vol. 14, Page 382 14 (2024) 382.

[8] Soura, I. Dianda, B. Lankoande.(2024). *African Journal of Agricultural Research Production of lettuce (*Lactuca sativa*) under a soilless system based on coconut fibers (*Cocos nucifera*)*, 20 (2024) 886-895.

[9] Nurhayati, S.D. Aplanaidu, E. Wibowo, S. Aviseema. (2024). *Increased growth and yield of green lettuce (*Lactuca Sativa* L.) using inorganic fertilizer types*, Brazilian Journal of Biology 84 (2024) e283598





Bioquímica *y* Biológicos

Ingeniantes

Desarrollo de un prototipo de fotocolorímetro didáctico lector de microplacas basado en tecnologías de código abierto



Colaboración

Arturo Cabrera Vazquez; Eduardo Enrique Salazar; Juan Pablo Salazar; Ruben Enrique Cuevas Alarcon, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior Misantla.

Fecha de recepción: 01 de mayo de 2025

Fecha de aceptación: 12 de septiembre de 2025

RESUMEN: Frente a la limitación de recursos en instituciones de educación superior, donde la falta de equipos especializados restringe la formación práctica, se plantea el diseño y construcción de un fotocolorímetro didáctico lector de microplacas (FDLM) como una alternativa viable para la enseñanza de principios básicos de espectrofotometría. El objetivo del proyecto fue desarrollar un equipo de bajo costo, elaborado con materiales accesibles y tecnologías de código abierto, que permita a los estudiantes la adquisición de habilidades experimentales sin depender de equipos comerciales de alto presupuesto. El FDLM se diseñó en cuatro etapas: (i) desarrollo del sistema óptico basado en un LED para la cuantificación de absorbancia, (ii) construcción del sistema mecánico mediante motores a pasos y un mecanismo de cremallera y correa, (iii) programación del software que coordina el movimiento X-Y de la microplaca con la fuente de luz y el sensor, y (iv) validación del prototipo mediante un análisis comparativo frente a un espectrofotómetro comercial. Los resultados obtenidos presentan un comportamiento lineal confiable dentro de un rango operativo limitado, con sensibilidad adecuada para fines didácticos y pedagógicamente eficaz bajo un enfoque constructivista.

PALABRAS CLAVE: Fotocolorímetro, microplaca, herramienta didáctica, autoconstrucción, arduino.

ABSTRACT: Faced with resource limitations in higher education institutions, where the lack of specialized equipment restricts practical training, the design and construction of a didactic microplate reader photocolorimeter (FDLM) is proposed as a viable alternative for teaching basic principles of spectrophotometry. The objective of the project was to develop a low-cost device, made with accessible materials and open source technologies, that allows students to acquire experimental skills without depending on high-budget commercial equipment. The FDLM was designed in four stages: (i) development of the LED-based optical system for absorbance quantification; (ii) construction of the mechanical system using stepper motors and a rack and belt mechanism; (iii) programming of the software that coordinates the X-Y movement of the microplate with the light source and the sensor; and (iv) validation of the prototype through a comparative analysis against a commercial spectrophotometer. The results obtained present reliable linear behavior within a limited operating range, with adequate sensitivity for teaching purposes and pedagogically effective under a constructivist approach.

KEYWORDS: Photocolorimeter, microplate, educational tool, self-construction, Arduino.

INTRODUCCIÓN

Los lectores de microplacas tipo ELISA, son instrumentos de laboratorio diseñados para cuantificar eventos biológicos, químicos y físicos en pequeños volúmenes de soluciones contenidas en los pocillos de placas de microtitulación con un formato de automatización y alto rendimiento [1], con amplia aplicación en áreas tan diversas como endocrinología, biología celular, inmunología y desarrollo de fármacos [2], viabilidad y crecimiento de microorganismos en diferentes condiciones experimentales [3].

Su arquitectura se sustenta en tres sistemas principales que actúan de manera integrada. El sistema óptico, compuesto por

fuentes de luz, como lámparas de xenón o LEDs, monocromadores además de detectores tales como fotodiodos o tubos fotomultiplicadores, lo cual permite excitar las muestras en longitudes de onda específicas y medir señales ópticas resultantes de procesos analíticos, tales como absorbancia, fluorescencia o luminiscencia, garantizando sensibilidad y especificidad [4]. El sistema mecánico asegura el desplazamiento preciso de la microplaca mediante motores y mecanismos de alineación, de modo que cada pocillo se posicione correctamente frente al haz óptico. Finalmente, el sistema informático de procesamiento de datos controla el instrumento, digitaliza las señales luminosas convertidas en impulsos eléctricos, y aplica algoritmos de análisis para transformar la información en resultados cuantitativos confiables y exportables. La interacción coordinada de estos sistemas no solo garantiza la exactitud y reproducibilidad de los ensayos, sino que también optimiza el tiempo experimental y el uso de reactivos, lo que convierte al lector de microplacas en una herramienta indispensable en investigación biomédica, farmacéutica, ambiental, alimentaria y en la industria cosmética [5].

Actualmente, la disponibilidad de lectores de microplacas automatizados se ofertan por un creciente número de fabricantes en diversas configuraciones y han ganado amplia aceptación en la comunidad científica e industrial. No obstante, la adquisición de estos equipos así como el de sus consumibles puede resultar costosa y fuera del presupuesto para muchas instituciones educativas [6]. Como alternativa, la construcción de prototipos con componentes asequibles y utilizando plataformas de acceso libre y código abierto emerge como una opción viable [7].

Estudios previos han desarrollado dos enfoques para crear alternativas de bajo costo a los lectores de microplacas comerciales [8,9], el primero se basa en diseños donde la cámara de teléfonos inteligentes funcionan como sensor óptico de un smartphone y con accesorios impresos en 3D, se ordenan para medir la luz transmitida a través de las muestras líquidas. Como fuente luminosa se ha empleado una matriz de LED o fibras ópticas individuales para analizar pruebas ELISA en muestras biológicas [8,9]. El segundo enfoque se basa en la tecnología convencional de un lector de microplacas empleando materiales genéricos y programación en código abierto, reduciendo significativamente el costo por unidad [10,11].

En el presente artículo se propuso la integración de equipos multidisciplinarios en el área biológica, mecánica e informática para el diseño y la construcción de un equipo de bajo costo empleando la arquitectura convencional, con un lector de absor-

bancia para microplacas y empleando un sistema CNC construido de materiales de reciclado, coordinados con una plataforma libre de código abierto Arduino a fin de disminuir el costo del equipo y establecer un esquema didáctico durante su construcción y operación.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Investigación Avanzada de Veracruz (LIAV) dentro del Instituto Tecnológico Superior de Misantla (ITSM), Veracruz, México. De manera similar a los equipos convencionales, el prototipo incluyó la construcción de tres sistemas: óptico, mecánico y electrónico.

Sistema óptico: El sistema está construido por una fuente de luz y un fotodetector, que se ha fijado y alineado para que la luz pueda pasar a través de la muestra. La fuente de luz es un led ultrabrillante de color verde marca LED-TECH.DE optoelectronics, parte número LT-0697, 3mm de diámetro, con un máximo de emisión de 525 nm e intensidad luminosa máxima de 20000 milicandelas y un voltaje máximo de 4 V de corriente directa [12]. Se seleccionó esta fuente de luz debido a su bajo costo, consumo mínimo de electricidad, alta luminosidad, configuración flexible, pureza espectral alta, tamaño pequeño y generación mínima de calor, ideal para aplicaciones optoelectrónicas.

El detector para convertir la luz transmitida en señal eléctrica es una fotoresistencia marca CEBEK®, modelo C-2795 con un valor máximo de potencia disipable de 90 mW [13], la cual responde a los cambios en la intensidad de la luz modificando el valor de su resistencia. Cuanto mayor sea la intensidad de luz a la longitud de onda de trabajo, más baja será la resistencia al paso de corriente. La señal generada por la luz transmitida se dirigió para su procesamiento y digitalización a un controlador Arduino mega R32560 [14].

Sistema mecánico: Consta de un sistema de control numérico por computadora (CNC), el cual se obtuvo a partir de impresoras en desuso las cuales contienen elementos mecánicos útiles con la precisión y suavidad que se requiere para controlar en todo momento la posición de un punto sobre la placa respecto a un origen (0,0,0 de máquina) con alta precisión, en un sistema de coordenadas X-Y. Figura 1.

El motor empleado en el eje X es un motor a pasos bipolar M35SP-11NK, marca Mitsumi, delgado, de alta resolución y estabilidad, con un ángulo de paso de 3.75° y una alimentación de 12 Volts y 200 mA.

Para el eje "Y" el motor empleado es el modelo PM42L-048-HHC9, marca NMB-MAT, alimentado

con 24V, 600mA y un ángulo de paso de 7.5°; este motor cuenta con un sistema de cuatro engranes que permiten una reducción de velocidad de 8 a 1 en el engrane de la banda dentada.

Los ejes de la máquina son movidos por cremalleras y correa que son impulsados por los motores a paso bipolares. Las señales del controlador son amplificadas por los drivers, los cuales son suficientemente potentes para hacer funcionar los motores. El sistema de transporte descrito está unido a una charola portaplaca.

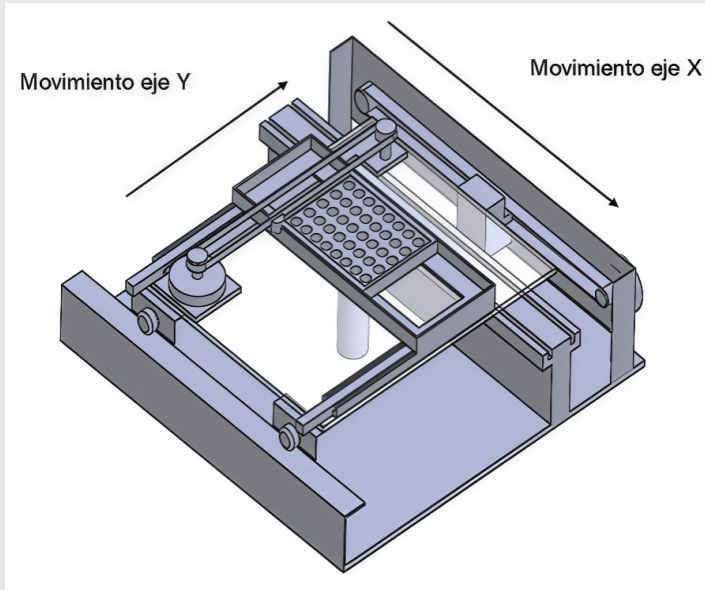


Figura 1. Diagrama mecánico del Fotocolorímetro didáctico lector de microplacas. En la figura se observa los movimientos sobre el eje X y sobre el eje Y del sistema mecánico para posicionar el portaplacas con referencia a un origen 0,0,0 de la máquina. Fuente: Elaboración propia.

Sistema electrónico: Emplea como eje central la plataforma de prototipos electrónica de código abierto, basada en el microcontrolador Atmega 168, Arduino Mega 2560, como se observa en la Figura 2, la cual es una plataforma de bajo costo y fácilmente programable en lenguaje C/C++[14].

Para programar la placa Arduino, el software empleado fue Arduino IDE, el cual es de acceso libre y código abierto. La programación se desarrolló en un ambiente de Windows y permitió sincronizar el tiempo de emisión de color por el led con la cantidad de luz transmitida capturada por el sensor, así como su conversión a señal digital para ser transmitida y visualizada en una computadora personal. El software desarrollado empleó el lenguaje Arduino processing y Arduino IDE [14].

Ensamblaje y construcción del Fotocolorímetro

La cubierta externa se construyó con madera de 1 cm de espesor y dimensiones de 40 x 21 cm con una altura de 12 cm.

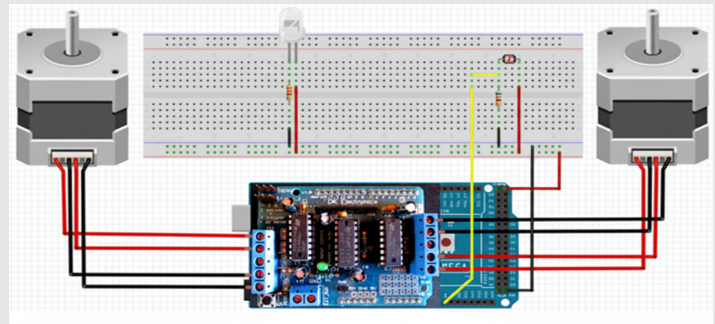


Figura 2. Diagrama esquemático de los componentes de control del sistema electrónico y mecánico del FDLM. Se presentan las conexiones del Arduino Mega 2560, Shield L293D a los motores a paso bipolares, el LED verde y la LDR (fotoreistencia). Fuente: Elaboración propia.

A fin de disminuir el reflejo interno de la luz, el interior del equipo se cubrió con pintura negra mate. En su parte interna el fotocolorímetro se construyó bajo el siguiente esquema de trabajo:

1. Se montó un LED ultrabrillante verde sobre una base de madera, posicionado a 2.5 cm de la superficie de la placa. Para evitar la dispersión lateral de la luz y asegurar una trayectoria paralela a la superficie, el LED se colocó dentro de un tubo con un diámetro ligeramente superior. La alta intensidad luminosa del LED seleccionado garantiza una relación señal/ruido óptima para las mediciones. Este punto se definió como el punto de referencia 0,0,0 del equipo.

2. El diseño del equipo priorizó la precisión en el manejo de la microplaca, implementando un sistema mecánico robusto basado en motores a pasos bipolares y un mecanismo de cremallera y correa. El sistema mecánico se compone de dos módulos de movimiento, uno en el eje "X" y otro en el eje "Y", ambos controlados por motores a pasos. El módulo de movimiento en "X", con una carrera de 32 cm, desplaza una plataforma que sujeta la microplaca, mientras que el módulo de movimiento en "Y", con una carrera de 22 cm, se desplaza sobre la plataforma del módulo "X", permitiendo el posicionamiento en el plano "XY". La meticulosa fijación de los motores y el ajuste preciso del sistema de transmisión permitieron un control bidimensional del desplazamiento. El sistema Arduino, actuando como el cerebro del equipo, coordinó los movimientos de los motores con una resolución fina, garantizando el posicionamiento preciso de cada uno de los 40 pocillos de la microplaca respecto al pocillo de origen. Esta capacidad de posicionamiento preciso fue esencial para asegurar la repetibilidad y la confiabilidad de las mediciones, minimizando errores y optimizando la eficiencia del proceso [15].

3. Se colocó un detector de luz a 2 cm por encima de un LED verde ultrabrillante, de manera que estuviera alineado con la trayectoria lineal del haz de luz que atraviesa la muestra en cada pocillo de la microplaca.

El eje central del fotosensor se ajustó para coincidir exactamente con el haz de luz proveniente de la muestra [16]. Las terminales del detector se conectaron a las entradas correspondientes del módulo Arduino, como se observa en la Figura 3.

El circuito electrónico, cuyo componente principal fue el módulo Arduino, permitió la sincronización del encendido del LED, el posicionamiento del pocillo para la lectura y la toma de datos por el detector. Para el diseño del sistema controlador del movimiento "XY" de la microplaca se elaboró una aplicación empleando el programa arduino processing, además se elaboró una segunda aplicación para captura, procesamiento y visualización de datos empleando el programa arduino IDE [15].

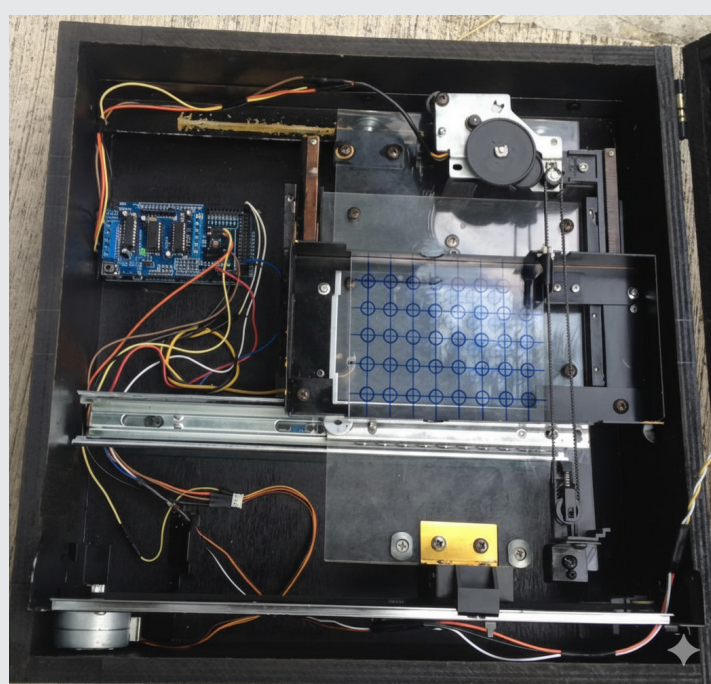


Figura 3. Vista superior de la parte interna del FDLM. Se observan los módulos de movimiento en el eje X, en el eje Y, el elemento Arduino así como la plataforma que sujeta la microplaca. Fuente: Elaboración propia.

Microplaca de teflón: Dado el alto costo de las microplacas comerciales se propuso la búsqueda de alternativas que permitieran crear microplacas reutilizables. Las microplacas empleadas con este prototipo fueron construidas de teflón (politetrafluoroetileno), un polímero similar al polietileno en los que los átomos de hidrógeno han sido substituidos por átomos de Flúor. Teflón es una marca comercial registrada por DuPont, con propiedades inertes y antiadherentes, bajo coeficiente de rozamiento y gran impermeabilidad, es flexible y soporta temperaturas entre -270 y 270 grados centígrados, lo cual permite su esterilización [17].

Además de estas propiedades, la facilidad para trabajarse mecánicamente apoyaron su empleo como material base en la elaboración de microplacas reutilizables

y esterilizables. Placas de 10 por 15 cm y un espesor de 1 cm fueron perforadas con 40 pozos de 1 cm de diámetro empleando una fresadora comercial. La tapa de las placas de teflón se elaboró con vidrio comercial.

Validación del Fotocolorímetro didáctico lector de microplacas (FDLM)

La validación del FDLM se efectuó empleando como modelo de trabajo la dilución seriada de colorantes vegetales grado alimenticio rojo grosella 270, marca De-mian.

La curva de calibración se construyó diluyendo una solución acuosa concentrada de 2 mg/ml para obtener valores de 1.8, 1.6, 1.4, 1.2, 1.0, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0.15, 0.10 y 0.05 mg/ml. Cada solución de la curva de calibración se leyó por triplicado en el FDLM y en forma paralela en un espectrofotómetro comercial UV-VIS Thermo Scientific™ GENESYS 10S en una cubeta de plástico de 1 cm de paso de luz empleando agua como blanco de reactivos. Los valores de absorbancia se recopilaron en hojas de cálculo del programa excel.

Análisis estadístico de datos

El análisis de datos y la representación gráfica se realizaron utilizando el programa Microsoft Office Excel 2007. Se elaboró un gráfico de dispersión, colocando la concentración de los estándares en el eje "X" y la absorbancia en el eje "Y". Posteriormente, se aplicó un análisis de regresión lineal para determinar la ecuación de la recta que mejor se ajusta a los datos ($y = mx + b$).

La calidad del ajuste se evaluó mediante el coeficiente de determinación (R^2), donde valores cercanos a 1 indican un ajuste óptimo con una fuerte correlación entre concentración y absorbancia.

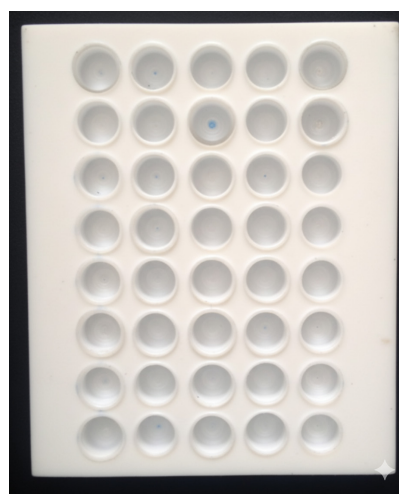


Figura 4. Microplaca de teflón. Se presenta la fotografía de una microplaca de 40 pocillos construida en placa de teflón. Se observan cada uno de los 40 pocillos así como su interior. El fondo es una fina capa delgada de teflón que permite el paso de luz del LED a el detector. Fuente: Elaboración propia.

Validación del fotocolorímetro

Para evaluar la confiabilidad del sistema, se compararon los parámetros de linealidad y precisión del prototipo frente a un espectrofotómetro comercial. Se emplearon diluciones seriadas acuosas del colorante vegetal de grado alimenticio rojo grosella 270, seleccionadas por su baja toxicidad, bajo costo, disponibilidad y estabilidad. Las soluciones se prepararon inmediatamente antes de la medición, registrando su absorbancia. El LED utilizado presentó un espectro de emisión con un máximo a 525 ± 10 nm, correspondiente a la longitud de onda complementaria del pigmento.

Simultáneamente, las mismas muestras se midieron en un espectrofotómetro comercial GENESYS 10S a 525 nm, empleando agua como blanco de reactivos [16]. Los valores de lectura del fotocolorímetro didáctico, en unidades arbitrarias, se convirtieron a absorbancia mediante la fórmula:

$Abs = -\log(\text{lectura de dilución} / \text{lectura de blanco})$.

RESULTADOS

Discusion

El desarrollo del fotocolorímetro didáctico lector de microplacas (FDLM) demostró que es posible construir un dispositivo funcional con componentes de bajo costo y plataformas de código abierto, capaz de realizar mediciones de absorbancia de manera comparable, aunque no equivalente, a un espectrofotómetro comercial. El equipo se puede observar en el siguiente enlace <https://www.youtube.com/watch?v=aoaLlBRBMT4>.

Los resultados obtenidos en la validación experimental evidencian tanto los alcances como las limitaciones del prototipo, lo cual aporta información relevante para su implementación en contextos educativos y de investigación formativa.

La curva de calibración para el color rojo, obtenida con el equipo FDLM se presenta en la Figura 5B, donde se grafica el promedio y la desviación estándar para cada concentración. Se observa un comportamiento lineal dentro de un rango restringido entre 0.1 a 0.3 mg/mL, alcanzando un coeficiente de correlación ($R^2 = 0.9839$) que aunque inferior al del espectrofotómetro GENESYS 10S cuyo valor alcanza un $R^2 = 0.9987$, Figura 5A, se mantiene dentro de valores aceptables para fines docentes [16]. Esta observación coincide con lo reportado en estudios previos sobre dispositivos alternativos de bajo costo, donde se destaca que la linealidad es uno de los parámetros más afectados por la simplicidad de los sistemas ópticos empleados [7,8].

La reducción del rango de trabajo se asocia principalmente a la dispersión espectral del LED, que con un ancho de banda de ± 10 nm no logra una selectividad comparable a la de los monocromadores de equipos comerciales. Esta característica es crítica, ya que la

Ley de Lambert-Beer asume el uso de radiación prácticamente monocromática para mantener la proporcionalidad entre absorbancia y concentración [7].

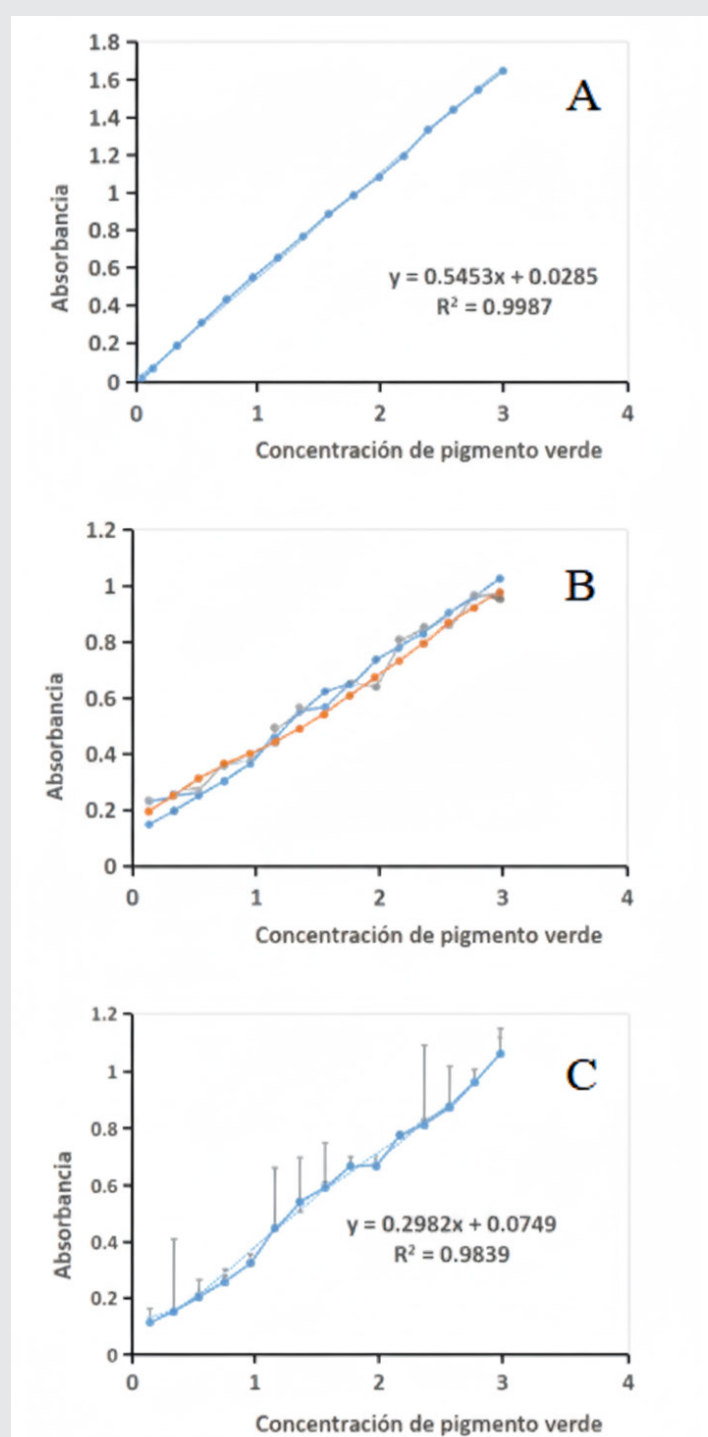


Figura 5. Comportamiento de los datos de absorbancia obtenidos con el equipo comercial GENESYS 10-S (panel A) comparado con los datos obtenidos con el FDLM (panel B). Se presentan la ecuación de la línea de tendencia y el valor de R^2 para el equipo comercial GENESYS 10-S y para el intervalo de respuesta lineal del FDLM

Fuente: Elaboración propia.

Otro aspecto a considerar es la reproducibilidad, que resultó limitada en el FDLM debido a variaciones en la

alineación óptica y en la homogeneidad de los pocillos de teflón. Mientras que el espectrofotómetro comercial mostró desviaciones mínimas entre mediciones sucesivas, el FDLM presentó una variabilidad perceptible, reflejada en la mayor desviación estándar de las lecturas. Esta diferencia puede atribuirse a la dispersión interna de la luz ocasionada por materiales no especializados en óptica [11], así como a la ausencia de sistemas de control de calidad en la fabricación de las microplacas, además de la presencia de luz parásita dentro del dispositivo, así como una mayor interferencia y dispersión en la trayectoria del haz luminoso. Sin embargo, esta característica, si bien representa una desventaja para aplicaciones analíticas de alta precisión, no invalida su utilidad en la enseñanza práctica de conceptos fundamentales [17].

Desde el punto de vista de sensibilidad, el FDLM logró detectar variaciones de absorbancia de 0.05 unidades para cambios de 0.2 mg/mL en la concentración de colorante Figura 5C, lo cual confirma que el sistema es capaz de distinguir diferencias cuantitativas en un intervalo limitado. Aunque esta resolución es menor a la de equipos comerciales, resulta suficiente para prácticas educativas enfocadas en la comprensión de la relación entre concentración y absorbancia, en el diseño de curvas de calibración y en la validación experimental de la Ley de Lambert-Beer [9].

Un elemento adicional de interés es la integración de microplacas reutilizables de teflón. Aunque esta propuesta surge como respuesta al alto costo de consumibles comerciales [5], plantea tanto ventajas como retos. Entre sus beneficios destacan la durabilidad, esterilización y reutilización, lo cual reduce significativamente los costos de operación en el ámbito docente. No obstante, las diferencias en uniformidad de los pozos, así como la naturaleza difusora del material, contribuyen a la pérdida de precisión en la medición [17]. Futuras mejoras podrían considerar la incorporación de recubrimientos ópticamente estables o el empleo de plásticos transparentes de grado óptico.

El enfoque interdisciplinario empleado en la construcción del FDLM es otro aspecto destacable. La participación de áreas como biología, mecánica e informática no solo permitió materializar un dispositivo funcional, sino que también enriqueció el proceso formativo de los estudiantes involucrados. Durante su desarrollo fue evidente que la implementación de un sistema CNC con componentes reciclados, combinado con plataformas de libre acceso como Arduino, constituye un modelo didáctico que promueve el aprendizaje integral y fomenta la innovación tecnológica en instituciones con recursos limitados.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos confirman la viabilidad del diseño y construcción de un fotocolorímetro didáctico

de bajo costo (FDLM), que cumple los requerimientos básicos para su aplicación en actividades docentes. El dispositivo presenta limitaciones en términos de reproducibilidad, resolución óptica y precisión en comparación con equipos comerciales, sin embargo demostró un comportamiento lineal confiable dentro de un rango operativo definido, con coeficientes de correlación estadísticamente aceptables para fines educativos. Además, constituye un modelo de innovación tecnológica sostenible que facilita el acceso a equipos de laboratorio en instituciones con recursos limitados.

El FDLM es una herramienta formativa que combina bajo costo, funcionalidad esencial y valor didáctico, promoviendo entornos de aprendizaje activo y experimental en ciencias e ingeniería.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Promega (2025). Microplate Reader & Luminometer Selection Guide. Obtenida el 23 de septiembre del 2025, de la página electrónica <https://worldwide.promega.com/es-es/products/microplate-readers-fluorometers-luminometers/microplate-readers/>.*
- [2] *Ackerman, S. B., & Kelley, E. A. (1983). Probe colorimeter for quantitating enzyme-linked immunosorbent assays and other colorimetric assays performed with microplates. Journal of Clinical Microbiology, 17(3), 410-413.*
- [3] *O'Neill, H. C., & Parish, C. R. (1983). A rapid, automated colorimetric assay for measuring antibody binding to cell surface antigens. Journal of Immunological Methods, 64(3), 257-268.*
- [4] *What Does a Microplate Reader Measure and Other Microplate Q&A (2025). Hudson Lab Automation. Obtenida el 25 de septiembre del 2025, de la página electrónica <https://hudsonlabautomation.com/what-does-a-microplate-reader-measure/>.*
- [5] *BMG LABTECH (2025). Microplate reader. Obtenida el 23 de septiembre del 2025, de la página electrónica <https://www.bmg-labtech.com/en/microplate-reader/#basic-info>.*
- [6] *Arias, E., Giambruno, C., Morduchowicz, A., & Pineda, B. (2023). El estado de la Educación en América Latina y el Caribe 2023. Banco Interamericano de Desarrollo, División de Educación.*
- [7] *Branning Jr, J. M., Faughnan, K. A., Tomson, A. A., Bell, G. J., Isbell, S. M., DeGroot, A., ... & Cash, K. J. (2024). Multifunction fluorescence open source in vivo/in vitro imaging system (openIVIS). PLoS ONE, 19(3), e0299875.*
- [8] *Alaruri, S. D., Katzlinger, M., Schinwald, B., Kronberger, G., & Atzler, J. (2013). Deve-*

lopment of LEDs-based microplate reader for bionalytical assay measurements. *Measurement Science and Technology*, 24(10), 105501.

enabling software: A preliminary demonstration. *Journal of Chemical Education*, 94(10), 1562–1566.

[9] Pohanka, M., Keresteš, O., & Žáková, J. (2024). A 3D-Printed Do-It-Yourself ELISA Plate Reader as a Biosensor Tested on TNF α Assay. *Biosensors*, 14(7), 331.

[10] Thompson, J. E. (2022). Low-cost microplate reader with 3D printed parts for under 500 USD. *Sensors*, 22(9), 3242.

[11] Thiha, A., & Ibrahim, F. (2015). A colorimetric enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) detection platform for a point-of-care dengue detection system on a lab-on-compact-disc. *Sensors*, 15(5), 11431–11441.

[12] NOVATRONIC (s.f.). Led 5 mm. Recuperado el 14 de abril del 2025 de https://www.led-tech.de/en/3mm-LEDs_DB-3.pdf.

[13] CEBEK Componentes y Accesorios (s.f.). Fotorresistencia LDR 4.3 mm x 0.5 mm. Recuperado el 14 de abril del 2025 de <http://www.electan.com/datasheets/cebek/CE-C2795.pdf>.

[14] Arduino (2016). Arduino MEGA 2560 (USA only) & Genuino MEGA 2560 (outside USA). Consultado el 27 de abril del 2016 en <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>.

[15] Domínguez, H. E. R., & Sánchez, R. C. (2017). Control de coordenadas en xy de un mecanismo de motores a pasos y un microcontrolador. *Jóvenes en la Ciencia*, 3(2), 2273–2277.

[16] Kim, J. S., Kim, A. H., Oh, H. B., Goh, B. J., Lee, E. S., Kim, J. S., Jung, G. I., Baek, J. Y., & Jun, J. H. (2015). Simple LED spectrophotometer for analysis of color information. *Bio-medical Materials and Engineering*, 26(1_suppl), S1773–S1780.

[17] Dhanumalayan, E., & Joshi, G. M. (2018). Performance properties and applications of polytetrafluoroethylene (PTFE)—a review. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 1, 247–268.

[18] Rivas, K. A., Lemus, R. C. G., Garduño, A. C., Alvarez, C. R. C., & González, M. A. (2024). Desarrollo y Validación de un Método Analítico por Espectrofotometría UV/Vis para la determinación del porcentaje disuelto de tabletas de paracetamol. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 7713–7727.

[19] Zhang, Q., Brode, L., Cao, T., & Thompson, J. E. (2017). Learning laboratory chemistry through electronic sensors, a microprocessor, and student





Ciencias *de la* Computación

Ingeniantes

Sistema de Riego Automatizado con Raspberry Pi, ESP32 y Comunicación Vía MQTT y HTTP



Colaboración

Arnulfo Gamaliel Hernández González; Daniela Lizbeth Hernández Sánchez; Oscar Omar García Vázquez; José Luis Fernández Jiménez, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Mianlta

Fecha de recepción: 13 de febrero de 2025
Fecha de aceptación: 08 de agosto de 2025

RESUMEN: Este artículo presenta el desarrollo de un sistema de riego automatizado basado en tecnologías IoT, orientado a optimizar el consumo de agua en cultivos mediante una arquitectura de bajo costo y alta escalabilidad. El sistema utiliza una Raspberry Pi como servidor central ejecutando Flask en Python y una base de datos MariaDB para almacenar eventos y configuraciones. Además, implementa dos módulos ESP32: uno configurado como Access Point con portal cautivo para programar horarios de riego mediante HTTP, y otro como cliente MQTT encargado de activar o desactivar un relé que controla la bomba de agua.

El objetivo principal es proporcionar una solución adaptable que reduzca la necesidad de intervención humana y ofrezca herramientas para la gestión precisa del riego. El sistema permite el control tanto automatizado como manual, demostrando su aplicabilidad en diferentes tipos de cultivos. Los resultados muestran un funcionamiento estable en un entorno de prueba controlado, evidenciando el potencial del sistema para escalar mediante la integración de sensores ambientales o modelos de inteligencia artificial.

PALABRAS CLAVE: IoT, MQTT, riego automatizado, Raspberry Pi, ESP32, agricultura inteligente.

ABSTRACT: This article presents the development of an automated irrigation system based on IoT technologies, designed to optimize water consumption in crops through a low-cost and highly scalable architecture. The system employs a Raspberry Pi as a central server running Flask in Python and a MariaDB database to store events and configurations. It also integrates two ESP32 modules: one configured as an Access Point with a captive portal for scheduling irrigation times via HTTP, and another operating as an MQTT client responsible for activating or deactivating a relay that controls the water pump.

The main objective is to provide an adaptable solution that reduces the need for human intervention and offers precise tools for irrigation management. The system supports both automated and manual control, demonstrating its applicability in various types of crops. The results show stable performance in a controlled test environment, highlighting the system's potential to scale through the integration of environmental sensors or artificial intelligence models.

KEYWORDS: IoT, MQTT, automated irrigation, Raspberry Pi, ESP32, smart agriculture.

INTRODUCCIÓN

La agricultura actual enfrenta limitaciones importantes relacionadas con la disponibilidad de agua y la necesidad de mejorar la eficiencia en los sistemas de riego, especialmente en cultivos de alta demanda hídrica [1]. Los métodos tradicionales suelen provocar un uso excesivo del recurso y carecen de mecanismos de control preciso, lo que afecta la sostenibilidad y la productividad. En este contexto, las tecnologías

de Internet de las Cosas (IoT) han emergido como una alternativa viable para automatizar procesos, monitorear variables ambientales y optimizar el consumo de agua mediante sistemas inteligentes conectados [2].

El uso de dispositivos IoT ha aumentado significativamente durante la última década, alcanzando los 16.7 mil millones de dispositivos en 2024, con proyecciones de llegar a 25.4 mil millones para 2030 [3]. Esta expansión tecnológica ha impulsado también el crecimiento del mercado de riego inteligente, que busca resolver las ineficiencias de los sistemas manuales mediante la integración de sensores, conectividad inalámbrica y automatización [4], [5]. En particular, la adopción de protocolos ligeros como MQTT y la disponibilidad de microcontroladores de bajo costo como el ESP32 han facilitado el desarrollo de soluciones accesibles para pequeños productores.

A pesar de los avances, muchos sistemas de riego automatizado requieren infraestructura compleja, conexión constante a internet o computadoras dedicadas, lo que limita su adopción en entornos rurales. Por ello, resulta relevante investigar alternativas basadas en arquitecturas locales, económicas y escalables, capaces de operar sin dependencia de servicios externos.

Hipótesis

La implementación de un sistema de riego automatizado basado en IoT, utilizando Raspberry Pi y ESP32 con protocolos HTTP y MQTT, permite mejorar la eficiencia y el control del riego al reducir la intervención manual y optimizar el uso del agua en comparación con métodos tradicionales.

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo es diseñar e implementar un sistema de riego automatizado de bajo costo que permita programar, monitorear y controlar el suministro de agua mediante una arquitectura modular basada en Raspberry Pi, ESP32 y comunicación IoT, demostrando su funcionalidad y potencial de escalabilidad para futuras mejoras.

MATERIAL Y MÉTODOS

El desarrollo del sistema de riego automatizado se llevó a cabo en varias etapas, asegurando una integración eficiente de hardware y software. El sistema de riego se diseñó con los siguientes componentes:

ESP32 como Access Point para permitir la configuración del sistema mediante una interfaz web.

ESP32 como cliente MQTT encargado de recibir comandos desde la Raspberry Pi y activar la bomba de agua mediante un relé.

Raspberry Pi como servidor central responsable del almacenamiento de datos en MariaDB, la comunicación con los ESP32 y la gestión del riego.

Protocolo MQTT y HTTP para la comunicación eficiente entre dispositivos.

Metodología

La metodología empleada aborda tanto el desarrollo del hardware como del software, así como las pruebas realizadas en un entorno controlado.

Arquitectura del Sistema: El sistema está compuesto por:

- Raspberry Pi 4B como servidor central con:
 - o Flask en Python (versión 3.10)
 - o Base de datos MariaDB
 - o Servicio MQTT (Mosquitto Broker)
- ESP32 Access Point programado en Arduino

IDE con:

- o Biblioteca WiFi.h
- o Biblioteca WebServer.h
- o Portal cautivo
- o Envío de datos mediante solicitudes HTTP
- ESP32 cliente MQTT programado en Arduino

IDE, utilizando:

- o WiFi.h
- o PubSubClient
- o Control de relé en pin digital
- Relé de 120V para activar/desactivar la bomba de agua.

Base de Datos: Se utilizó MariaDB con la siguiente estructura:

- tabla eventos_riego:
 - id_evento (int, PK)
 - fecha_inicio (timestamp)
 - fecha_fin (timestamp)
 - duracion_segundos (int)
 - estado_rele (tinyint)
 - modo (varchar – manual/automático)

Toda la información enviada desde los ESP32 se almacena para consulta posterior.

Desarrollo del Software

ESP32 Access Point

- o Red WiFi: ESP32_AP
- o IP estática: 192.168.4.1
- o Formulario HTML para capturar: Fecha, Hora de Encendido, Hora de Apagado.

Los datos se envían en JSON vía HTTP hacia la Raspberry Pi.

Raspberry Pi – Servidor Flask: Endpoints principales:

- o /encender – activa el relé y registra el evento.
- o /apagar – desactiva la bomba y registra la finalización.
- o /guardar – almacena datos provenientes del ESP32 AP.

ESP32 Cliente MQTT: Se suscribe al tópico riego/control:

- o Mensaje "ON" - activa relé
- o Mensaje "OFF" - desactiva relé

Entorno de Pruebas: El sistema fue evaluado en laboratorio con una bomba real de 120V, un depósito de 20 litros y ciclos cortos de riego. Se midió latencia, estabilidad del broker y funcionamiento continuo durante 48 horas.

RESULTADOS

Raspberry Pi como Servidor y Centro de Control Sistema de riego automatizado con Raspberry Pi Este sistema de riego parte de la idea de eliminar la necesidad de contar con una computadora dedicada exclusivamente al control del riego en cultivos, reduciendo así los costos asociados a la adquisición y mantenimiento de un sistema de cómputo. Para lograrlo, se implementó una Raspberry Pi como servidor central, configurado con Flask en Python, el cual recibe solicitudes HTTP con información sobre la fecha, hora de encendido y apagado del riego. Estos datos son almacenados en una base de datos MariaDB, alojada en la misma Raspberry Pi.

El usuario interactúa con el sistema a través de su celular, conectándose a la red ESP_AP, generada por el dispositivo ESP32 Access Point. Una vez conectado, se abre automáticamente un sitio web con un formulario donde el usuario puede programar los horarios de riego. Posteriormente, el servidor monitorea la información ingresada y, cuando llega el momento de activar la bomba de agua, envía una solicitud HTTP a al dispositivo ESP32 cliente MQTT, indicando la orden de encendido o apagado.

Al recibir la orden, el ESP32 cliente MQTT envía una confirmación mediante MQTT al servidor Flask en la Raspberry Pi, que actúa como centro de control quien finalmente, activa o desactiva el relé encargado de abrir o cerrar el circuito de 120V, permitiendo así el encendido o apagado automático de la bomba de agua en tiempo real. El servidor también ofrece la opción de activar o desactivar la bomba de agua de forma inmediata, sin necesidad de una programación previa.

Raspberry Pi como Servidor y Centro de Control

La Raspberry Pi actúa como servidor central, ejecutando una aplicación web desarrollada con Flask en Python, que recibe solicitudes HTTP desde un ESP32 Access Point y almacena la información en una base de datos MariaDB. El servidor está diseñado para gestionar el encendido y apagado de una bomba de agua mediante una Raspberry Pi y módulos ESP32, utilizando los protocolos HTTP y MQTT.

El sistema permite tanto la programación de riego como la activación manual en tiempo real. Dispone de tres endpoints principales: /encender, que activa el relé y registra el evento en la base de datos; /apagar, que desactiva la bomba y actualiza el tiempo de finalización; y /guardar, que almacena datos personalizados en formato JSON. A través de una interfaz web, los usuarios pueden configurar y monitorear el riego desde cualquier dispositivo conectado a la red local, optimizando el consumo de agua y automatizando su gestión sin necesidad de una computadora dedicada exclusivamente a esta tarea.

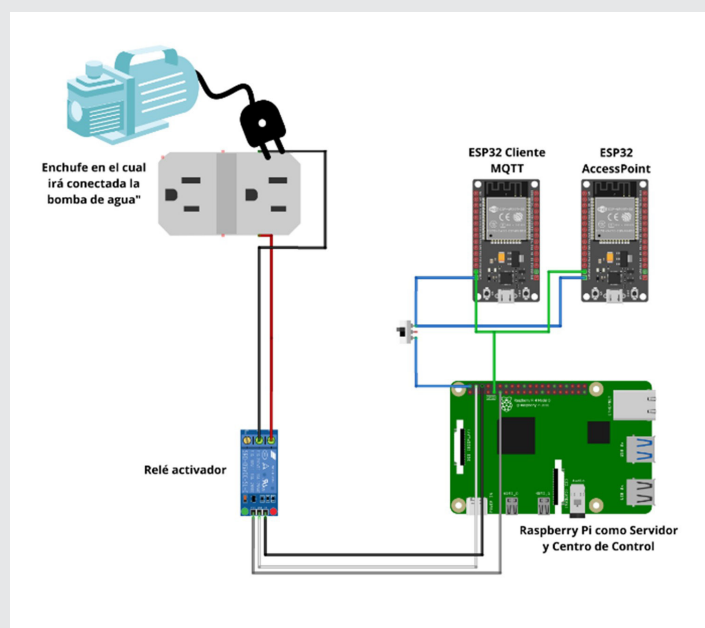


Figura 1. Iteraciones para el desarrollo de la aplicación web adaptativa.

Fuente: Elaboración propia

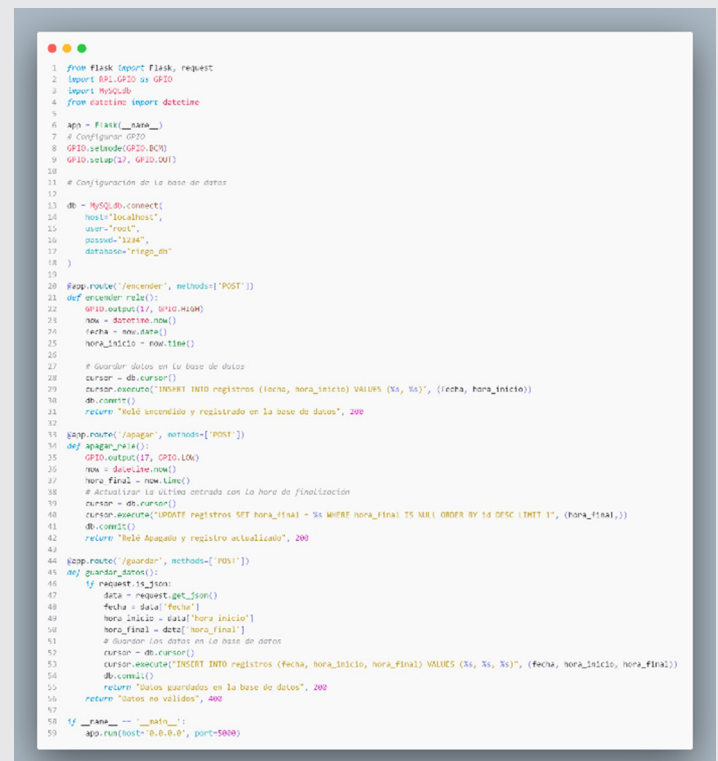


Figura 2. Entorno de desarrollo.

Fuente: Elaboración propia.

ESP32 Access Point

El desarrollo de un portal cautivo con ESP32 para la recolección de datos mediante IoT consiste en la implementación de un sistema donde el ESP32 actúa como punto de acceso (AP) y servidor web para capturar datos de fecha y hora, los cuales son transmitidos a un servidor alojado en una Raspberry Pi. El ESP32 se configura en modo AP, creando una red Wi-Fi denominada "ESP32_AP" con una dirección IP estática (192.168.4.1) mediante la biblioteca WiFi.h. A través de un portal cautivo, los usuarios ingresan la información en un formulario HTML, cuyas peticiones HTTP son gestionadas con la biblioteca WebServer.h. Posteriormente, los datos son enviados en formato JSON a la Raspberry Pi mediante solicitudes HTTP. Los resultados muestran que este enfoque permite la captura y transmisión eficiente de datos en una red local sin necesidad de conexión a internet, aunque se identificaron mejoras potenciales en la gestión de errores de comunicación. En conclusión, la combinación del ESP32 y la Raspberry Pi ofrece una solución viable para la automatización y monitoreo en entornos IoT, facilitando la gestión de información en aplicaciones sin acceso a redes externas.

ESP32 cliente MQTT

el ESP32 se conecta a una red Wi-Fi para comunicarse con un servidor MQTT alojado en una Raspberry Pi. Utilizando la biblioteca WiFi.h, el ESP32 establece la conexión inalámbrica y, mediante la biblioteca PubSubClient, se configura como un cliente MQTT que se suscribe al tema "riego/control" para recibir comandos de activación o desactivación de un relé conectado al pin 2. Los mensajes en formato "ON" o "OFF" permiten encender o apagar el sistema de riego de manera remota y eficiente. Las pruebas realizadas demostraron una comunicación estable con baja latencia, lo que garantiza una respuesta rápida en escenarios agrícolas. En conclusión, la combinación del ESP32 y MQTT proporciona una solución escalable y eficiente para la automatización del riego, permitiendo la gestión remota de dispositivos y la optimización del uso del agua mediante la integración con una Raspberry Pi.

```

1 #include <WiFi.h>
2 #include <DNSServer.h>
3 #include <WebServer.h>
4 #include <HTTPClient.h>
5
6 // Configuración del acceso punto
7 const char* ssid = "ESP32 AP"; // Nombre de la red Wi-Fi
8 const char* password = "12345678"; // Contraseña de la red Wi-Fi
9
10 // Dirección IP estática del ESP32
11 IPAddress local_IP(192, 168, 4, 1);
12 IPAddress gateway(192, 168, 4, 1);
13 IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);
14
15 // Configuración del servidor DNS y web
16 DNSServer dnsServer;
17 WebServer webServer(80);
18
19 void setup() {
20   Serial.begin(115200);
21
22   WiFi.softAPConfig(local_IP, gateway, subnet);
23   WiFi.softAP(ssid, password);
24
25   dnsServer.start(53, "*", local_IP);
26
27   // Página principal del portal cautivo
28   webServer.on("/", []() {
29     String html = "<html><body><div>Portal del ESP32</div>";
30     html += "<div>Fecha</div><div>Hora</div>";
31     html += "<div>Hora Inicio</div><div>Hora Fin</div>";
32     html += "<div>Hora Inicio</div><div>Hora Fin</div>";
33     html += "<div>Hora Inicio</div><div>Hora Fin</div>";
34     html += "<div>Hora Inicio</div><div>Hora Fin</div>";
35     html += "</div></body></html>";
36     webServer.send(200, "text/html", html);
37   });
38
39   // Ruta para guardar los datos
40   webServer.on("/guardar", HTTP_POST, []() {
41     if (webServer.hasArg("fecha") && webServer.hasArg("hora_inicio") && webServer.hasArg("hora_fin")) {
42       String fecha = webServer.arg("fecha");
43       String hora_inicio = webServer.arg("hora_inicio");
44       String hora_fin = webServer.arg("hora_fin");
45
46       HTTPClient http;
47       http.begin("http://192.168.4.2:8080/guardar"); // IP de la Raspberry Pi
48       http.addHeader("Content-Type", "application/json");
49
50       String jsonData = "{\"fecha\":\"" + fecha + "\",\"hora_inicio\":\"" + hora_inicio + "\",\"hora_fin\":\"" + hora_fin + "\"}";
51       int httpCode = http.POST(jsonData);
52
53       if (httpCode == 200) {
54         webServer.send(200, "text/html", "Datos guardados exitosamente</div>");
55       } else {
56         webServer.send(500, "text/html", "Error al guardar los datos</div>");
57       }
58
59       http.end();
60     } else {
61       webServer.send(400, "text/html", "faltan datos</div>");
62     }
63   });
64
65   webServer.begin();
66
67   void loop() {
68     webServer.processNextRequest();
69     webServer.handleClient();
70   }
71 }

```

Figura 3. Validación de datos recibidos en la base de datos.
Fuente: Elaboración propia.

```

1 #include <WiFi.h>
2 #include <PubSubClient.h>
3
4 // Configuración Wi-Fi
5 const char* ssid = "ESP32 AP";
6 const char* password = "12345678";
7
8 // Configuración MQTT
9 const char* mqtt_server = "192.168.4.2"; // IP de la Raspberry Pi con el broker Mosquitto
10 const char* topic = "riego/control"; // Tema MQTT para encender/apagar el relé
11 WiFiClient espClient;
12 PubSubClient client(espClient);
13
14 // Configuración del pin del relé
15 #define RELAY_PIN 2
16
17 void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
18   String message;
19   for (int i = 0; i < length; i++) {
20     message += (char)payload[i];
21   }
22
23   if (message == "ON") {
24     digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
25     Serial.println("Relé ENCENDIDO");
26   } else if (message == "OFF") {
27     digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
28     Serial.println("Relé APAGADO");
29   }
30 }
31
32 void setup() {
33   Serial.begin(115200);
34   pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
35   digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
36
37   // Conectar a Wi-Fi
38   WiFi.begin(ssid, password);
39   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
40     delay(1000);
41     Serial.println("Conectando a WiFi...");
42   }
43   Serial.println("Conectado a WiFi");
44
45   // Conectar a MQTT
46   client.setServer(mqtt_server, 1883);
47   client.setCallback(callback);
48
49   while (!client.connected()) {
50     Serial.println("Conectando a MQTT...");
51     if (client.connect("ESP32_Riego")) {
52       Serial.println("Conectado a MQTT");
53       client.subscribe(topic);
54     } else {
55       delay(5000);
56     }
57   }
58
59   void loop() {
60     client.loop();
61   }
62 }

```

Figura 6. Vista del login.
Fuente: Elaboración propia.

Los dispositivos mantuvieron comunicación estable con latencias menores a 100 ms. El sistema ejecutó riegos automáticos exitosamente, almacenando eventos en MariaDB y permitiendo activación manual. La arquitectura mostró capacidad para escalar con sensores ambientales y módulos adicionales ESP32.

A diferencia de los sistemas tradicionales de riego automatizado, que suelen depender de una conexión permanente a internet, computadoras dedicadas o infraestructura costosa, la arquitectura propuesta opera de manera completamente local y autónoma. Esto elimina la necesidad de servicios externos y reduce significativamente los costos de implementación y mantenimiento. Además, el uso de dispositivos de bajo costo como la Raspberry Pi y el ESP32 permite desarrollar una solución accesible, modular y fácilmente replicable en diferentes contextos agrícolas, incluso en zonas rurales con conectividad limitada. Esta característica otorga una ventaja significativa frente a sistemas comerciales que requieren controladores especializados o plataformas en la nube para funcionar.

CONCLUSIONES

El sistema IoT implementado demostró ser eficiente, económico y flexible. Su arquitectura modular permite ampliaciones como sensores ambientales e inteligencia artificial. Este trabajo sienta las bases de un sistema avanzado de riego inteligente adaptable a cultivos en suelo, aeroponía e hidroponía.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el apoyo financiero brindado al proyecto "Construcción de cultivo aeropónico con tratamiento de variables agroclimáticas a través del IOT para favorecer la producción y consumo sostenible de Lactuca sativa como alternativa en la generación de autoempleo para familias de escasos recursos", el cual hizo posible el desarrollo de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *FAO Statistical Yearbook 2024*. Rome: FAO, 2024. [Online]. Available: <https://www.fao.org>

[2] UNESCO, *UN World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace*. Paris: UNESCO, 2024. [Online]. Available: <https://www.unesco.org>

[3] IoT Analytics, "Global IoT market forecast: Number of connected IoT devices," IoT Analytics, Hamburg, Sep. 2024. [Online]. Available: <https://iot-analytics.com>

[4] Research and Markets, *5G IoT – Global Strategic Business Report 2024*. Dublin: Research and

Markets, 2025. [Online]. Available: <https://www.globenewswire.com>

[5] MarketsandMarkets, "Smart Irrigation Market by Component, System Type, Application, and Region – Global Forecast to 2029," MarketsandMarkets, 2024. [Online]. Available: <https://www.marketsandmarkets.com>

[6] Farmonaut, "Revolutionizing Water Management: Smart Irrigation Systems for Sustainable Agriculture," Farmonaut, Dec. 2024. [Online]. Available: <https://farmonaut.com>

[7] La Trobe University, "AI supercharges smart irrigation for farmers," La Trobe University, Melbourne, 2024. [Online]. Available: <https://www.latrobe.edu.au>



Ingeniantes®