



Mexican Journal of Technology and Engineering

e-ISSN: 2954-5161

Volumen 4 Número 2

www.mexicanjournalte.com



Consejo editorial

Editores

Dr. José Fernando Méndez González
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo

Dr. Rafael Alejandro Angel Cuapio
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

Editores de área

Ciencias Químico-Biológicas

Dr. Francisco Javier Martínez Valdez
Universidad Tecnológica de Tecámac

Ingeniería y Desarrollo Tecnológico

Dr. Gerardo Atlantis Gómez Ramos
Universidad Veracruzana

Ciencia y Tecnología de Alimentos

Dr. Luis Víctor Rodríguez Durán
Universidad Autónoma de Tamaulipas-UAM Mante

Ciencias Sociales y Humanidades

Dr. Cesaire Chiatouchoua
Instituto Politécnico Nacional-ESE

Ciencias Agropecuarias

Dr. José Miguel Ángel Castillo Minjarez
Universidad Tecnológica de Tecámac



Editores asociados

Ciencias Químico-Biológicas

Dr. Jesús Gerardo Saucedo Castañeda
Universidad Autónoma Metropolitana

Dra. Maribel Quezada Cruz
Universidad Tecnológica de Tecámac

Dra. Enaim Aída Vargas León
Universidad Tecnológica de Tecámac

Ciencia y Tecnología de alimentos

Dr. José Juan Buenrostro Figueroa
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo

Dr. Pedro Aguilar Zarate
Instituto Tecnológico de Ciudad Valles

Dra. Ma. Guadalupe Bustos Vázquez
Universidad Autónoma de Tamaulipas-UAM Mante

Ciencias Agropecuarias

Dra. Lilianha Domínguez Mafavón
Worcester Polytechnic Institute

Dr. Oscar Arce Cervantes
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Dr. Paul Misael Garza López
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Ingeniería y Desarrollo Tecnológico

Dra. Lina María Grajales Agudelo
Federal University of Tocantins

Dr. José Fernando Durán Pérez
Universidad Autónoma Metropolitana

Dr. Martin Celli
Universidad Autónoma Metropolitana

Ciencias Sociales y Humanidades

Dr. Moise Djepang Kouamo
University of Doula

Dr. Juan Agustín Tapia Alba
Universidad la Salle México

Mtra. Rita Ávila Romero
Instituto Politécnico Nacional-ESE

Divulgación Científica

Dr. Zeus Huitzilopochtli Pinedo Guerrero
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Dr. Armando Ordaz Hernández
Universidad de la Cañada

Dra. Josefa Espitia López
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo



Mexican Journal of Technology and Engineering es una publicación cuatrimestral (Vol. 4, No 2, mayo-agosto de 2025) editada por los doctores José Fernando Méndez González y Rafael Alejandro Angel Cuapio. Difusión y soporte digital vía internet www.mexicanjournalte.com, editorial@mexicanjournalte.com. Editor Responsable: Dr. Rafael Alejandro Angel Cuapio, con dirección en Norte 8, #214, Col. Santa Cruz, Valle de Chalco Solidaridad, Estado de México, CP 56617, angelcuapio@gmail.com. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2021-063018102800-102, e-ISSN: 2954-5161, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. El responsable de la última actualización de este número fue el Dr. José Fernando Méndez González. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de la manera de pensar del Consejo y/o Comité Editorial. El contenido de la revista está disponible bajo los términos de licencia CC BY-NC-SA 4.0

[Mexican Journal of Technology and Engineering, Vol. 4, No. 2](#) © 2025 by [Sociedad Mexicana de Tecnología, Ingeniería y Humanidades](#) is licensed under [CC BY-NC-SA 4.0](#)



Contenido

Artículos de divulgación científica

- Fibras poliméricas recicladas en la construcción de viviendas.....5-14
Aristeo Garrido-Hernández, Eduardo Sánchez-Ramírez, Lidia Chávez-Gerónimo y Giovanni García-Domínguez.
- Del campo al empaque: el camote morado (*Ipomea batatas* (L.) LAM.) puede revolucionar los bioplásticos en la creación de películas indicadoras.....15-19
Lizeth Cruz-Martínez, Rosa Linda Zapata-Luna, Héctor Martín-López, Iván Emanuel Herrera-Pool, Juan Carlos Cuevas-Bernardino, Ángel Humberto Cabrera-Ramírez y Neith Pacheco.
- ¿Recolección de energía limpia en México?.....20-28
Daniel Hernández-Rivera, David Sánchez-Luna, María Belem Arce-Vázquez, Yuri Sara Hernández-Demesa y Ángel Eduardo Márquez-Ortega.

Publicaciones regulares

Ciencias Sociales y Humanidades

- El Focus Group como Estrategia para la Comercialización de la Miel: Un Estudio Aplicado en el Sector Apícola del estado de Hidalgo.....29-37
Karelia Yunue Galarza-Ponce, Ana L. Guzmán-Elizalde y Josefa Espitia-López.

Ciencias Químico-Biológicas

- Evaluación de nanoliposomas con extracto de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* (toronjil morado) en la modulación de la depresión.....38-52
Alejandro Jonathan Hurtado-Mariles, Abigail Martínez-Jahuey, Alondra Isabela Torres-Martínez, Erika Adriana Villeda-Gutiérrez, Cristian Jiménez Martínez, Yolanda de las Mercedes Gómez-y Gómez y Marcos Ignacio Jiménez-Zúñiga.

Ciencia y Tecnología de Alimentos

- Descriptorios sensoriales de hongos endémicos *Hypomyces lactifluorum* y *Lactarius indigo* s.l. de Acaxochitlán, Hidalgo, México.....53-67
María de los Angeles López-Martínez, Paul Misael Garza-López, Victor León Espitia-López y Josefa Espitia-López.

Anexos

- Guía para autores.....68-71



Artículo de divulgación científica

<https://doi.org/10.61767/mjte.004.2.0514>

Garrido-Hernández et al., 2025

Recibido: 23-03-2025

Revisado: 15-04-2025

Aceptado: 15-06-2025

Publicado: 30-08-2025

Fibras poliméricas recicladas en la construcción de viviendas

Recycled polymeric fibers in housing construction

Aristeo Garrido-Hernández^{1*}, Eduardo Sánchez-Ramírez², Lidia Chávez-Gerónimo², Giovanni García-Domínguez³

¹ Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Departamento de Materiales, Av. San Pablo 420, Col. Nueva el Rosario, Azcapotzalco, Ciudad de México 02128, México.

² Universidad Tecnológica de Tecámac. Carretera Federal México-Pachuca Km. 37.5 Predio Sierra Hermosa, Tecámac, Estado de México 55740. México

³ Universidad Tecnológica Fidel Velázquez, Emiliano Zapata S/N, El Trafico, Cdad. Nicolás Romero, Estado de México 54400, México.

*Correspondencia: agh@azc.uam.mx

Resumen

La vivienda ha desempeñado un papel esencial en el desarrollo de la civilización e imprescindible hasta el día de hoy. En el presente trabajo se aborda la evolución de las viviendas desde las estructuras nómadas con materiales rudimentarios hasta las modernas construcciones con concreto. A lo largo de la historia, el desarrollo de materiales ha sido clave para mejorar la seguridad y durabilidad de las viviendas. Hoy en día, la ciencia de los materiales sigue innovando con enfoques sostenibles, como el uso de fibras naturales y recicladas en concreto. En específico las fibras de tereftalato de polietileno reciclado demuestran ser útiles en el reforzamiento del concreto.

Palabras clave: Vivienda, fibras, sostenible.

Abstract

Housing has played an essential role in the development of civilization and remains indispensable to this day. This paper explores the evolution of housing, from nomadic structures made of rudimentary materials to modern constructions with concrete. Throughout history, the development of materials has been key to improving the safety and durability of homes. Materials science continues to innovate with sustainable approaches, such as using natural and recycled fibers in concrete. Specifically, recycled PET fibers have proven to be useful in reinforcing concrete.

Keywords: Housing, fibers, sustainability.



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2025

1. Introducción

En la actualidad, la vivienda representa el espacio de mayor importancia para el ser humano, ya que constituye la base de estabilidad y seguridad. Es en ella donde los individuos pueden sentirse bien, protegidos, seguros y saludables. El origen de la vivienda es tan antiguo como la civilización misma. Para ilustrar sus inicios, te invitamos a recorrer la línea de tiempo que se muestra en la Figura 1. La vivienda tiene su origen en la prehistoria, con los pueblos nómadas, hace aproximadamente 100 mil años. Estos grupos se desplazaban continuamente en busca de recursos para su sustento, por lo que sus viviendas eran estructuras muy vulnerables, elaboradas con materiales naturales disponibles en el entorno, tales como ramas, pieles de animales o aprovechando cuevas naturales.

Más adelante, en el período Neolítico, hace unos 10 mil años en Oriente Medio, los nómadas comenzaron a establecerse de manera fija, dando origen a los primeros pueblos sedentarios. Estos comenzaron a construir viviendas con materiales

más sólidos, como barro y paja, agrupándose en pequeños poblados ubicados en zonas elevadas para protegerse de inundaciones o ataques. Estas construcciones rudimentarias reflejaban la simplicidad de la época y respondían únicamente a necesidades básicas de refugio. A lo largo del tiempo, la construcción de viviendas evolucionó significativamente. Durante la Edad Media, por ejemplo, las viviendas en Europa adoptaron estructuras de madera y piedra, con techos de paja o tejas de barro; los castillos y fortalezas reflejaban no solo la necesidad de defensa, sino también la jerarquía social. Con la llegada del Renacimiento, la arquitectura incorporó elementos estéticos más elaborados, como arcos, columnas y detalles ornamentales.

En la era moderna, los avances en la ingeniería y los materiales permitieron la construcción de edificaciones más duraderas, resistentes y sofisticadas, empleando madera tratada, acero y concreto, lo que permitió el desarrollo de grandes edificios, viviendas verticales, y ciudades planeadas (Tuzi, 2023).

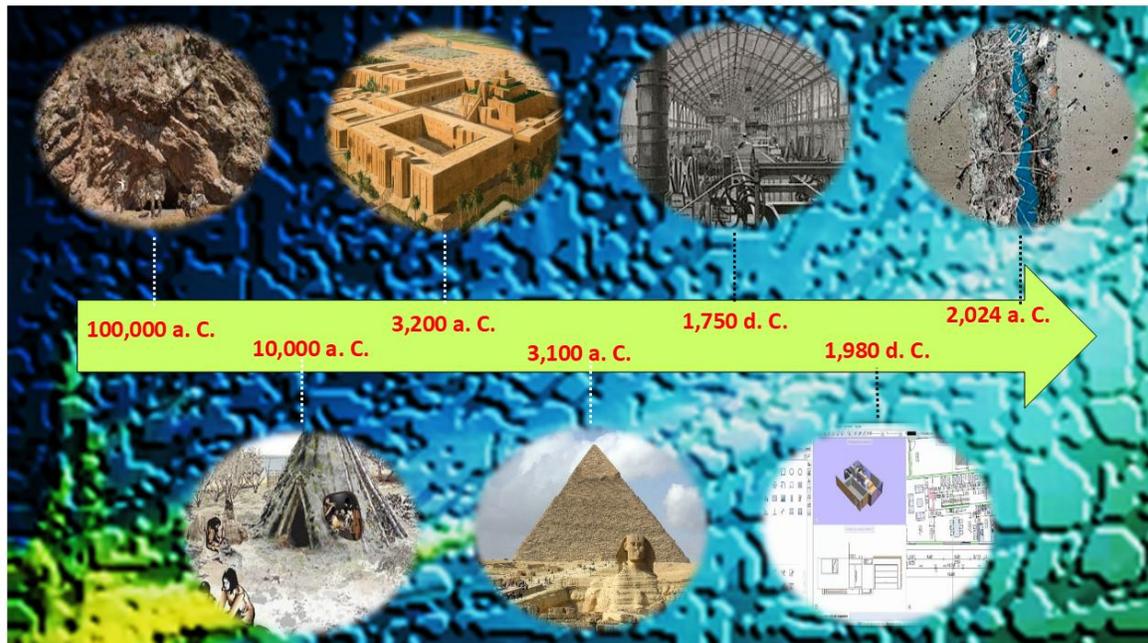


Figura 1. Línea del tiempo de la evolución del concreto. Fuente: elaboración propia.



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2025

Es notable que los materiales con los que se han construido viviendas han tenido una constante evolución, sin embargo, otros materiales se han conservado hasta la fecha derivado de su confiabilidad y durabilidad. En Mesopotamia, el uso de arcilla era una práctica común para la construcción de viviendas, mientras que, para estructuras más monumentales como palacios, se empleaban materiales como el adobe, los ladrillos y la madera. Por otro lado, en el antiguo Egipto, la escasez de madera impulsó el uso predominante de piedra y adobe en sus construcciones (Freire.,2021). Esta elección de materiales no solo estaba determinada por la disponibilidad, sino también por las condiciones geográficas y las necesidades específicas de cada cultura. En la actualidad, la tecnología y la innovación han transformado el paisaje de la construcción, proporcionando estructuras más seguras, eficientes y estéticamente atractivas.

Por otro lado, la tecnología y la innovación en la construcción de viviendas no están al alcance de todos, a pesar de que el acceso a una vivienda adecuada y asequible es un derecho. En muchos países establecen políticas definidas en materia de viviendas, en algunas ciudades muy pobladas existen programas gubernamentales de subsidio para rentas de viviendas, un ejemplo de ello es Alemania. Sin embargo, aunque existan estas políticas, la accesibilidad universal a la vivienda no está garantizada para todos debido a un aumento en sus costos. En México en los últimos 16 años los precios de las viviendas han aumentado un 42 % en términos reales, por encima de la inflación, mientras que las remuneraciones salariales promedio han disminuido un 21 % (Rosales, 2022). Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), una parte significativa de la población en México habita viviendas construidas con materiales precarios. En la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2020, se reporta que aproximadamente el 5% de las viviendas particulares habitadas en el país tienen techos elaborados con materiales de desecho, como el cartón, plásticos, tarimas de madera, etc. Además, alrededor del 3% presentan muros construidos con materiales similares. Estas cifras

reflejan la necesidad urgente de mejorar las condiciones de vivienda para garantizar espacios dignos y seguros para todos los habitantes (INEGI, 2021). Una gran parte de la población en México requiere viviendas dignas, ya que lamentablemente algunas de ellas están construidas con materiales reciclados o desechos de basura. En este contexto, la ciencia puede jugar un papel crucial al proporcionar materiales asequibles para todos los niveles de poder adquisitivo. El desarrollo constante de tecnologías y técnicas de refuerzo tiene como objetivo garantizar que las estructuras puedan resistir desafíos naturales propios y frecuentes en México, como huracanes, sismos e incendios. Además, estas innovaciones buscan reducir el impacto ambiental al incrementar la vida útil de las edificaciones, contribuyendo así a la seguridad y sostenibilidad de las construcciones en contextos vulnerables. El continuo avance en el reforzamiento de materiales para la construcción no solo asegura la habitabilidad y seguridad de las viviendas, sino que también sienta las bases para un futuro más resiliente y sostenible. Entonces, surge la gran pregunta: ¿Es posible construir casas con materiales reforzados a bajo costo?, se refiere como materiales reforzados aquellos que, mediante la incorporación de otros componentes como fibras, mallas o aditivos especiales, mejoran sus propiedades mecánicas, térmicas o de durabilidad. Este tipo de materiales permite construir estructuras más resistentes, capaces de soportar condiciones extremas, sin incrementar significativamente los costos de construcción.

2. Materiales tradicionales y tecnología moderna: el papel del refuerzo con fibras naturales en la vivienda

Ahora exploraremos la evolución de la construcción de viviendas y la creciente importancia del refuerzo como una medida fundamental para asegurar la habitabilidad y seguridad de nuestras comunidades. Desde las técnicas tradicionales hasta las innovaciones más recientes en materiales y tecnología,



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2025

descubriremos cómo el refuerzo está moldeando el futuro de la construcción de viviendas.

Las fibras naturales, destacan por su composición principal de celulosa, hemicelulosa y lignina que son sustancias biodegradables. La propiedad mecánica de estas fibras está estrechamente ligada a la proporción de celulosa, el polímero orgánico más abundante en la naturaleza y elemento fundamental en la estructura celular de las plantas (Abedi *et al.*, 2023). En algunas regiones de México, la construcción de viviendas

se basa en el uso de materiales naturales como el carrizo, empleado principalmente como estructura, y barro sólido, que se utiliza para revestir y unir los elementos (Figura 2). Esta técnica tradicional ofrece buenas propiedades térmicas, sin embargo, presenta desafíos relacionados con la absorción de humedad, lo que puede comprometer la integridad de la estructura con el paso del tiempo. Se han documentado casos de casas construidas mediante esta técnica que han alcanzado una durabilidad de hasta 10 años.



Figura 2. Fibra natural como reforzamiento en el concreto. Fuente: elaboración propia.

Las fibras naturales tienen una vida útil que oscila entre los 4 y 10 años, contribuyendo así a la reducción de la contaminación y los desechos en nuestro planeta. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estas fibras presentan una baja resistencia química y a la corrosión, lo que, combinado con su proceso de biodegradación, limita su uso principalmente en estructuras. Las fibras naturales presentan ciertas desventajas, como la falta de adherencia de la fibra a la matriz, lo que puede resultar en una unión deficiente. Además, la capacidad de absorción de humedad de estas fibras puede promover la entrada de

humedad, lo que a su vez podría acortar la vida útil de la construcción (Dev *et al.*, 2023).

Un estudio exploró el uso de fibras naturales derivadas de la cáscara de frutas de palma, las cuales fueron recubiertas con termoplástico acrilonitrilo butadieno estireno o ABS (por sus siglas en inglés Acrylonitrile Butadiene Styrene) es un plástico muy resistente al impacto (golpes). Los resultados de estas investigaciones indican que las fibras naturales recubiertas pueden tener un efecto significativo en el aumento de la resistencia al corte del suelo reforzado, en



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2025

comparación con las fibras no recubiertas. Este hallazgo sugiere el potencial de estas fibras tratadas como un material prometedor para mejorar la estabilidad y durabilidad de diversas estructuras y obras de ingeniería

3. Fibras recicladas de polímeros: un reto en la sustentabilidad

En el ámbito de la construcción, particularmente en países como México, el empleo de fibras sintéticas para el refuerzo de concreto ha ganado terreno debido a sus múltiples ventajas frente a las fibras naturales. Estas fibras, utilizadas como complemento en sistemas constructivos tradicionales basados en concreto y acero, ofrecen beneficios como una elevada resistencia a la tracción, mejor dispersión dentro de la matriz de hormigón y mayor durabilidad. Entre las fibras sintéticas más empleadas en la industria se encuentran el polipropileno, poliéster, polietileno, así como fibras de vidrio, nylon y metálicas, las cuales han sido incorporadas en diversas aplicaciones constructivas en el país, buscando mejorar el desempeño estructural y la vida útil de las edificaciones.

Las fibras de polipropileno se clasifican en microsintéticas y macrosintéticas. Las primeras se utilizan en concentraciones que van desde el 0.05% al 0.2% por volumen, mientras que las segundas se encuentran en el rango del 0.2% al 1%. (Barka *et al.*, 2024) Además de esta distinción, las fibras de polipropileno también se pueden categorizar según su forma: fibrilada, monofilamento ondulado y multifilamento liso. El monofilamento se obtiene mediante el proceso de extrusión, que básicamente consiste en hacer pasar el material a través de un disco circular caliente para producir un filamento continuo. Por otro lado, el multifilamento está compuesto por múltiples hebras continuas e integradas, que proporcionan una estructura más compleja y resistente.

Existen fibras de vidrio elaboradas a partir del mismo material empleado en la producción de botellas de vidrio convencionales. Estas fibras de vidrio destacan por su alta resistencia a la tracción y su elevado módulo elástico, lo que les confiere una excelente capacidad para reforzar compuestos de suelo fibroreforzado-cementado. Además, su comportamiento más dúctil permite una mayor elasticidad en el suelo, lo que significa que pueden flexionarse y, por lo tanto, reducir la probabilidad de fracturas.

Un desafío significativo en la construcción con fibras sintéticas es asegurar su adecuada adherencia al concreto. Esto implica la necesidad de aplicar un tratamiento especial para garantizar su efectividad como refuerzo, dado que la naturaleza del plástico difiere con la del concreto (Figura 3). Mientras que el concreto contiene elementos cerámicos que se unen mediante un proceso de hidrólisis, el plástico presenta propiedades distintas que requieren un enfoque específico para asegurar una unión sólida y duradera con el concreto (Sivakumar *et al.*, 2021).

Unos de los polímeros más utilizados por la industria de bebidas es el tereftalato de polietileno (PET), y actualmente existe industrias de transformación que elaboran fibras recicladas para diferentes aplicaciones, especialmente usadas como relleno. De acuerdo con literatura, la fibra de PET se posiciona como una excelente opción debido a sus características superiores en términos de resistencia mecánica, capacidad para mitigar la contracción y expansión del suelo, y su impacto ambiental positivo al ser un material reciclado (Dhakal *et al.*, 2024). La fibra de PET ofrece un equilibrio ideal entre rendimiento técnico, sostenibilidad y viabilidad económica, convirtiéndose en la elección preferida para aplicaciones de refuerzo de suelos en una variedad de proyectos.



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2025



Figura 3. Fibra de PET como refuerzo en concreto. Fuente: elaboración propia.

4. Avances en de reforzamiento de concreto con fibras de PET

El concreto es una mezcla de cementos con agregados particulados como arena y grava que se usan en la construcción de vivienda, oficinas caminos y puentes por lo que contribuye significativamente al crecimiento económico y al desarrollo de infraestructura en el país. De hechos la industria cementera en México es una de las más importantes a nivel mundial. El uso del concreto abarca una amplia gama de aplicaciones, siendo reconocido por su fácil preparación, eficacia y maleabilidad, convirtiéndolo en el material ideal para satisfacer las demandas contemporáneas de la construcción. Sin embargo, no está exento de desafíos, como agrietamiento, erosión o desgaste. Para abordar estas desventajas, se ha recurrido al concreto reforzado mediante el uso de placas, paneles y fibra, elaboradas a partir de diversos materiales como acero, vidrio, carbono y polipropileno (Shafei *et al.* 2021)

En el ámbito de la construcción sostenible, es necesario reutilizar o reciclar la basura que se

genera derivado de las actividades económicas, uno de estos materiales es el plástico, específicamente el PET. Actualmente bajo el enfoque de reciclaje el PET se ha utilizado para fabricar una variedad de materiales de construcción, tales como paneles para paredes, cubiertas para techos, aislantes térmicos y acústicos, así como tuberías (BECOSAN, 2020). Por otro lado, las fibras de PET pueden ayudar a controlar y reducir la formación de fisuras debido a la contracción del concreto durante el fraguado y el curado. Estas fibras actúan como micro refuerzos que distribuyen las tensiones generadas, minimizando así el desarrollo de fisuras. La incorporación de fibras de PET reciclado en el concreto contribuye a reducir la formación de fisuras por contracción y mejora la tenacidad del material, aunque puede disminuir ligeramente su resistencia a la compresión (Ochi *et al.*, 2007). Por ello, su uso es más adecuado en elementos no estructurales o con bajas exigencias mecánicas. Además, el comportamiento del concreto puede variar según el tipo y tratamiento del PET utilizado (Saikia & de



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2025

Brito, 2014), lo que exige una adecuada caracterización antes de su aplicación estructural.

Cabe preguntarse si es posible unir materiales con naturalezas tan diferentes, como un polímero y un cerámico. Esta pregunta surge ya que el PET es un polímero y el concreto se puede considerar como un cerámico. Por lo tanto, se podría pensar que la respuesta es no; sin embargo, gracias a la ciencia esto es afirmativo, y todo gracias a la modificación de la superficie del PET mediante productos químicos como el hidróxido de sodio, ácido nítrico, isopropanol y nitro-etano (Rajeshkumar, *et al.* 2020). Cada uno de estos solventes tiene la capacidad de ejercer un efecto particular sobre el PET, transformando sus propiedades de manera específica y abriendo un abanico de nuevas posibilidades de aplicación.

Por ejemplo, el hidróxido de sodio ofrece un proceso sencillo para la fabricación de materiales con porosidad controlable. Además, permite regular el tamaño de poro y el diámetro de fibra, factores que varían dependiendo del tiempo y tipo de tratamiento aplicado. Su uso facilita la descomposición del PET en sus monómeros, ácido tereftálico y etilenglicol, mediante una reacción de hidrólisis con NaOH (Babaei *et al.*, 2024) que se produce en la superficie del PET, lo que provoca una rugosidad con cavidades en la superficie y es a rugosidad donde el concreto tendría mejor anclaje, tal como una varilla corrugada. En la Figura 4 te mostramos una investigación que demostró que a medida que se prolonga el tiempo de tratamiento aumenta la degradación del PET, así como la rugosidad de la superficie.

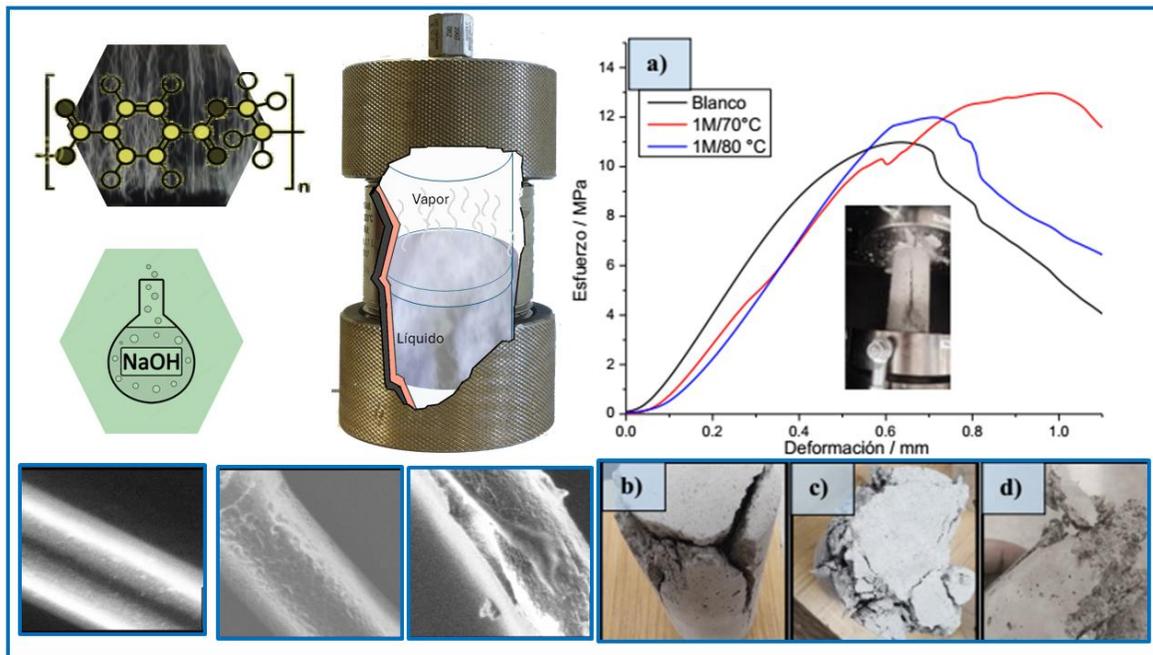


Figura 4. Representación de la hidrólisis de las fibras de PET, y ensayo a la compresión de probetas de concreto, fracturas de probetas. Fuente: elaboración propia.

En México también se está investigado sobre reforzamiento de concreto con fibras de PET; por ejemplo, los estudiantes del Instituto Tecnológico de Villahermosa llevaron a cabo una investigación utilizando PET como agregado grueso en la

producción de concreto estructural (Agencia ID, 2024). El objetivo fue desarrollar un nuevo tipo de concreto que cumpliera con las normas mexicanas, manteniendo la seguridad estructural del concreto convencional, pero con un peso



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2025

volumétrico reducido, lo que supondría un ahorro económico y beneficios para el medio ambiente. En otro estudio experimental, se examinó el concreto reforzado con fibras de botellas recicladas y PET, utilizando fibras de diferentes longitudes y fracciones de volumen. Se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión, flexión, módulo de Young y tenacidad a la fractura (Huaquisto *et al.*, 2024).

En la Universidad Autónoma Metropolitana, específicamente en el departamento de materiales en colaboración con la Universidad Tecnológica de Tecámac, también se investiga sobre la importancia de reutilizar fibras de PET recicladas para reforzar el concreto. En su estudio más reciente Sánchez *et al.* (2024) demostraron que es posible reforzar el concreto con fibras de PET recicladas, aumentando su sustentabilidad. Para mejorar la adherencia de las fibras con la mezcla, aplicaron un tratamiento químico llamado hidrólisis alcalina, que genera una superficie más rugosa y con mejor agarre.

Las pruebas de resistencia a la compresión revelaron que el concreto con fibras de PET presentaba una mayor capacidad de deformación antes de fracturarse. Esto significa que el material podría absorber mejor los esfuerzos sin romperse abruptamente, lo que abre la posibilidad de usarlo en la construcción de viviendas más resistentes y amigables con el medio ambiente.

5. Conclusiones

La evolución de los materiales en la construcción refleja la búsqueda continua de mejorar la calidad y durabilidad de las viviendas. El uso de fibras naturales y recicladas, como el PET, representa un paso importante hacia un futuro más sostenible. Las investigaciones actuales demuestran que es posible incorporar materiales reciclados en la construcción de concreto, mejorando su resistencia y reduciendo el impacto ambiental. Estos avances podrían contribuir a resolver los desafíos de la vivienda asequible, permitiendo que la ciencia ofrezca soluciones que equilibren rendimiento, sostenibilidad y accesibilidad en el sector de la construcción.

Declaraciones y afirmaciones

Fondos: Los autores declaran que no recibieron financiamiento para este trabajo.

Conflicto de interés: Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Aprobación de ética: no aplica.

Referencias

1. Abedi, M., Hassanshahi, O., Rashidell, A., Ashtari, H., Seddik Meddah, M., Dias, D., Arjomand, M. A., & Keong Choong, K. (2023). A sustainable cementitious composite reinforced with natural fibers: An experimental and numerical study. *Construction and Building Materials*, 378(131093), 131093. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131093>
2. Agencia ID. (2024). Estudiantes desarrollan concreto utilizando PET que cumple con las normatividades de construcción. *Invdes*. <https://invdes.com.mx/agencia-id/estudiantes-desarrollan-concreto-utilizando-pet-que-cumple-con-las-normatividades-de-construccion/>
3. Babaei, M., Jalilian, M., & Shahbaz, K. (2024). Chemical recycling of polyethylene terephthalate: A mini-review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3), 112507. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112507>
4. Barka, M., Taleb, O., Tedjiti, A.K. et al. Impact of polypropylene fibers on the rheological, mechanical, and thermal properties of self-compacting concrete. *MRS Advances* 9, 1128–1136 (2024). <https://doi.org/10.1557/s43580-024-00905-1>.
5. BECOSAN. (19 de Junio de 2020). BECOSAN® Flooring. Obtenido de BECOSAN® Flooring: <https://www.becosan.com/es/concreto-reforzado/>



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2025

6. Dev, B., Rahman, A., Alam, R., Repon, R., & Nawab, Y. (2023). Mapping the progress in natural fiber reinforced composites: Preparation, mechanical properties, and applications. *Polymer Composites*, 44(7), 3748–3788. <https://doi.org/10.1002/pc.27376>
7. Dhakal, H. N., Khan, S. H., Alnaser, I. A., Karim, M. R., Saifullah, A., Zhang, Z. (2024), Potential of Date Palm Fibers (DPFs) as a Sustainable Reinforcement for Bio- Composites and its Property Enhancement for Key Applications: A Review. 309, 2400081. <https://doi.org/10.1002/mame.202400081>
8. Freire-Lista, D. M. (2021). The Forerunners on Heritage Stones Investigation: Historical Synthesis and Evolution. *Heritage*, 4(3), 1228-1268. <https://doi.org/10.3390/heritage4030068>
9. Huaquisto-Cáceres, S., & Quenta-Flores, D. (2024). Estudio experimental del uso de residuos de botellas de plástico en el hormigón convencional. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40, e54696. <https://doi.org/10.20937/rica.54696>
10. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Encuesta Nacional de Vivienda 2020 (ENVI) - Comunicado de prensa. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/salade prensa/boletines/2021/envi/ENVI2020.pdf>
11. Ochi, T., Okubo, S., & Fukui, K. (2007). Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. *Cement and Concrete Composites*, 29(6), 448–455. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.02.002>
12. Rajeshkumar, G., & Scalici, T. (2020). Effect of sodium hydroxide treatment on properties of Phoenix sp. fiber. *Journal of Natural Fibers*, 13(6), 702–713. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1711284>
13. Rosales, G. (2022, septiembre 9). Materiales de construcción acumulan alza de 30% en precios. *Real Estate Market & Lifestyle*. <https://realestatemarket.com.mx/noticias/infraestructura-y-construccion/38923-materiales-de-construccion-acumulan-alza-de-30-en-precios>
14. Saikia, N., & de Brito, J. (2014). Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate. *Construction and Building Materials*, 52, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.050>
15. Sánchez-Ramírez, E., Reyes-Miranda, J., García-Domínguez, G., Hernández-Chávez, C. O. & Garrido-Hernández, A., (2024). Efecto de las condiciones de hidrólisis alcalina en las fibras de PET y su impacto en el refuerzo del concreto. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 12(Especial5), 64-71. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial5.13721>
16. Shafei, B., Kazemian, M., Dopko, M., & Najimi, M. (2021). State-of-the-art review of capabilities and limitations of polymer and glass fibers used for fiber-reinforced concrete. *Materials*, 14(2), 409. <https://doi.org/10.3390/ma14020409>
17. Sivakumar, A., & Alsubih, M. (2021). Mechanical strength characterization of plastic fiber reinforced cement concrete composites. *Applied Sciences*, 11(2), 852. <https://doi.org/10.3390/app11020852>
18. Tuzi, S. (2023). Ecos de la Antigüedad. La influencia de los hallazgos arqueológicos en Ostia Antica en la construcción edilicia residencial romana entre las décadas de 1920



Artículo de divulgación científica

Garrido-Hernández et al., 2025

y 1940. Anales del IAA, 53(2), pp. 1-16.
recuperado de:
<https://www.iaa.fadu.uba.ar/ojs/index.php/anales/article/view/186/225>

**Artículo de divulgación científica**<https://doi.org/10.61767/mjte.004.2.1519>

Cruz-Martínez et al., 2025

Recibido: 23-06-2025

Revisado: 29-06-2025

Aceptado: 06-08-2025

Publicado: 30-08-2025

Del campo al empaque: el camote morado (*Ipomea batatas* (L.) LAM.) puede revolucionar los bioplásticos en la creación de películas indicadoras

From field to packaging: purple sweet potato (*Ipomea batatas* (L.) LAM.) as game changer in bioplastic-based indicator

Lizeth Cruz-Martínez¹, Rosa Linda Zapata-Luna¹, Héctor Martín-López¹, Iván Emanuel Herrera-Pool¹, Juan Carlos Cuevas-Bernardino², Ángel Humberto Cabrera-Ramírez¹ y Neith Pacheco^{1*}

¹ Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. Parque Científico Tecnológico de Yucatán, Km.5 Carretera, Sierra Papacal-Chuburná, Chuburná, Mérida 97302, Yucatán, México.

² SECIHTI – CIATEJ A.C., Subsede Sureste, Mérida, Yucatán, México.

*Correspondencia: npacheco@ciatej.mx

Resumen

El camote morado es un tubérculo rico en antocianinas, compuestos que cuentan con propiedades antioxidantes y una notable sensibilidad a cambios de pH, lo que permite su uso como un indicador visual de frescura para empaques alimenticios (películas). Promover el uso del camote como fuente de compuestos bioactivos en el desarrollo de películas permite no solo sustituir plásticos convencionales, sino también proporciona información visual del estado de conservación del alimento. Con esta innovación se puede reducir el desperdicio de alimentos, aprovechar cultivos nativos para otras aplicaciones y al desarrollo de empaques sostenibles.

Palabras clave: Películas; camote; antocianinas; empaque inteligente; bioempaque.

Abstract

Purple sweet potato is a tuber rich in anthocyanins; pigments with antioxidant properties and a notable sensitivity to pH changes, which enables their use as visual freshness indicators in food packaging (films). Promoting the use of sweet potato as a bioactive source in the development of such films could not only replace conventional plastics but also provide visual cues regarding the preservation state of a food. This innovation has the potential to reduce food waste, diversify applications of native crops, and support the development of sustainable packaging.



Artículo de divulgación científica

Cruz-Martínez et al., 2025

Keywords: films; sweet potato; anthocyanins; intelligent packaging; biopackaging

1. Introducción

¿Sabías que cada año se acumulan alrededor de 20 millones de toneladas de plásticos en el medio ambiente? Estos residuos afectan tanto a los ecosistemas terrestres como acuáticos. Se ha despertado el interés en la búsqueda de materiales alternativos que puedan sustituir a los plásticos tradicionales fabricados a partir de petróleo, esto derivado por la preocupación sobre la crisis ambiental. Además, al incorporar compuestos bioactivos ayudarían a proporcionar una información adicional como diferenciador en la industria de los empaques para alimentos (Biyada y Urbonavičius, 2025).

2. Es tiempo de transitar hacia las biopelículas como alternativa de plástico convencional

Las películas biopoliméricas (PB) o bioplásticos obtenidos a partir de polímeros naturales (como el almidón, quitosano, agar, entre otros), se presentan como una alternativa prometedora a los plásticos convencionales usados sobre todo en la industria alimentaria para el recubrimiento de alimentos. Además, las PB pueden integrar compuestos bioactivos (pigmentos, compuestos fenólicos, etc.) por lo que, estas películas no solo se encargan de proteger el producto, sino que también pueden ser capaces de comunicarnos y detectar cambios físico-químicos que puedan indicar el deterioro de los alimentos (Ghoshal y Kaur, 2023). Normalmente los empaques comunes no suelen aportar una información extra sobre el estado en el que se encuentra el alimento. Esta problemática puede abordarse mediante el desarrollo de PB incorporadas con compuestos bioactivos, capaces de cambiar de color. Además, a su vez permiten obtener materiales activos o “inteligentes” capaces de prolongar la vida útil y permiten conocer la frescura de los alimentos que comúnmente consumimos como carnes, mariscos e incluso algunos frutos (Liu et al., 2024).

3. Aprende un poco del Camote morado (*Ipomea batatas* (L.) LAM.)

De acuerdo con el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), el camote (también conocido como batata) es un cultivo tradicional antiguo en América. México, en particular, es considerado centro de diversidad de la sección de *batatas*. Además, resalta la importancia agrícola y cultural que se encuentra en nuestro país, contando México con la mayor variabilidad genética de esta especie, así como poseer una amplia diversidad de variedades criollas. Estas variedades se pueden distinguir por el color de la cáscara y parte interna de la raíz, presentando coloraciones rojas, púrpuras, rosas, anaranjadas, amarillas o blancas. El consumo del camote se utiliza más como un alimento alterno cocido con piloncillo en la dieta de los mexicanos, por lo que se busca su aprovechamiento integral en otras aplicaciones como un compuesto bioactivo.

4. ¿Para qué se usa el camote morado?

De acuerdo con la Dirección General de Comunicación Social, UNAM, el investigador Arturo Navarro ha estudiado más sobre este grandioso tubérculo, destacando su riqueza en almidón, lo que lo hace adecuado para su elaboración de harinas y bebidas fermentadas. Han analizado las hojas, flores y tallos del camote encontrando que aporta nutrientes y equilibrio, con altos contenidos de carbohidratos y proteínas, algunos lípidos, vitaminas y minerales. Es importante mencionar que los compuestos bioactivos presentes en el camote morado (antocianinas) son un excelente antioxidante, el cual ayuda a combatir el estrés oxidativo y el síndrome metabólico; así como a evitar enfermedades cardiovasculares, incluso, controlar la diabetes (Wan et al., 2025; Hernández et al., 2024). Por ello suele ser consumido como verdura o en dulce (Figura 1).



Artículo de divulgación científica

Cruz-Martínez et al., 2025



Figura 1. Camote morado (*Ipomea batatas* (L.) LAM.).

5. Empaque inteligente que indica el deterioro del alimento

El camote morado no solo destaca por su sabor dulce, color vibrante y excelentes propiedades nutricionales, sino que también es reconocido por su alto contenido de antocianinas; pigmentos fenólicos solubles en agua que aportan tonos de color azul, rojo, rosa y morado. Estas características lo convierten en una fuente ideal como colorantes naturales y propiedades antioxidantes. Además de su potencial para sustituir colorantes sintéticos, las antocianinas presentan una alta sensibilidad de respuesta a cambios de pH (Pueden cambiar de color dependiendo del pH) (Figura 2), lo que las hace especialmente útiles para su incorporación como indicadores en películas (Cevallos-Casals y

Cisneros-Zevallos, 2004). Estas películas se compondrían de dos elementos principales, un sólido que actúa como soporte y un colorante que pueda ser sensible a estos cambios de pH detectables.

Dado que el deterioro de alimentos suele ser asociado a cambios en el pH, una película indicadora visual puede proporcionar información o una respuesta al estado de fresca o descomposición de un alimento, evidenciado por las variaciones de color en el empaque (Chun et al., 2014). En ese sentido, las antocianinas de la película podrían generar tonos rojos a un pH de 1-3, indicarían un alimento fresco. Mientras que, un pH de 4-6 con tonos de rosa a morados indicarían el inicio de la pérdida de frescura. En contraste, un pH de 7 podría indicar una alteración por lo que se debería tener



Artículo de divulgación científica

Cruz-Martínez et al., 2025

cuidado al consumir. Finalmente, con pH de 8-9 los tonos azul verdoso indicarían un deterioro del alimento, llegando a pH de 10 en adelante

indicarían un alimento completamente en mal estado que no sería recomendado para su consumo (Laila et al., 2025).

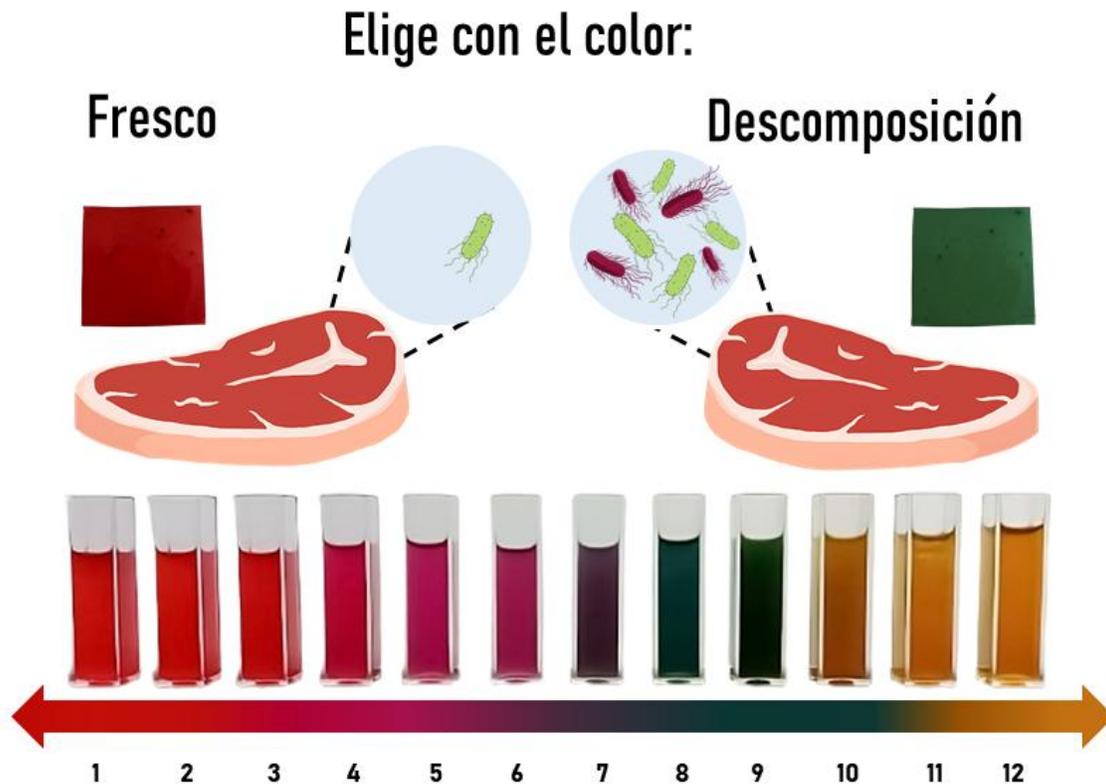


Figura 2. Extracto de antocianinas en rangos de pH de 1-12 que indicarían el estado del alimento según su pH.

6. Conclusiones

El cuidado por el ambiente nos alienta a replantearnos el uso de los empaques plásticos. Además de concientizar que el camote morado no solo nos da aportes nutricionales, representa una oportunidad para su aprovechamiento como cultivo agrícola nacional debido a su alta composición en antocianinas y que en conjunto con otros compuestos puede ser usado como un indicador en películas para detectar los cambios del estado de un alimento, reduciendo así el desperdicio y la seguridad alimentaria. En un futuro no muy lejano, podríamos imaginar estantes con empaques biodegradables, hechos a

partir de ingredientes naturales como el camote morado. El verdadero desafío será fortalecer la investigación, apoyar la producción local y escalar a un uso industrial. Porque del campo al empaque existe un camino fértil y prometedor, capaz de transformar la industria del envasado y de revitalizar cultivos nativos como el camote morado, que tienen el potencial de incorporarse a cadenas de valor en la industria del envasado.

Agradecimientos

A la SECIHTI a través de la beca a posgrados.



Artículo de divulgación científica

Cruz-Martínez et al., 2025

Declaraciones y afirmaciones

Fondos: Beca de posgrados de la SECIHTI.

Conflicto de interés: Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Aprobación de ética: No aplica.

Disponibilidad de los datos: Contactar a los autores en caso de requerir base de datos de investigación.

Contribución de los autores: Conceptualización, N.-P; análisis formal, N.-P; investigación, L.C.-M; metodología L.C.-M; administración del proyecto N.-P; supervisión N.-P; validación, N.-P y J.C.C.-B; visualización R.L.Z.-L, H.M-L y I.E.H-P; redacción del borrador original, L.C.-M y N.-P; redacción, revisión y edición, N.-P, J.C.C.-B, A.H.-R, R.L.Z.-L, H.M-L y I.E.H-P. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Referencias

1. Biyada, S., & Urbonavičius, J. (2025). Could bioplastics mitigate and solve world's plastic invasion? *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(4), 117226. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.117226>
2. Cevallos-Casals, B. A., & Cisneros-Zevallos, L. (2004). Stability of anthocyanin-based aqueous extracts of Andean purple corn and red-fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants. *Food Chemistry*, 86(1), 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.011>
3. Hernández, H., Pacheco, N., Garruña, R., Cuevas-Bernardino, J. C., Pierre, J. F., Martínez-Castillo, J., & Andueza-Noh, R. H. (2024). Physicochemical and nutritional traits of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) landraces grown in traditional farming systems. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 84(6), 757–768. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392024000600757>
4. Chun, H. N., Kim, B., & Shin, H. S. (2014). Evaluation of a freshness indicator for quality of fish products during storage. *Food Science and Biotechnology*, 23(5), 1719–1725. <https://doi.org/10.1007/s10068-014-0235-9>
5. Laila, U., Yuliyanto, P., Hariyadi, S., Juligani, B., Indrianingsih, A. W., Kristanti, D., Ariani, D., Herawati, E. R. N., Iwansyah, A. C., Anwar, M., Ginting, E., Pangestu, A., Andriana, Y., Purwaningsih, H., Indrasari, S. D., Nurmahmudi, N., Hariadi, H., Hoo, A. W., & Wardhani, R. (2025). Incorporation of low-pH purple-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) anthocyanin extract into a sucrose matrix: Characterization and application in powdered beverage. *Food and Bioproducts Processing*, 151, 172–188. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2025.03.008>
6. Wan, X., Wang, X., Zhu, T., Shi, G., & Xiao, Q. (2025). Comparative metabolomics analysis of purple sweet potato flesh across different storage periods. *Postharvest Biology and Technology*, 229. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2025.113730>

**Artículo de divulgación científica**<https://doi.org/10.61767/mjte.004.2.2028>

Hernández-Rivera et al., 2025

Recibido: 09-07-2025

Revisado: 03-08-2025

Aceptado: 12-08-2025

Publicado: 30-08-2025

¿Recolección de energía limpia en México?

Clean Energy Harvesting in Mexico?

Daniel Hernández-Rivera¹, David Sánchez-Luna², María Belem Arce-Vázquez³, Yuri Sara Hernández-Demesa⁴ y Ángel Eduardo Márquez-Ortega⁵

¹ División de Ingeniería en Energías Renovables, Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan, Estado de México, México, 56380.

² División de Gestión de la Producción, Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl, Estado de México, México, 57000.

³ División de Ingeniería Mecánica, Mecatrónica e Industrial, Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Estado de México, México, 55210.

⁴ Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelos, México, 62580

⁵ División de Ingeniería Química, Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán, Estado de México, México, 56335,

*Correspondencia: daniel.rivera@teschic.edu.mx

Resumen

La recolección de energía es un proceso que permite obtener electricidad utilizable a partir de la captura y conversión de diversas formas de energía ambiental, que pueden incluir desde la radiación solar hasta las vibraciones generadas por el tráfico vehicular. México, gracias a su ubicación geográfica, posee un alto potencial para la generación de energía, ya que cuenta con una amplia variedad de recursos naturales como la energía solar, eólica, hidráulica y geotérmica, entre otras. Considerando la necesidad global de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y minimizar el impacto ambiental, resulta fundamental explorar nuevas oportunidades para optimizar la generación de energía mediante distintas técnicas de recolección.

Palabras clave: Recolección de energía, energías renovables, energías limpias.

Abstract

Energy harvesting is a process that enables the generation of usable electricity by capturing and converting various forms of ambient energy, ranging from solar radiation to vibrations produced by vehicular traffic. Due to its geographical location, Mexico has great potential for energy generation, as it possesses a wide variety of natural resources, including solar, wind, hydro, and geothermal energy, among others. Given the global need to reduce greenhouse gas emissions and minimize environmental impact, it is essential to explore new opportunities to optimize energy generation through different harvesting techniques.



Artículo de divulgación científica

Hernández-Rivera et al., 2025

Keywords: Energy harvesting, renewable energy, clean energy.

1. Introducción

Las energías renovables son un tipo de energía proveniente de fuentes naturales que podrían verse inagotables a escala humana debido a que son reabastecidas más rápido de lo que son consumidas. Dentro de los diferentes tipos de fuentes de energía renovable existe un tipo energías que tienen un impacto mínimo en el medio ambiente y han sido designadas como energías limpias. La energía solar, eólica, geotérmica e hidráulica son las principales fuentes de energía limpia ya que no generan de manera directa gases de efecto invernadero.

La recolección de energía es un proceso para obtener energía del ambiente. El concepto de recolección de energía se refiere a la generación de energía eléctrica a partir de la recolección, a través de transductores, de la energía que se encuentra circulando en el ambiente; ejemplos de estos tipos de energía, son el calor, movimiento, vibraciones, y radiación. Bajo este concepto, el aprovechamiento de las principales fuentes de energía (solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica) podría ser considerada recolección de energía limpia.

El presente artículo muestra un panorama general del potencial de México para la generación de energía limpia a través de la recolección de las energías renovables ya conocidas y la exploración de nuevas fuentes de energía limpia.

2. Recolección de energía

La recolección de energía conocida por su nombre en inglés como *Energy Harvesting* (Sezer & Koç, 2021), es una técnica ingenieril que permite recolectar energía del ambiente y transformarla en energía eléctrica aprovechable. Los sistemas de recolección de energía están formados por tres partes principales: la fuente de energía ambiental, el transductor y la carga. Por la naturaleza en la que está basada esta

tecnología la fuente de energía ambiental debería de ser un tipo de fenómeno que suceda de manera natural y que sea periódico, ejemplo de ello podría ser la radiación solar, el flujo de agua de los ríos, el oleaje, el viento, el calor del centro de la tierra, la vibración mecánica en una carretera por la circulación vehicular (Ding et al., 2018), el calor disipado en un calentador de agua doméstico (Kütt et al., 2018), entre otras. El dispositivo transductor es el encargado de convertir la energía primaria en energía eléctrica. El tipo de transductor necesario depende de la naturaleza de la fuente primaria de energía. Para una fuente de energía mecánica se puede utilizar un material piezoeléctrico o un elemento de inducción electromagnética como el generador eléctrico. Para una fuente de energía calorífica se puede utilizar un dispositivo termoeléctrico, por otro lado, para la energía solar se utiliza una celda fotovoltaica. Finalmente, la carga sería un elemento que consume o almacena energía; ejemplos de estos pueden ser un teléfono, un motor eléctrico, una batería de 12 volts, las luminarias de una calle, etcétera. Saber las características de la carga que se va a alimentar con la energía eléctrica es importante porque definirá las capacidades del dispositivo recolector de energía en cuanto al suministro eléctrico que pueda proporcionar (Liu et al., 2020; Pradeesh et al., 2022).

3. La importancia de las energías limpias

El impacto de las energías limpias en la generación de gases contaminantes es mínimo. La energía solar, la eólica, hidráulica, geotérmica y la biomasa son las principales fuentes limpias de energía renovable. El uso de las energías renovables es una alternativa viable para la descarbonización de la energía, coadyuvando al desarrollo social y contribuyendo de manera positiva al cambio climático, contribuye a la mitigación de impactos causados por las



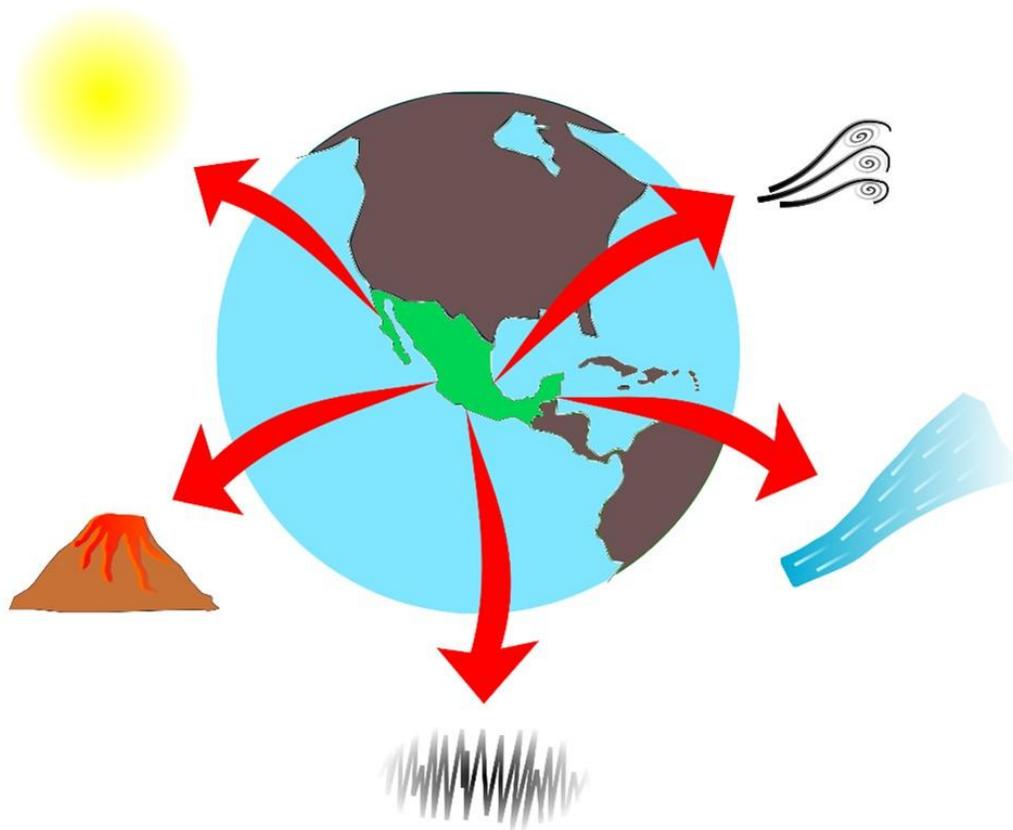
Artículo de divulgación científica

Hernández-Rivera et al., 2025

emisiones de gases de efecto invernadero y la explotación de recursos que son consecuencias directas de generación de energía eléctrica convencional (Attanayake et al., 2024). El efecto invernadero es un fenómeno que ocurre de forma natural en la atmósfera de la Tierra y es el responsable de que se haya tenido una temperatura óptima para la existencia de la vida, sin este fenómeno la temperatura promedio de la Tierra estaría por debajo de los 0°C. Sin embargo, los gases provenientes del procesamiento de los combustibles fósiles, la deforestación de bosques y selvas, en conjunto con toda la actividad humana, han intensificado el efecto invernadero provocando un aumento de la temperatura perjudicial para los seres vivos, que se puede ver reflejado en el cambio climático (Osman et al., 2023). Las consecuencias de este fenómeno involucran una alteración en las corrientes oceánicas y la

intensidad del viento, aumento o disminución de las precipitaciones, aumento en el nivel del mar, desaparición de glaciares, y variabilidad en la intensidad y/o periodicidad de diversos fenómenos meteorológicos.

México tiene una localización geográfica idónea para el aprovechamiento de los diferentes tipos de energías limpias (Figura 1). A pesar de que nuestro país lleva algunos años explotando estos tipos de fuentes de energía, aún existe una capacidad alta de generación que puede ser aprovechada (Castrejon-Campos, 2022; Cruz Ake et al., 2024). A continuación, se mencionan algunos aspectos generales a considerar con respecto a las energías limpias que ya son recolectadas en territorio mexicano, y de las fuentes de energía que también pueden ser aprovechadas.





Artículo de divulgación científica

Hernández-Rivera et al., 2025

Figura 1. Energías limpias disponibles en México y el mundo.

3.1 Energía solar

La energía solar se puede aprovechar de dos formas principales (Pourasli et al., 2023); a través del efecto fotovoltaico en el que se utilizan celdas solares (transductores) para convertir la energía de los fotones provenientes del sol (fuente de energía limpia) en energía eléctrica; y la segunda a través del efecto térmico de la radiación solar la cual se utiliza entre otras cosas para calentar agua (u otro elemento al que se necesite elevar su temperatura) mediante colectores solares ópticos.

El potencial de energía solar en México es uno de los más grandes a nivel mundial (López-Flores et al., 2024), esto debido a que México se encuentra en una región geográfica llamada cinturón solar donde la radiación se encuentra por encima de la media global. A pesar de que la energía solar está siendo aprovechada en todo el mundo, muchos países están lejos de la capacidad de captación de energía solar que tiene México. La capacidad de generación de energía fotovoltaica aún está lejos de alcanzar el potencial real del país, por lo que el área de oportunidad para aumentar significativamente la recolección de este tipo de energía es alta.

3.2 Energía eólica

El viento es una fuente de energía que se ha utilizado desde tiempos antiguos, su uso ha ido revolucionando a través del tiempo; en los últimos años este recurso se ha utilizado para generar energía eléctrica mediante aerogeneradores. La energía eólica es inagotable y limpia, es decir, no produce gases de efecto invernadero, y con esta ventaja se contribuye con el medio ambiente. La energía eólica se produce mediante la energía cinética del viento para crear el movimiento de un generador eléctrico (transductor) para que a través de un fenómeno de inducción electromagnética permita la producción de energía eléctrica (Summerfield-Ryan & Park, 2023). Para encontrar sitios con buen potencial eólico se debe realizar un estudio que abarque los tipos de ecosistema y tipos de terreno, cabe mencionar

que el viento se comporta de diferente manera en zonas con planicie, en el mar, zonas con relieves y en zonas urbanas. A mayor altura la fricción disminuye, lo que permite que el viento fluya más libremente y a mayor velocidad, mientras que a bajas altitudes y a nivel de suelo el viento es más lento y su dirección está influenciada por los obstáculos del terreno. Es importante realizar un estudio de potencial eólico para identificar zonas ideales para instalar aerogeneradores del tipo que se adapte a la zona geográfica; existen dos tipos de aerogeneradores los de eje horizontal que comúnmente se encuentran instalados en parques eólicos e instalados a alturas de más de 100 m y los de eje vertical que están dirigidos principalmente a zonas urbanas en donde el viento circula omnidireccionalmente. La región del Istmo de Tehuantepec es considerada como una de las fuentes de energía eólica más grandes de América Latina. En esta región se encuentran las instalaciones *on-shore* (término utilizado para instalaciones eólicas en tierra) más grandes del país (García-Caballero et al., 2023). A pesar de que la energía eólica *on-shore* representa un potencial alto para la generación de energía eléctrica, el potencial de generación de energía eólica *off-shore* (instalaciones eólicas situadas en el mar) es aún más interesante. México tiene una posición geográfica con extensas costas de lado del océano pacífico y el golfo de México que lo hacen idóneo para la instalación de generadores eólicos tipo *off-shore*, lo cual hasta el momento sigue sin aprovecharse.

3.3 Energía hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica aprovecha la fuerza del agua (fuente de energía limpia) para mover turbinas (transductores similares a los generadores eléctricos de la energía eólica) que producen energía eléctrica en cada giro. México ha sido pionero en este tipo de energía renovable (Aleman-Nava et al., 2014), en la actualidad la energía hidroeléctrica continúa siendo la mayor fuente de energía renovable del país. En relación con este tipo de energía, aunque no se han realizado estimaciones del



Artículo de divulgación científica

Hernández-Rivera et al., 2025

potencial real del país, se han detectado alrededor de un centenar de lugares con alto potencial para la generación de energía y los cuales al momento siguen sin ser aprovechadas.

3.4 Energía geotérmica

En este caso se aprovecha el calor del centro de la tierra (fuente de energía limpia) que se transmite hacia la superficie a través de diferentes fenómenos. En relación con la energía geotérmica, México es uno de los países con mayor capacidad de generación debido a su localización geográfica perteneciente al cinturón de fuego, una zona geográfica con uno de los más importantes registros de actividad volcánica. A pesar de que México es pionero en la utilización de este tipo de energía renovable, el alcance de generación de energía eléctrica a través de este tipo de energía aún resulta desconocido ya que es necesaria la realización de más estudios para la exploración de nuevas fuentes geotérmicas, sin embargo, es clara la importancia de aprovechar este tipo de fuente de energía.

3.5 Energía de biomasa

La biomasa se puede aprovechar principalmente de dos formas (McKendry, 2002): mediante procesos termoquímicos, como la combustión directa, en los que la materia orgánica se convierte en calor, gases combustibles o biocarbón; y a través de procesos bioquímicos, como la fermentación y la digestión anaerobia, en los que microorganismos transforman compuestos orgánicos en biogás o biocombustibles. En ambos casos, el recurso primario proviene de residuos agrícolas, forestales, industriales o urbanos, así como de cultivos dedicados a la obtención de biomasa, constituyendo una fuente de energía renovable que contribuye a reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero.

En México, el potencial de generación de energía a partir de biomasa es considerable (Masera & Rivero, 2022; Reyes-Santiago et al., 2024), especialmente por la gran disponibilidad de residuos agrícolas como bagazo de caña, rastrojo

de maíz y cascarilla de café, así como de residuos orgánicos urbanos. Sin embargo, la capacidad instalada para su aprovechamiento todavía es reducida en comparación con el potencial estimado, lo que representa un área de oportunidad importante para el desarrollo de tecnologías más eficientes, el impulso de proyectos de generación distribuida y la diversificación de la matriz energética nacional (Icaza-Alvarez et al., 2023).

3.6 Energía mareomotriz y undimotriz

La energía mareomotriz y la undimotriz, clasificadas como energías renovables, se basan en el aprovechamiento de la energía mecánica producida por las mareas y el oleaje, respectivamente, a través de generadores eléctricos y elementos piezoeléctricos (transductores). En México, el potencial de generación eléctrica con este tipo de energía renovable se estima a ser similar al de las energías eólica y solar (Hernández-Fontes et al., 2019). Es necesario mencionar, que la tecnología para aprovechar eficientemente este tipo de energía aún se encuentra en investigación por lo que existe un área de oportunidad real para el desarrollo científico e industrial.

4. Energía no convencional

Las vibraciones mecánicas son un tipo de fenómeno y fuente de energía que se presenta de manera natural en el ambiente. Sin embargo, la actividad humana ha generado una gran cantidad de nuevas fuentes de vibración mecánica desde comienzos de la revolución industrial. Las principales fuentes de energía vibracional que han sido estudiadas para la recolección de energía son flujos de aire y agua, movimiento corporal y vibraciones en infraestructura causados por la actividad humana.

La actividad humana en las ciudades ha generado una gran cantidad de energía que tiene el potencial para la generación de energía eléctrica. Adicionalmente, la necesidad de instrumentos electrónicos para el monitoreo de las condiciones estructurales, señalizaciones, y



Artículo de divulgación científica

Hernández-Rivera et al., 2025

otro tipo de dispositivos electrónicos útiles en la infraestructura urbana han incentivado la investigación de técnicas para la recolección de este tipo de energía. La vibración generada en edificios, vialidades y puentes debido a la interacción que esta infraestructura tiene con el viento, el movimiento vehicular y el tráfico de personas, tiene un potencial alto para la generación energía eléctrica. Los edificios pueden presentar vibraciones de gran magnitud. En este caso se han probado diferentes materiales piezoeléctricos en diferentes configuraciones con la finalidad de convertir las deformaciones mecánicas, provocadas por el viento, movimientos telúricos (Xie et al., 2015) y el tráfico peatonal (Hwang et al., 2015; Li & Strezov, 2014), en energía eléctrica.

La energía mecánica ejercida sobre las calles, carreteras y otro tipo de vialidades tiene el potencial para suministrar energía eléctrica a señalizaciones de tráfico, el monitoreo de las condiciones estructurales de las vialidades, monitores de velocidad y peso de los vehículos (Sezer & Koç, 2021). Las vibraciones mecánicas producidas por el paso del tráfico vehicular han mostrado un alto potencial para la generación de energía eléctrica por medio de materiales piezoeléctricos (Li et al., 2018; Song et al., 2016; Yang et al., 2021). Además de las vibraciones causadas por el tráfico vehicular, también se ha investigado el potencial de vibración generado en las vías por la circulación de trenes (Bosso et al., 2020).

Las vibraciones producidas en puentes por el tráfico peatonal y vehicular han sido utilizadas para generar energía eléctrica por medio de recolectores piezoeléctricos cerámicos y poliméricos (Karimi et al., 2016; Sheng et al., 2022; Wang et al., 2018; Zhang et al., 2014; Zhang et al., 2022). La energía obtenida ha sido utilizada principalmente para iluminación y el monitoreo de las condiciones estructurales del puente (Sezer & Koç, 2021). La mayor cantidad de sistemas de recolección de energía producida por vibraciones están centradas en la utilización de materiales piezoeléctricos.

México, como un país urbanizado y con ciudades de alta densidad demográfica, debería aprovechar la cantidad de energía vibracional disponible, lo cual, además de crear un beneficio propio en el uso de energías limpias, lo pondrían a la vanguardia en la implementación de tecnologías compatibles con infraestructura 4.0 e infraestructura inteligente, tecnologías que en los últimos años se han desarrollado exponencialmente.

5. Conclusiones

La zona geográfica en la que se localiza el país, le ha conferido un potencial inigualable para la recolección de energías limpias. Es necesario mencionar que es este mismo hecho el que le confiere a México la diversidad de climas, flora y fauna que tiene el deber preservar. Es evidente que estos factores pondrán a México como uno de los países con mayor potencial de inversión de capital y recursos humanos para la transición energética que permita el uso de energías limpias por encima de otro tipo de fuentes de energía basadas en combustibles fósiles. Finalmente podemos mencionar que México representa una oportunidad inigualable para la mejora de las tecnologías existentes para la explotación de energías verdes, pero también para la investigación científica e implementación de nuevas fuentes de energías limpias a través de métodos de recolección de energía.

Declaraciones y afirmaciones

Fondos: Este trabajo fue realizado bajo financiamiento del Tecnológico Nacional de México.

Conflicto de interés: Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Aprobación de ética: No aplica.

Referencias

1. Alemán-Nava, G. S., Casiano-Flores, V. H., Cárdenas-Chávez, D. L., Díaz-Chavez, R., Scarlet, N., Mahlkecht, J., Dallemand, J. F., & Parra, R. (2014). Renewable energy research



Artículo de divulgación científica

Hernández-Rivera et al., 2025

- progress in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 140–153. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2014.01.004>
2. Attanayake, K., Wickramage, I., Samarasinghe, U., Ranmini, Y., Ehalapitiya, S., Jayathilaka, R., & Yapa, S. (2024). Renewable energy as a solution to climate change: Insights from a comprehensive study across nations. *PLOS ONE*, 19(6), e0299807. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0299807>
 3. Bosso, N., Magelli, M., & Zampieri, N. (2020). Application of low-power energy harvesting solutions in the railway field: a review. *https://Doi.Org/10.1080/00423114.2020.1726973*, 59(6), 841–871. <https://doi.org/10.1080/00423114.2020.1726973>
 4. Castrejon-Campos, O. (2022). Evolution of clean energy technologies in Mexico: A multi-perspective analysis. *Energy for Sustainable Development*, 67, 29–53. <https://doi.org/10.1016/J.ESD.2022.01.003>
 5. Cruz Ake, S., Ortiz Arango, F., & García Ruiz, R. S. (2024). Possible paths for Mexico's electricity system in the clean energy transition. *Utilities Policy*, 87, 101716. <https://doi.org/10.1016/J.JUP.2024.101716>
 6. Ding, G., Zhao, X., Wang, J., & Xu, C. (2018). Vibration energy harvesting from roads under traffic loads. *https://Doi.Org/10.1080/14680629.2018.1527719*, 21(3), 780–799. <https://doi.org/10.1080/14680629.2018.1527719>
 7. García-Caballero, E., Appendini, C. M., Figueroa-Espinoza, B., Allende-Arandía, M. E., Magar, V., & Gross, M. S. (2023). Wind energy potential assessment for Mexico's Yucatecan Shelf. *Energy for Sustainable Development*, 74, 415–429. <https://doi.org/10.1016/J.ESD.2023.04.016>
 8. Hernández-Fontes, J. V., Felix, A., Mendoza, E., Cueto, Y. R., & Silva, R. (2019). On the Marine Energy Resources of Mexico. *Journal of Marine Science and Engineering 2019, Vol. 7, Page 191, 7(6), 191*. <https://doi.org/10.3390/JMSE7060191>
 9. Hwang, S. J., Jung, H. J., Kim, J. H., Ahn, J. H., Song, D., Song, Y., Lee, H. L., Moon, S. P., Park, H., & Sung, T. H. (2015). Designing and manufacturing a piezoelectric tile for harvesting energy from footsteps. *Current Applied Physics*, 15(6), 669–674. <https://doi.org/10.1016/J.CAP.2015.02.009>
 10. Icaza-Alvarez, D., Galan-Hernandez, N. D., Orozco-Guillen, E. E., & Jurado, F. (2023). Smart Energy Planning in the Midst of a Technological and Political Change towards a 100% Renewable System in Mexico by 2050. *Energies*, 16(20), 7121. <https://doi.org/10.3390/EN16207121/S1>
 11. Karimi, M., Karimi, A. H., Tikani, R., & Ziaei-Rad, S. (2016). Experimental and theoretical investigations on piezoelectric-based energy harvesting from bridge vibrations under travelling vehicles. *International Journal of Mechanical Sciences*, 119, 1–11. <https://doi.org/10.1016/J.IJMECSCI.2016.09.029>
 12. Kütt, L., Millar, J., Karttunen, A., Lehtonen, M., & Karppinen, M. (2018). Thermoelectric applications for energy harvesting in domestic applications and micro-production units. Part I: Thermoelectric concepts, domestic boilers and biomass stoves. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 98, 519–544. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.03.051>
 13. Li, R., Yu, Y., Zhou, B., Guo, Q., Li, M., & Pei, J. (2018). Harvesting energy from pavement based on piezoelectric effects: Fabrication and electric properties of piezoelectric vibrator. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*,



Artículo de divulgación científica

Hernández-Rivera et al., 2025

- 10(5), 054701.
<https://doi.org/10.1063/1.5002731>
14. Li, X., & Strezov, V. (2014). Modelling piezoelectric energy harvesting potential in an educational building. *Energy Conversion and Management*, 85, 435–442.
<https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2014.05.096>
15. Liu, Y., Shang, S., Mo, S., Wang, P., & Wang, H. (2020). Eco-friendly Strategies for the Material and Fabrication of Wearable Sensors. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology 2020* 8:4, 8(4), 1323–1346.
<https://doi.org/10.1007/S40684-020-00285-5>
16. López-Flores, F. J., Ramírez-Márquez, C., Rubio-Castro, E., & Ponce-Ortega, J. M. (2024). Solar photovoltaic panel production in Mexico: A novel machine learning approach. *Environmental Research*, 246, 118047.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2023.118047>
17. Masera, O., & Rivero, J. C. S. (2022). Promoting a Sustainable Energy Transition in Mexico: the Role of Solid Biofuels. *Bioenergy Research*, 15(4), 1691–1693.
<https://doi.org/10.1007/S12155-022-10540-Z/METRICS>
18. McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83(1), 37–46.
[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3)
19. Osman, A. I., Chen, L., Yang, M., Msigwa, G., Farghali, M., Fawzy, S., Rooney, D. W., & Yap, P. S. (2023). Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a changing climate: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(2), 741–764.
<https://doi.org/10.1007/S10311-022-01532-8/METRICS>
20. Pourasl, H. H., Barenji, R. V., & Khojastehnezhad, V. M. (2023). Solar energy status in the world: A comprehensive review. *Energy Reports*, 10, 3474–3493.
<https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2023.10.022>
21. Pradeesh, E. L., Udhayakumar, S., Vasundhara, M. G., & Kalavathi, G. K. (2022). A review on piezoelectric energy harvesting. *Microsystem Technologies*, 28(8), 1797–1830.
<https://doi.org/10.1007/S00542-022-05334-4/FIGURES/8>
22. Reyes-Santiago, M. del R., Maruri Montes de Oca, A. E., Olalde Portugal, V., & Hernández-Rosales, M. (2024). Adaptive capability and socioecological traps: a bioenergy case in communities of Irapuato, Guanajuato, Mexico. *Energy, Sustainability and Society*, 14(1).
<https://doi.org/10.1186/S13705-024-00445-4>
23. Sezer, N., & Koç, M. (2021). A comprehensive review on the state-of-the-art of piezoelectric energy harvesting. *Nano Energy*, 80, 105567.
<https://doi.org/10.1016/J.NANOEN.2020.105567>
24. Sheng, W., Xiang, H., Zhang, Z., & Yuan, X. (2022). High-efficiency piezoelectric energy harvester for vehicle-induced bridge vibrations: Theory and experiment. *Composite Structures*, 299, 116040.
<https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2022.116040>
25. Song, Y., Yang, C. H., Hong, S. K., Hwang, S. J., Kim, J. H., Choi, J. Y., Ryu, S. K., & Sung, T. H. (2016). Road energy harvester designed as a macro-power source using the piezoelectric effect. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(29), 12563–12568.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.04.149>
26. Summerfield-Ryan, O., & Park, S. (2023). The power of wind: The global wind energy industry's successes and failures. *Ecological*



Artículo de divulgación científica

Hernández-Rivera et al., 2025

Economics, 210, 107841.
<https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2023.107841>

27. Wang, H., Jasim, A., & Chen, X. (2018). Energy harvesting technologies in roadway and bridge for different applications – A comprehensive review. *Applied Energy*, 212, 1083–1094.
<https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2017.12.125>
28. Xie, X. D., Wang, Q., & Wang, S. J. (2015). Energy harvesting from high-rise buildings by a piezoelectric harvester device. *Energy*, 93, 1345–1352.
<https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2015.09.131>
29. Yang, H., Wei, Y., Zhang, W., Ai, Y., Ye, Z., & Wang, L. (2021). Development of Piezoelectric Energy Harvester System through Optimizing Multiple Structural Parameters. *Sensors* 2021, Vol. 21, Page 2876, 21(8), 2876.
<https://doi.org/10.3390/S21082876>
30. Zhang, Y., Cai, S. C. S., & Deng, L. (2014). Piezoelectric-based energy harvesting in bridge systems. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 25(12), 1414–1428.
<https://doi.org/10.1177/1045389X13507354>
31. Zhang, Z., Xiang, H., Tang, L., & Yang, W. (2022). A comprehensive analysis of piezoelectric energy harvesting from bridge vibrations. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 56(1), 014001.
<https://doi.org/10.1088/1361-6463/AC9F21>

**Artículo de investigación**<https://doi.org/10.61767/mjte.004.2.2937>

Galarza-Ponce et al., 2025

Recibido: 29-05-2025

Revisado: 23-06-2025

Aceptado: 30-06-2025

Publicado: 30-08-2025

El Focus Group como Estrategia para la Comercialización de la Miel: Un Estudio Aplicado en el Sector Apícola del estado de Hidalgo

Focus Group as a honey marketing strategy: A study applied to the beekeeping sector in the state of Hidalgo

Karelia Yunue Galarza-Ponce¹, Ana L. Guzmán-Elizalde² y Josefa Espitia-López^{2*}

¹ Instituto de Ciencias Económico-Administrativas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, CP 42160, Circuito la Concepción km 2.5, San Juan Tilcuautla, Tlaxiaca, Hidalgo, México

² Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, CP 43775, Ex. Hacienda de Quetzalpa, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo, México

*Correspondencia: josefa_espitia11153@uaeh.edu.mx

Resumen

El Focus Group es una metodología ampliamente usada en investigaciones científicas en el ámbito de las ciencias sociales, se presenta como una estrategia efectiva para la comercialización de productos cuando se realiza con un enfoque combinado mediante tácticas de mercadeo, este tipo de estudios innovadores va aumentando en productos como la miel. A través de esta técnica, es posible conocer de forma directa las opiniones, preferencias y expectativas de los consumidores y comerciantes, esta información resulta valiosa para tomar decisiones informadas sobre aspectos como el empaque, el sabor, la presentación y la forma de promover el producto en el mercado. Tras la pandemia del COVID-19, el comportamiento del consumidor ha cambiado significativamente, haciendo aún más relevante el uso de metodologías como el Focus Group para comprender las nuevas necesidades y hábitos de compra. El presente estudio busca analizar la efectividad de esta metodología en el sector apícola, específicamente en la comercialización de la miel, con el fin de mejorar su posicionamiento en el mercado actual, los principales hallazgos obtenidos revelan que, si bien la miel es un producto valorado por sus propiedades naturales y las estrategias de comercialización deben ir encaminadas hacia la diferenciación de las marcas existentes en el mercado.



Artículo de investigación

Galarza-Ponce et al., 2025

Palabras clave: Focus group, estrategia, comercialización, miel, sector apícola.

Abstract

Focus Groups are a widely used methodology in scientific and social science research. They are presented as an effective strategy for product marketing when implemented through a combined approach and marketing strategies. This type of innovative study is gaining popularity in products such as honey. Through this technique, it is possible to directly understand the opinions, preferences, and expectations of consumers and marketers. This information is valuable for making informed decisions on aspects such as packaging, flavor, presentation, and marketing strategies to promote the product effectively in the market. Following the COVID-19 pandemic, consumer behavior has changed significantly, making methodologies such as Focus Groups even more relevant for understanding new needs and purchasing habits. This study aims to evaluate the effectiveness of this methodology in the beekeeping sector, particularly in honey marketing, to enhance its market positioning. The main findings revealed that, although honey is a product valued for its natural properties, marketing strategies should Focus on differentiating it from existing brands in the market.

Keywords: Focus-group, strategy, marketing, honey, beekeeping sector.

1. Introducción

Se ha definido a la miel como “una sustancia dulce natural producida por las abejas a partir del néctar de las flores” según Rivera-Pérez et al. (2024), es considerado un alimento deseado a través del tiempo y en diversas culturas, siempre sobresaliendo por su agrado, versatilidad, características nutricionales, medicinales y sensoriales convirtiéndolo en un producto altamente valorado y apreciado. La miel está compuesta de agua, azúcares, vitaminas, aminoácidos, flavonoides, minerales, ácidos orgánicos y compuestos bioactivos los cuales provienen de las flores donde las abejas recolectan el polen para posteriormente convertirla en miel, es justamente el origen de la materia prima la cual va a diferenciar a las mieles entre sí, ya que está íntimamente ligado con su origen botánico, ubicación geográfica y condiciones ambientales (Rivera-Pérez et al., 2024).

Existen estudios dirigidos hacia las estrategias de mercado específicos de la miel conducidos a los apicultores mexicanos, particularmente del estado de Hidalgo, así lo manifestaron

productores y comerciantes de miel en la primer “Jornada de Apicultores”, quienes solicitan la generación de tácticas para aumentar las ventas de su producto a un precio justo, también mencionaron que después de la pandemia que se presentó por el COVID-19 el mercado nacional ha presentado modificaciones sustanciales en su composición, con lo que las estrategias convencionales empleadas hasta el 2020 ya no generaban las mismas ganancias (Galarza-Ponce et al., 2024), para conocer las necesidades del sector apícola así como establecer soluciones particulares a las problemáticas asociadas a la comercialización se ha propuesto realizar un Focus group, de este modo mejorarán las estrategias de comercialización de la miel en México y particularmente para los productores y comerciantes de miel del estado de Hidalgo.

Entre los métodos que se emplean dentro de la investigación de mercado cualitativa se encuentra el Focus group, este método emplea entrevistas aplicadas a grupos selectos de investigación, estos grupos suelen estar compuestos por personas representativas de los intereses del estudio para poder generar los objetos del conocimiento. El objetivo de la investigación



Artículo de investigación

Galarza-Ponce et al., 2025

cuantitativa es generar conocimiento utilizando técnicas desarrolladas en conjunto con las ciencias sociales, entre estas se encuentran los Focus group con la aplicación de entrevistas y la observación que se puede generar con grabaciones del proceso (Nilsson, 2020). En el proceso de realización de Focus group se anima a los entrevistados a participar y con ayuda del entrevistador se median las participaciones de los integrantes, se destaca la experiencia personal, así como el punto de vista particular de los participantes (Brendan et al., 2018).

El sector apícola desempeña un papel fundamental en la economía y la biodiversidad, sin embargo, los apicultores a menudo enfrentan dificultades para posicionar sus productos en un mercado competitivo tal y como lo señala un estudio previo titulado “Estrategias post-COVID-19 Herramientas de planeación empresarial, mercadeo y concientización para el consumo de miel y productos derivados” (Galarza-Ponce et al., 2024), se han explorado diversas estrategias de mercadeo, donde por su versatilidad y aplicabilidad de los resultados destaca el uso de Focus group. Se evaluó el impacto en la percepción del producto, las estrategias comerciales de los apicultores y la implementación de mejoras en la comercialización de la miel producida y comercializada por apicultores del estado de Hidalgo.

2. Materiales y métodos

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo-descriptivo, utilizando como técnica principal la metodología de Focus group orientado a la obtención de información profunda y contextualizada sobre las estrategias de comercialización en el sector apícola.

2.1 Planeación

Primeramente, se realizó la aplicación de la entrevista para la realización del Focus group con 23 apicultores siguiendo la metodología de Merto y Kendall (1946), esta metodología permite un análisis sistemático para interpretar y analizar datos textuales, visuales y conceptuales (Bilici &

Seren, 2025). Se diseñó una guía de preguntas estructuradas para un análisis de investigación cualitativa que se llevó de forma inductiva y deductiva, este tipo de enfoque según Bilici y Seren (2025) involucra las categorías y temas sin conceptos preadquiridos, accediendo a conclusiones más naturales y comprensibles por parte de los integrantes. Esta característica de elasticidad entre las perspectivas aprueba que el análisis de contenido sea variable en diversas disciplinas, como la sociología, la biotecnología y los estudios de comunicación, basados en este análisis los objetivos fueron los siguientes:

- Saber cuáles son los factores que los consumidores toman en cuenta cuando compran miel o productos derivados.
- Averiguar qué características les agrada de la miel y cuáles no son de su agrado.
- Definir cuál sería el empaque ideal para este producto y por qué.
- Conocer de qué forma ha afectado la pandemia al consumo de estos productos.

Se establecieron las siguientes preguntas y pruebas proyectivas.

Preguntas:

1. ¿Consumen miel?
2. ¿Cada cuánto tiempo adquieren productos con miel?
3. ¿Qué es lo que les gusta de un producto con miel y los inspira a comprarlo? ¿Qué es lo que no les gusta?
4. ¿Considera que el consumo de estos productos ha aumentado o ha disminuido por la situación actual? Justifiquen su respuesta

Pruebas proyectivas:

Se utilizaron las pruebas de asociación de palabras para que se definiera mejor qué es lo que vendría a la mente al pensar en este producto. También, se implementó una prueba



Artículo de investigación

Galarza-Ponce et al., 2025

de dibujo para tener más claro cómo sería el empaque ideal.

1. Asociación de palabras: Los participantes deben escribir lo que le viene a la cabeza con las palabras que yo mencione, NO DEBEN HABLAR SÓLO DEBEN ESCRIBIR.

- Miel
- Abeja

2. ¿Cómo será su empaque ideal para la miel? Descríbalo y también puede dibujarlo si lo necesita

Reglas

Se establecieron reglas para mantener el orden y la armonía, lo que facilitaron al mediador el control dentro de la sesión.

- No interrumpir
- Respetar los turnos
- Expresarse de la forma en que se sintieran más cómodos
- Seguir las instrucciones del mediador

2.2 Reclutamiento de participantes

El grupo focal se llevó a cabo durante la 1.ª Jornada de Difusión y Concientización sobre Apicultura 2023, y estuvo conformado por 23 participantes, entre ellos productores y comerciantes de miel, seleccionados por muestreo no probabilístico por conveniencia, dada su relación directa con la temática del estudio. Se analizaron los datos mediante un enfoque cualitativo, esto significa que se basa en métodos de recolección de datos sin medición numérica como la descripción y la observación del fenómeno (Vega-Malagón et al. 2014), categorizando las respuestas obtenidas según tendencias emergentes y patrones identificados.

2.3 Preparación del espacio

El lugar donde se desarrollaría el Focus group fue adaptado para el número de personas que participaron, con el número ideal de lugares y sin ninguna distracción. También, se preparó todo

para contar con la evidencia fotográfica y de audio.

Dentro de esta sesión, se realizaron pruebas proyectivas (referencia del método), por lo que fue necesario tener el material listo y ponerlo a disposición de los participantes.

2.4 Desarrollo del Focus group

Inicio de la Sesión

Al inicio del encuentro, se realizó una breve introducción en la que se explicó la dinámica del Focus group. Se presentó a los participantes y se establecieron las reglas básicas de la discusión, fomentando un ambiente de confianza y apertura para la expresión de ideas.

Desarrollo de la Discusión

La sesión fue moderada por un facilitador con experiencia en investigación cualitativa, quien guio la conversación con base en la guía de las preguntas y pruebas previamente diseñadas. Se abordaron los siguientes temas:

1. Percepción del Producto
 - Se preguntó a los consumidores sobre sus hábitos de compra y consumo de miel.
 - Se indagó en las preferencias respecto a presentación, sabor, textura y origen del producto.
2. Factores de Decisión de Compra
 - Se exploró la influencia de factores como el precio, la calidad, la certificación y la procedencia en la elección del producto.
 - Se analizó la importancia del etiquetado y la información nutricional.
3. Empaque Ideal para el Producto
 - Se debatió sobre las características que debería tener el empaque ideal para la miel y sus derivados.
 - Se consideraron factores como materiales, tamaño, funcionalidad, atractivo visual y sostenibilidad.
4. Impacto de la Pandemia en el Consumo de Miel



Artículo de investigación

Galarza-Ponce et al., 2025

- Se discutió cómo la pandemia afectó los hábitos de compra y consumo de miel.
- Se analizaron cambios en la demanda, preferencias del consumidor y desafíos enfrentados por los apicultores en la comercialización de sus productos

Cierre de la Sesión

Al finalizar la discusión, se agradeció la participación de los asistentes y se les invitó a compartir comentarios adicionales. Se recogieron impresiones finales sobre la experiencia del Focus group y su utilidad para la mejora del sector apícola.

La sesión fue registrada en audio y posteriormente transcrita para su análisis cualitativo. Para el análisis de la información, se aplicó un análisis de contenido de tipo temático, que consistió en identificar y clasificar palabras clave, ideas repetidas y patrones de opinión comunes entre los participantes. Estas categorías emergentes fueron cuantificadas en términos de frecuencia de aparición, permitiendo así una sistematización básica de los datos cualitativos.

2.5 Procesamiento y análisis de datos

La grabación fue transcrita de forma literal y se aplicó un análisis de contenido temático, siguiendo estos pasos:

1. Lectura exploratoria de la transcripción.
2. Codificación abierta de frases, conceptos y palabras clave.
3. Agrupación por categorías temáticas emergentes: percepción del producto, factores de decisión de compra, empaque ideal e impacto de la pandemia.
4. Cuantificación básica de la frecuencia con que surgían ciertos temas, conceptos o preferencias.

Este procesamiento permitió convertir información cualitativa en datos sistematizados para extraer conclusiones e inferir los datos, generando indicadores como:

- Proporciones de hábitos de consumo (diario, mensual, estacional).
- Niveles de asociación entre miel y salud, energía o dulzura.
- Preferencia por envases de vidrio y etiquetas con historia del producto.

3. Resultados y discusión

Tras el análisis de las transcripciones de la sesión, se identificaron diversas tendencias y percepciones en torno a la comercialización de la miel y sus derivados. Los resultados se presentan a continuación, organizados según las principales temáticas abordadas durante la discusión.

Percepción del Producto

Los participantes del Focus group demostraron un consumo generalizado y frecuente de miel. La mayoría mencionó su uso tanto como endulzante natural como por sus propiedades energéticas y medicinales. Esta percepción se complementa con los resultados obtenidos mediante la sistematización de las respuestas sobre frecuencia de consumo, los cuales se resumen en la Tabla 1.

Como puede observarse, la mayor proporción de los participantes adquiere productos con miel cada 2 a 5 meses, mientras que una minoría lo hace semanalmente o de forma estacional. Los datos también confirman que los productores, por su cercanía al producto, tienden a consumirla diariamente o según temporada de cosecha. Estos hallazgos aportan un contexto útil para entender los hábitos reales de consumo en el sector apícola local y fundamentan las decisiones estratégicas propuestas más adelante en el estudio. Dentro del análisis cualitativo, las pruebas proyectivas de asociación de palabras ofrecieron una visión más espontánea y directa de las percepciones vinculadas a la miel. La mayoría de los participantes la relacionó con atributos positivos ligados al sabor, la salud y su origen natural. La palabra más mencionada fue “dulce”, seguida de “abeja”, lo cual muestra una fuerte conexión sensorial y simbólica con el producto. También destacaron asociaciones con la salud, la nutrición, la energía y propiedades



Artículo de investigación

Galarza-Ponce et al., 2025

medicinales, la tabla 2 presenta un resumen de estas asociaciones.

Tabla 1. Frecuencia de compra de miel entre los participantes.

Frecuencia de compra	Número de participantes	Porcentaje (%)
Diariamente	4	17.4
Cada 15 días	1	4.3
Cada mes	2	8.7
Cada 2 o 3 meses	6	26.1
Cada 4 o 5 meses	5	21.7
Cada año	1	4.3
Cada temporada	3	13.0
Cada 6 meses	1	4.3

Tabla 2. Asociación de palabras con "Miel".

Palabra asociada	Frecuencia de mención	Porcentaje (%)
Abeja	12	17.4
Dulce	13	18.8
Salud	11	15.9
Natural	4	5.8
Rica	4	5.8
Nutritiva	8	11.6
Medicina	5	7.2
Energía	5	7.2
Flores	7	10.1

Los participantes destacaron que la miel es percibida como un producto natural y saludable, con beneficios tanto nutricionales como medicinales, los participantes consideran que este producto es muy saludable e incluso "medicinal" o "nutritiva" que son palabras que destacan entre las mencionadas, además se menciona "energía" que hace referencia a que este producto genera energía al consumirlo. Šedík et al (2023) mencionan que la percepción de la miel como producto de consumo es importante para ser seleccionado y esta varía según el color y el origen principalmente, esta variación tiene como origen la generación a la que pertenece el consumidor, en general los consumidores están de acuerdo en que la miel es un producto nutritivo y que proporciona diversos beneficios a la salud.

Factores de Decisión de Compra

Se encontró que los consumidores priorizan la calidad del producto al momento de adquirir miel, una de las características que más les gusta es su sabor dulce, sus propiedades benéficas para la salud y la energía que esta proporciona. Además, se destacó la importancia de la certificación y autenticidad de la miel, ya que algunos participantes expresaron preocupación por la adulteración del producto en el mercado. Pocol & Bolboaca (2013) en un estudio realizado en Rumania especifican que entre los factores de compra destaca el precio de la miel, lo cual puede estar relacionado con la calidad del producto para evitar la adulteración de este, e intrínsecamente ligada a mantener un auténtico sabor dulce.



Artículo de investigación

Galarza-Ponce et al., 2025

Empaque Ideal para el Producto

Los participantes mostraron un alto nivel de interés por el diseño del envase de la miel, no solo como presentación visual, sino como

elemento que transmite confianza, higiene y autenticidad del producto, la tabla 3 representa sus comentarios.

Tabla 3. Preferencias sobre el empaque ideal.

Elemento deseado en el empaque	Número de menciones	Porcentaje (%)
Envase de vidrio	15	65.2
Envase de madera	4	17.4
Sobrecitos de plástico	3	13.0
Pocos estampados	5	21.7
Etiqueta con información nutrimental	18	78.3
Historia de origen / recetas / apicultores	18	78.3
Decoraciones (flores, abejas, panales)	23	100.0
Envase cilíndrico y ergonómico	23	100.0
Incluye palita reutilizable	23	100.0
Bien sellado e higiénico	23	100.0
Debe mantenerse en lugar fresco	23	100.0
Sellos que avalan que es orgánico	23	100.0

Los participantes coincidieron en que el empaque debe ser funcional, atractivo y sostenible. Se sugirió el uso de frascos de vidrio por su durabilidad y percepción de calidad, también mencionaron que debería ser cilíndrico, ergonómico y con algún elemento que facilite el servir la miel sin necesidad de usar una cuchara o voltear el recipiente, como una palita de madera que se pueda reutilizar. Se destacó la importancia del diseño gráfico en la etiqueta para comunicar los beneficios del producto y su autenticidad, que tenga sellos que avalan que es orgánico, que llame la atención con decoraciones representativas como flores, abejas y panales. El envase donde se presenta la miel es relevante para la elección de compra, la calidad de este debe facilitar la interacción con los consumidores, además de reflejar la calidad del producto en cada uno de sus componentes (Šedík et al, 2023). Este conjunto de preferencias sugiere que los consumidores del sector apícola no solo valoran la calidad del contenido, sino también el empaque como parte clave de la experiencia de compra y consumo. El diseño ideal combina estética, transparencia, funcionalidad y respaldo

informativo, factores que pueden influir directamente en la decisión de compra.

Impacto de la Pandemia en el Consumo de Miel

Se observó un incremento en la demanda de miel durante la pandemia, atribuida a su percepción como un producto benéfico para la salud. El consumo de este producto si había aumentado, ya sea por sus propiedades, porque las personas buscaban alternativas a la medicina y eligieron este producto, porque este producto ayuda con las vías respiratorias que eran las que el COVID-19 atacaban principalmente. Derivado de los nuevos patrones de consumo después de la pandemia se han construido modelos teóricos para analizar sistemáticamente el comportamiento de consumo, entre los hallazgos destaca “el valor para la salud” (Yang et al, 2023), lo que concuerda con lo revelado en este estudio para el consumo de la miel y los beneficios a la salud con las que se relaciona su ingesta.

Aunque esta categoría se centró en los cambios en la demanda durante la pandemia, las asociaciones con la palabra “abeja” reflejaron un aumento en la conciencia ecológica y funcional



Artículo de investigación

Galarza-Ponce et al., 2025

del insecto productor. Los participantes vincularon a la abeja con términos como “polinización”, “flor”, “polen” y “alimento”, lo que demuestra que reconocen su papel en el

ecosistema y su relación directa con la producción de miel, como se observa en la tabla 4.

Tabla 4. Asociación de palabras con "Abeja".

Palabra asociada	Frecuencia de mención	Porcentaje (%)
Polen	4	7.1
Miel	10	17.9
Animal	6	10.7
Polinización	11	19.6
Insecto	5	8.9
Importante	5	8.9
Flor	4	7.1
Picadura	6	10.7
Alimento	5	8.9

Estos datos proyectivos respaldan la afirmación de que durante la pandemia no solo aumentó el consumo de miel, sino también el interés por las abejas como agentes polinizadores clave para el medio ambiente, y no únicamente como productoras de miel.

Análisis General

Los hallazgos del Focus group revelan que, si bien la miel es un producto valorado por sus propiedades naturales, su comercialización enfrenta desafíos en términos de diferenciación, acceso a nuevos canales de venta y educación del consumidor. Se identificó una necesidad de fortalecer la estrategia de marca de los apicultores, mejorar el diseño del empaque y aprovechar las oportunidades que ofrece el comercio electrónico. Según Yang et al (2023), los consumidores después de la pandemia priorizan la elección de compra en productos naturales que generen beneficios directos a la salud y que no estén adulterados, así que la sugerencia directa a los apicultores es que coloquen esta información en las etiquetas de los empaques de la miel.

4. Conclusiones

Se realizó un análisis de Focus group integrado con apicultores del estado de Hidalgo, el cual permitió dirigir las preguntas, respuesta y análisis

hacia las estrategias postpandemia COVID-19, este análisis permitió generar estrategias específicas para la mejora de la comercialización de la miel como lo es el colocar información vital para los consumidores relacionada con los beneficios a la salud y las leyendas de un producto que no ha sido adulterado.

Declaraciones y afirmaciones

Fondos: Los autores declaran que no recibieron financiamiento para este trabajo.

Conflicto de interés: Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Aprobación de ética: No aplica.

Disponibilidad de los datos: Contactar a los autores en caso de requerir las bases de datos de esta investigación.

Contribución de los autores: Todas las autoras participaron activamente en el desarrollo de esta investigación. A continuación, se detalla la contribución específica de cada una:

Karelia Yunue Galarza Ponce: Conceptualización del proyecto, recolección de datos y redacción del borrador inicial del manuscrito.



Artículo de investigación

Galarza-Ponce et al., 2025

Ana L. Guzmán Elizalde: Supervisión del desarrollo del estudio, edición del texto y validación final del manuscrito.

Josefa Espitia López: Apoyo en el diseño metodológico, análisis de datos y revisión crítica del contenido.

Todas las autoras revisaron y aprobaron la versión final del artículo.

Referencias

1. Vega-Malagón, G., Ávila-Morales, J., Vega-Malagón, A. J., Camacho-Calderón, N., Becerril-Santos, A., Leo-Amador, G. E. (2014). Paradigmas en la investigación. Enfoque cuantitativo y cualitativo. *European Scientific Journal*, 10(15).
2. Rivera-Pérez, A., Navarro-Herrera, A.M., Garrido Frenich, A. (2024). Identifying Key Markers for Monofloral (Eucalyptus, Rosemary, and Orange Blossom) and Multifloral Honey Differentiation in the Spanish Market by UHPLC-Q-Orbitrap-High-Resolution Mass Spectrometry Fingerprinting and Chemometrics. *Foods*, 13, 2755. <https://doi.org/10.3390/foods13172755>
3. Galarza-Ponce, K. Y., Guzmán-Elizalde, A. L., & Espitia-López, J. (2025). Estrategias post-COVID-19: Herramientas de planeación empresarial, mercadeo y concientización para el consumo de miel y productos derivados. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 4(1), 26–40. <https://doi.org/10.61767/mjte.004.1.2640>
4. Merton, R. K., & Kendall, P. L. (1946). The Focused interview. *American journal of Sociology*, 51(6), 541-557. <https://doi.org/10.1086/219886>
5. Nilsson, J. (2020). Producing consumers: Market researchers' selection and conception of Focus group participants. *Consumption Markets & Culture*, 23(4), 376–389. <https://doi.org/10.1080/10253866.2018.1549548>
6. Brendan, R., Sivo, S., Marissa, O., Ford, R., Jamie, M., David, B., & Eleanor Less, W. (2018). Online Focus groups: A valuable alternative for hospitality research? *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 30(11), 3175–3191. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-11-2017-0715>
7. Šedík, P., Hudcová, M., & Predanócyová, K. (2023). Exploring consumers' preferences and attitudes to honey: Generation approach in Slovakia. *Foods*, 12, 1941. <https://doi.org/10.3390/foods12101941>
8. Pocol, C. B., & Bolboaca, S. D. (2013). Perceptions and trends related to the consumption of honey: A case study of North-West Romania. *International Journal of Consumer Studies*, 37, 642–649. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12046>
9. Yang, H., Su, X., & Shion, K. (2023). Sustainable luxury purchase behavior in the post-pandemic era: A grounded theory study in China. *Frontiers in Psychology*, 14, 1260537. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1260537>
10. Bilici, F., & Seren, N. (2025). A Study on Consumers' Knowledge of Distinguishing Natural and Organic Honey. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 13(3), 545–552. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v13i3.545-552.718>

**Artículo de investigación**<https://doi.org/10.61767/mjte.004.2.3852>

Hurtado-Mariles et al., 2025

Recibido: 20-04-2025

Revisado: 02-05-2025

Aceptado: 05-07-2025

Publicado: 30-08-2025

Evaluación de nanoliposomas con extracto de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* (toronjil morado) en la modulación de la depresión

Evaluation of nanoliposomes with extract of *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* (purple lemon balm) in the modulation of depression

Alejandro Jonathan Hurtado-Mariles¹, Abigail Martínez-Jahuey², Alondra Isabela Torres-Martínez², Erika Adriana Villeda-Gutiérrez², Cristian Jiménez Martínez³, Yolanda de las Mercedes Gómez-y Gómez¹ y Marcos Ignacio Jiménez-Zúñiga^{3*}

¹ Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Departamento de Bioprocesos, Laboratorio de Farmacología, Ciudad de México 07340, México

² Universidad Tecnológica de Tecámac, División Químico Biológicas, Tecámac, Estado de México 55740, México

³ Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas Unidad Zacatenco, Laboratorio de Compuestos Bioactivos, Ciudad de México 07700, México

*Correspondencia: mjimenez.zuniga@hotmail.com

Resumen

La depresión afecta actualmente a 3.6 millones de adultos, y sus consecuencias para la salud pueden variar desde enfermedades físicas hasta el suicidio. Aunque se puede tratar mediante medicamentos y psicoterapia, en los últimos años se han explorado nuevas formas farmacéuticas que combinan extractos de plantas medicinales con efectos antidepresivos. El objetivo de esta investigación fue desarrollar nanoliposomas con extracto hidroalcohólico de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* (Toronjil Morado) y evaluar su capacidad antidepresiva. Los extractos se obtuvieron mediante el método Soxhlet, y posteriormente se identificaron y cuantificaron los fenoles, flavonoides, taninos y la capacidad antioxidante, mediante métodos colorimétricos y la cuantificación por el espectrofotómetro UV-VIS. Para evaluar la efectividad del extracto de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* como agente antidepresivo, se realizaron pruebas en nueve ratones utilizando la prueba de nado forzado. En la primera fase del experimento, se administraron diferentes tratamientos a los ratones: tres ratones recibieron el control negativo, a tres se les administraron 200 mg/kg de nanoliposomas con extracto y a los otros tres 10 mg/kg de imipramina. En la segunda fase, se repitieron las mismas dosis de



Artículo de investigación

Hurtado-Mariles et al., 2025

extracto y medicamento 20 horas después de la primera administración, 30 minutos antes de la segunda fase. Los resultados mostraron que los nanoliposomas cargados con extracto de *Agastache mexicana ssp. mexicana* fueron eficaces, ya que redujeron significativamente el tiempo de inmovilidad en la prueba de nado forzado en comparación con los ratones del grupo control positivo, lo que sugiere un efecto antidepresivo. Además, el tiempo de inmovilidad observado con el extracto fue similar al de los ratones tratados con imipramina. El tiempo promedio de inmovilidad registrado fue de 40.33 ± 5.85 segundos por cada 5 minutos. En conclusión, los resultados sugieren que *Agastache mexicana ssp. mexicana* conserva sus propiedades antidepresivas, atribuibles en parte a la presencia de flavonoides, los cuales, según diversas investigaciones, tienen efectos antidepresivos, entre otras propiedades farmacológicas.

Palabras clave: *Agastache mexicana ssp. mexicana*, antidepresivo, nanoliposomas.

Abstract

Depression currently affects 3.6 million adults, and its health consequences can range from physical illness to suicide. Although it can be treated by medication and psychotherapy, new pharmaceutical forms combining medicinal plant extracts with antidepressant effects have been explored in recent years. The objective of this research was to develop nanoliposomes containing hydroalcoholic extract of *Agastache mexicana ssp. mexicana* (Toronjil Morado) and to evaluate their antidepressant potential. The extracts were obtained by the Soxhlet method, and subsequently phenols, flavonoids, tannins and antioxidant capacity were identified and quantified by colorimetric methods and quantification by UV-VIS spectrophotometer. To evaluate the effectiveness of *Agastache mexicana ssp. mexicana* extract as an antidepressant agent, nine mice were tested using the forced swim test. In the first phase of the experiment, different treatments were administered to the mice: three mice received the control, three were given 200 mg/kg nanoliposomes with extract and the other three were given 10 mg/kg imipramine. In the second phase, the same doses of extract and drug were repeated 20 hours after the first administration, 30 minutes before the second phase. The results showed that nanoliposomes containing *Agastache mexicana ssp. mexicana* extract were effective, as they significantly reduced the immobility time in the forced swim test compared to mice in the control group, suggesting an antidepressant effect. Furthermore, the immobility time observed with the extract was similar to that of the imipramine-treated mice. The mean immobility time recorded was 40.33 ± 5.85 seconds per 5 minutes. In conclusion, the results suggest that *Agastache mexicana ssp. mexicana* conserves its antidepressant properties, attributable in part to the presence of flavonoids, which, according to several investigations, have antidepressant effects, among other pharmacological properties.

Keywords: *Agastache mexicana ssp. mexicana*, antidepressant, nanoliposomes.

1. Introducción

Los liposomas son pequeñas vesículas con forma esférica, constituidas por una doble capa lipídica,

usualmente compuesta por fosfolípidos. Estas vesículas suelen encapsular agua en su interior, formando un núcleo acuoso que está rodeado por las bicapas lipídicas. Esta estructura facilita la



Artículo de investigación

Hurtado-Mariles et al., 2025

encapsulación tanto de sustancias hidrofílicas como lipofílicas. Debido a que los lípidos son moléculas anfipáticas (poseen regiones hidrofóbicas e hidrofílicas), en ambientes acuosos, sus propiedades termodinámicas promueven el autoensamblaje, dando lugar a bicapas esféricas conocidas como láminas (Figueroa-Robles et al., 2020).

Gracias a estas características estructurales y funcionales, los liposomas han sido ampliamente estudiados como sistemas de liberación de compuestos bioactivos. Diversos estudios in vitro demuestran efectos comprobados de los liposomas cargados con compuestos fenólicos en el organismo. Este tipo de compuestos fenólicos poseen actividades comprobadas como anticancerígenas, antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas y neuroprotectoras. Factores como el tamaño de los liposomas, la temperatura de transición de fase, el pH, el potencial zeta, la bioaccesibilidad, la baja toxicidad, la velocidad de liberación y la capacidad antioxidante influyen en la eficacia de los liposomas (Figueroa-Robles et al., 2020).

En este contexto, resulta relevante considerar el impacto potencial de los compuestos fenólicos en la salud mental, particularmente en el tratamiento de trastornos como la depresión. La depresión es un trastorno mental frecuente que afecta a más de 300 millones de personas a nivel global. Según la Organización Mundial de la Salud, la depresión ocupa el tercer lugar como causa principal de carga mundial por enfermedades, y está vinculada a un mayor riesgo de mortalidad, suicidio y padecimientos crónicos, como enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2. Estudios recientes que analizan nutrientes específicos, alimentos y patrones dietéticos indican que la nutrición podría ser un factor modificable que influye en la salud mental. En este sentido, los polifenoles, compuestos naturales producidos exclusivamente por plantas como metabolitos secundarios, han cobrado especial interés. Con más de 8,000 estructuras identificadas, estos polifenoles se encuentran en altas concentraciones en alimentos vegetales

como frutas, verduras, hierbas, especias, cereales, legumbres, nueces, así como en bebidas y extractos vegetales (Gamage et al., 2023).

Considerando lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo general obtener un extracto hidroalcohólico de toronjil morado, encapsular sus compuestos bioactivos en nanoliposomas para mejorar su estabilidad y biodisponibilidad, y evaluar el efecto antidepresivo de esta formulación mediante la prueba de nado forzado en un modelo experimental. De esta manera, se buscó determinar la eficacia de los nanoliposomas como sistema de liberación para potenciar la actividad farmacológica del extracto, contribuyendo al desarrollo de alternativas naturales para el tratamiento de trastornos depresivos, mediante un enfoque innovador que combinó la nanotecnología con la farmacognosia.

2. Materiales y métodos

2.1 Obtención del extracto por el método de Soxhlet

Se colocaron 10 g de materia vegetal de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* (toronjil morado) en un dedal para Soxhlet. A continuación, se añadió una solución hidroalcohólica 1:1 como disolvente de extracción en un matraz balón de 500 mL. Se montó un condensador en el equipo de Soxhlet y se aplicó calor al matraz, manteniendo una temperatura aproximada de 85 °C. Se permitieron cuatro ciclos de extracción, tras los cuales se retiró el matraz balón. El líquido obtenido se decantó en un recipiente ámbar, el cual fue preparado para almacenar el extracto en un lugar fresco y oscuro (Espada Domínguez. et al., 2020).

2.2 Tamiz fisicoquímico

Las lecturas para la detección de fenoles, flavonoides y taninos se realizaron 24 horas después de llevar a cabo los ensayos cualitativos correspondientes. Todos los análisis del tamiz fitoquímico se realizaron por triplicado, siguiendo la metodología descrita por Zuniga et al., (2019).



Artículo de investigación

Hurtado-Mariles et al., 2025

2.2.1 Determinación de flavonoides

Se disolvieron 0.5 mL del extracto en 2 mL de etanol y se dividió en 3 tubos. El tubo número 1 fue el testigo. Al tubo número 2 se realizó la reacción de Shinoda, se agregaron 2 gotas de ácido clorhídrico concentrado (si hay color rojizo existe la presencia de auronas o chalconas). Si hay cambio, colocar 10 pequeños trozos de magnesio metálico (de naranja a rojo presencia de flavonas y si es magenta presencia de flavononas). Al tubo número 3 se realizó la reacción de hidróxido de sodio 10%, se adicionaron 3 gotas de hidróxido de sodio (coloración amarilla a rojo presencia de xantonas y flavonas, café a naranja de flavonoides; de púrpura a rojizo de chalconas y azul de antocianinas) (Zuniga *et al.*, 2019).

2.2.2 Determinación de fenoles

Se tomaron 100 μ L del extracto y se distribuyeron en 5 tubos de ensayo. A cada tubo se le añadieron 50 μ L de agua destilada, lo que permitió obtener una coloración amarilla. Los tubos fueron organizados de la siguiente manera: el primero sirvió como testigo; al segundo se le añadió 1 gota de cloruro férrico; al tercero, 2 gotas de cloruro férrico; al cuarto, 3 gotas de cloruro férrico; y al quinto, 4 gotas de cloruro férrico. La prueba se interpretó según los siguientes criterios: si no se observa cambio de color, no hay presencia de fenoles o taninos; si la coloración se torna azul oscuro, indica la presencia de fenoles o taninos pirogálicos (hidrosolubles); y si se observa un cambio a verde oscuro, sugiere la presencia de fenoles o taninos tipo catecol (flavonoides o taninos concentrados) (Zuniga *et al.*, 2019).

2.2.3 Determinación de taninos

A 1 mL del extracto se le añadieron 2 mL de agua destilada y 3 gotas de cloruro de sodio al 2%. La mezcla se calentó hasta ebullición durante 1 minuto, luego se enfrió y se filtró. El filtrado se dividió en 4 tubos de ensayo. El primer tubo sirvió como testigo. En el segundo tubo, se realizó la reacción con gelatina, añadiendo 2 gotas del reactivo de gelatina. La formación de un precipitado blanco indica la presencia de taninos.

En el tercer tubo, se llevó a cabo la reacción con cloruro férrico, añadiendo una gota de cloruro férrico al 1%. La formación de una coloración azul o negra sugiere la presencia de derivados del ácido gálico, mientras que un color verde indica la presencia de derivados del catecol. En el cuarto tubo, se adicionó 1 gota de ferricianuro de potasio al 1%, observándose una coloración azul, lo que indica la presencia de componentes fenólicos (Zuniga *et al.*, 2019).

2.3 Cuantificación de metabolitos secundarios

2.3.1 Cuantificación de fenoles

La cuantificación de fenoles totales se realizó siguiendo el método descrito previamente (Zuniga *et al.*, 2019). Para ello, se preparó una curva estándar con concentraciones de ácido gálico. A cada tubo se añadieron 100 μ L de los extractos previamente diluidos en una proporción 1:5, se agitaron en un Vortex Genie 2 y se dejaron en oscuridad durante 30 minutos antes de medir la absorbancia a 760 nm en un Espectrofotómetro PerkinElmer Lambda XLS. Los valores obtenidos se interpolaron en la curva estándar, expresando los resultados como concentración de fenoles totales en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra.

2.3.2 Cuantificación de taninos

La cuantificación de taninos se llevó a cabo utilizando el método modificado de Folin-Ciocalteu (Zuniga *et al.*, 2019). Para ello, se preparó una curva estándar con concentraciones de ácido tánico. A cada tubo de ensayo se añadieron 100 μ L de los extractos previamente diluidos, se agitaron en un Vortex Genie 2 y se dejaron reposar durante 40 minutos antes de medir la absorbancia a 725 nm en un Espectrofotómetro PerkinElmer Lambda XLS. Los valores obtenidos se interpolaron en la curva estándar, expresando los resultados como concentración de taninos en mg equivalentes de ácido tánico por gramo de muestra.

2.3.3 Cuantificación de flavonoides

La cuantificación de flavonoides totales se realizó siguiendo el método descrito previamente



Artículo de investigación

Hurtado-Mariles et al., 2025

(Zuniga *et al.*, 2019). Se preparó una curva estándar con concentraciones de quercetina. A cada tubo de ensayo se añadieron 500 μL de los extractos previamente diluidos, se agitaron en un Vortex Genie 2 y se dejaron reaccionar durante 30 minutos antes de medir la absorbancia a 415 nm en un Espectrofotómetro PerkinElmer Lambda XLS. Los valores obtenidos se interpolaron en la curva estándar, expresando los resultados como concentración de flavonoides totales en μg equivalentes de quercetina por gramo de muestra.

2.4 Cuantificación de la actividad antioxidante (AAO)

2.4.1 Cuantificación de la capacidad antioxidante por el método ABTS

La cuantificación de la actividad antioxidante se realizó mediante el método de ABTS. El radical ABTS se generó mediante la reacción de ABTS (7 mM) con persulfato potásico (2.45 mM), que se incubó a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C) y en oscuridad durante 16 horas. Una vez formado el radical, se tomó 1 mL de la solución y se diluyó con etanol hasta obtener una absorbancia entre 0.70 (± 0.01) a 734 nm. Todo el proceso se realizó en completa oscuridad.

Se preparó una curva estándar, y cada tubo fue agitado con un Vortex Genie 2. La absorbancia se midió a 734 nm, utilizando etanol como blanco. Se añadieron 40 μL de los extractos y 1960 μL del reactivo ABTS en los tubos de ensayo. Los tubos fueron agitados en un Vortex Genie 2 y se leyó la absorbancia a 734 nm en un Espectrofotómetro PerkinElmer Lambda XLS. Los valores obtenidos se interpolaron en la curva estándar de trolox, y los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición (Zuniga *et al.*, 2019).

2.4.2 Cuantificación de la capacidad antioxidante por el método DPPH

La cuantificación de la actividad antioxidante se realizó utilizando el método modificado de DPPH, el cual se basa en la reducción de la absorbancia del radical DPPH a 517 nm. Todo el proceso se llevó a cabo en total oscuridad. Se preparó una

curva estándar, y cada tubo fue agitado con un Vortex Genie 2. Luego, se dejó reposar durante 30 minutos y se midió la absorbancia a 517 nm, utilizando metanol como blanco.

Se añadieron 50 μL de los extractos y 2000 μL del reactivo DPPH en los tubos de ensayo. Los tubos fueron agitados en un Vortex Genie 2 y se dejaron reposar durante 30 minutos. Después, se midió la absorbancia a 517 nm en un Espectrofotómetro PerkinElmer Lambda XLS, y los valores obtenidos se interpolaron en la curva estándar de trolox, expresando los resultados como porcentaje de inhibición (Zuniga *et al.*, 2019).

2.5 Preparación de nanoliposomas

Los nanoliposomas se prepararon mediante el método de inyección, utilizando una fase orgánica y una fase acuosa, realizando las preparaciones por duplicado. La fase orgánica se obtuvo disolviendo 1 g de lecitina de soja, 200 μL de Tween 80%, 15 mL de alcohol etílico 96% y 1 g de extracto en alcohol etílico a 30 °C, siendo el extracto incluido únicamente en la primera preparación. La fase acuosa se preparó al 1% de gelatina. La fase acuosa se inyectó en la fase orgánica a un goteo de 200 $\mu\text{L}/\text{min}$, a 40 °C. La mezcla se homogeneizó a 3000 rpm utilizando un agitador magnético durante 15 min. Una vez homogenizadas las soluciones, se observaron al microscopio a un aumento de 100x para verificar la presencia de nanoliposomas (Alexander *et al.*, 2016).

Tras la obtención de los nanoliposomas, se procedió a analizar su morfología utilizando un microscopio de contraste de fases (Ni-U Nikon). Para ello, se capturaron micrografías empleando un objetivo de 40X y una cámara acoplada con aumento de 10X, lo que permitió observar detalladamente la estructura de los nanoliposomas. Posteriormente a la obtención de las micrografías, se utilizó el software ImageJ para visualizar y analizar la morfología y estructura de los nanoliposomas.



Artículo de investigación

Hurtado-Mariles et al., 2025

2.6 Espectroscopia FTIR a nanoliposomas

El análisis espectroscópico se realizó siguiendo la metodología descrita por Pereira *et al.*, (2014). Se estudiaron los nanoliposomas, tanto con extracto como sin él, mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, utilizando el accesorio ATR (Reflectancia Total Atenuada) en un Espectrómetro Perkin Elmer Spectrum Two. Se emplearon 50 μL de los nanoliposomas, los cuales fueron analizados en el rango de 4000 a 500 cm^{-1} .

2.7 Prueba de Nado Forzado (modelo *in vivo*)

Esta prueba constó de dos etapas. La primera consistió en una sesión de entrenamiento o pre-test, en la cual el ratón fue introducido en un cilindro durante 15 min. En esta fase, el animal aprendió que no tenía posibilidad de escapar y, por lo tanto, solo realizó los movimientos mínimos necesarios para mantenerse a flote (inmovilidad). Después de un período de movimiento vigoroso, el ratón adoptó una postura inmóvil, manteniendo la cabeza fuera del agua para respirar. Esta inmovilidad reflejó un estado de depresión y desesperación, el cual pudo ser revertido mediante un tratamiento con antidepresivos (Porsolt *et al.*, 1977a, b; Xu *et al.*, 2005; Dasilva *et al.*, 2006). El modelo propuesto por Porsolt *et al.* (1977) fue modificado. El equipo utilizado consistió en un cilindro de vidrio de 40 cm de altura por 19.5 cm de diámetro, con 35 cm de agua a una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Todos los animales fueron obligados a nadar durante 15 min (pre-test), seguido de una sesión de 5 min (prueba), que se realizó 24 horas después del pre-test (Murakami *et al.*, 2008). Los ratones fueron agrupados en lotes de 3 para cada tratamiento. Al finalizar el pre-test, el ratón fue retirado del cilindro, se secó con una toalla absorbente y se colocó en una caja con aserrín a una temperatura de $31 \pm 1^\circ\text{C}$ hasta que recuperó su temperatura corporal. Posteriormente, se administró la primera dosis de cada tratamiento, correspondiente a la primera latencia de administración, 24 h antes de la prueba. Cinco horas antes de las 24 h del pre-test, se administró la segunda dosis de cada tratamiento. Finalmente, una hora antes de las 24 h, se administró la tercera dosis. De esta manera, se

completó el ciclo de administración de tres dosis. La segunda parte del experimento se llevó a cabo 24 h después del pre-test, momento en el que el ratón fue introducido nuevamente en el cilindro con agua y permaneció allí durante 5 minutos. Los ratones fueron grabados en video para su posterior análisis. El uso y cuidado de los animales se llevó a cabo siguiendo los lineamientos establecidos en la NOM-062-ZOO-1999 que establece las especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. El presente estudio fue realizado de acuerdo con los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki y contó con la aprobación del Comité de Ética e Investigación (CEI) – Comité Interno para el Cuidado y Uso de los Animales de Laboratorio (CICUAL) de la Universidad Tecnológica de Tecámac, bajo el número de registro DQB/003/2025.

2.8 Análisis estadístico

Los resultados se expresan como la media \pm la desviación estándar de los datos. El análisis estadístico de los datos se realizó mediante un análisis de varianza unidireccional ANOVA seguido de las múltiples pruebas de comparación de Dunnet. El nivel de significancia en comparación con el control ($P < 0,05$) se consideró para cada prueba, utilizando el software GraphPad Prisma 5.

3. Resultados y discusión

En el análisis fitoquímico se detectó la presencia de fenoles, taninos y flavonoides en el extracto hidroalcohólico de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* (toronjil morado) (tabla 1).

En el presente trabajo, los resultados obtenidos fueron positivos respecto a la presencia de compuestos fenólicos, destacando la identificación de fenoles tipo catecol, flavonoides tipo flavonas y otros flavonoides, así como taninos tipo catecol en el extracto hidroalcohólico de toronjil morado. El toronjil morado (*Agastache mexicana* ssp. *mexicana*), perteneciente a la familia *Lamiaceae*, es una planta medicinal conocida por su alto contenido de metabolitos secundarios, entre los que se destacan los



Artículo de investigación

Hurtado-Mariles et al., 2025

flavonoides, fenoles y terpenoides, responsables de sus propiedades farmacológicas. Entre los compuestos activos identificados se encuentran flavonoides como la acacetina, luteolina y diosmetina; terpenoides volátiles como la mentona, pulegona, limoneno y citronelal; así como compuestos fenólicos como los ácidos rosmarínico y cafeico, reconocidos por sus efectos antioxidantes y neuroprotectores (Nechita *et al.*, 2023).

En el extracto se detectó la presencia de fenoles del tipo catecol, compuestos fenólicos ampliamente reconocidos como metabolitos secundarios. Estos compuestos derivan de un fenol, que consiste en un anillo aromático unido a un grupo hidroxilo. Asimismo, se identificaron flavonoides, destacando especialmente las flavonas. Los flavonoides son compuestos presentes en diversas plantas y desempeñan múltiples funciones biológicas, tales como la resistencia a la fotoxidación, la protección contra infecciones virales y fúngicas, la regulación del transporte hormonal y, de manera relevante, su papel en la atracción de insectos polinizadores, lo

que favorece la reproducción vegetal (Estrada *et al.*, 2012). Además de sus beneficios para la planta, estos compuestos ofrecen importantes ventajas para la salud humana. Se ha demostrado que los flavonoides poseen propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas, cardiotónicas, analgésicas, antivirales y antifúngicas. Investigaciones recientes también han revelado que, gracias a su acción antioxidante, los flavonoides pueden prevenir enfermedades cardiovasculares, ciertos tipos de cáncer y proteger el sistema nervioso central de efectos dañinos.

En la tabla 2 se presenta la cuantificación de los metabolitos secundarios presentes en el extracto hidroalcohólico, donde se observa un aumento en los niveles de fenoles y taninos. Además, se incluyen los resultados de la actividad antioxidante, determinada mediante los métodos ABTS y DPPH, los cuales muestran que el extracto posee un porcentaje de inhibición de la capacidad antioxidante superior al 90%.

Tabla 1. Composición de metabolitos secundarios en el extracto hidroalcohólico de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* (toronjil morado).

Metabolito secundario	Reacción	Extracto hidroalcohólico de toronjil morado
Flavonoides	Shinoda	+ flavonas
	Hidróxido de sodio al 10 %	+ flavonoides
Fenoles	Cloruro férrico	+ fenoles o taninos de tipo catecol
Taninos	Cloruro férrico	+ derivados de catecol

Tabla 2. Análisis cuantitativo de metabolitos secundarios y capacidad antioxidante (DPPH, ABTS).

Extracto	Metabolito secundario	Cuantificación
Toronjil morado	Fenoles	mg equivalentes de ácido gálico /g 8.127±0.050
	Flavonoides	mg equivalentes de quercetina/g 0.025±0.013
	Taninos	mg equivalentes de ácido tánico/g 0.745±0.0130
Radical	Capacidad antioxidante %	Concentración trolox (mM/mL)
ABTS	98.7197±0.8534	0.0483±0.0004
DPPH	94.9404±0.0644	0.0488±0.00003



Artículo de investigación

Hurtado-Mariles et al., 2025

Por lo tanto, se cuantificaron los metabolitos secundarios presentes en el extracto de toronjil morado, incluyendo flavonoides, fenoles y taninos, así como la actividad antioxidante mediante los métodos ABTS y DPPH. En la Tabla 2 se muestra la concentración de fenoles expresada en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra. De acuerdo con Zuniga *et al.*, (2019), el contenido de fenoles reportado fue de 0.933 ± 0.105 mg eq/g de ácido gálico, mientras que en los resultados obtenidos en el presente trabajo se observó un valor mayor, de 8.127 ± 0.050 mg eq de ácido gálico/g. Esta diferencia podría atribuirse al método de extracción y la polaridad del solvente utilizado en la extracción. Por otro lado, en la tabla 2 se muestra la concentración de taninos expresada en mg equivalentes de ácido tánico por gramo de muestra. Los resultados obtenidos en este estudio fueron de 0.745 ± 0.0130 mg eq de ácido tánico/g, en comparación, Zuniga *et al.*, (2019) reportó un valor de 0.204 ± 0.0004 mg eq de ácido tánico /g en un extracto etanólico, lo que evidencia una diferencia considerable con los resultados de este trabajo. Esta variación podría estar relacionada con el estado de madurez de la planta. Por otro lado, de acuerdo con la tabla 2 se muestra la concentración de flavonoides expresada en mg equivalentes de quercetina por gramo de muestra. Los resultados obtenidos en este estudio sobre el extracto hidroalcohólico de *Agastache mexicana ssp. mexicana* alcanzó una concentración de flavonoides de 0.025 ± 0.013 mg eq equivalentes de quercetina /g. Al comparar este resultado con el reportado por Zuniga *et al.*, (2019), que obtuvo 0.110 ± 0.00001 , se observa una diferencia notable, siendo el valor de Zuniga *et al.*, (2019) considerablemente menor. Esta discrepancia podría explicarse por las diferencias en la polaridad de los solventes utilizados en el proceso de extracción de los metabolitos secundarios, la madurez de la planta y los solventes utilizados durante el proceso de extracción.

El extracto de *Agastache mexicana ssp. mexicana*, comúnmente conocido como toronjil morado, demostró una destacada capacidad antioxidante, según los resultados obtenidos mediante los métodos ABTS y DPPH. En el ensayo ABTS, alcanzó un valor de 98.72 ± 0.85 %, mientras que en el método DPPH obtuvo 94.94 ± 0.06 %, lo que refleja una elevada actividad antioxidante, comparable con la reportada en otras especies pertenecientes a la misma familia. En el caso del método ABTS, que mide la capacidad de los compuestos para neutralizar el radical catiónico ABTS, los resultados obtenidos sugieren una potente acción antioxidante, lo que coincide con estudios previos que han destacado la presencia de flavonoides y compuestos fenólicos en *Agastache mexicana ssp. mexicana*, conocidos por su capacidad de capturar radicales libres (Zuniga *et al.*, 2019). Estos compuestos son responsables de la reducción del daño celular y el estrés oxidativo, factores asociados con diversas enfermedades crónicas. Por otro lado, el método DPPH, que evalúa la habilidad del extracto para reducir el radical libre DPPH, también reflejó una capacidad antioxidante significativa. Ambos métodos coinciden en el potencial de la planta para neutralizar especies reactivas de oxígeno, lo que respalda su uso tradicional como agente terapéutico. Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que el toronjil morado podría tener aplicaciones en la prevención de enfermedades relacionadas con el daño oxidativo (Zuniga *et al.*, 2019).

En la Figura 1 se presentan los datos del tiempo de inmovilidad de la actividad antidepresiva de los nanoliposomas cargados con extracto hidroalcohólico de toronjil morado, el tiempo de inmovilidad de los ratones a los que se les administro los nanoliposomas con el extracto hidroalcohólico de *Agastache mexicana ssp. mexicana* fue mucho menor en comparación con el control, y también menor que al grupo que se le administro Imipramina (control positivo, fármaco antidepresivo).



Artículo de investigación

Hurtado-Mariles et al., 2025

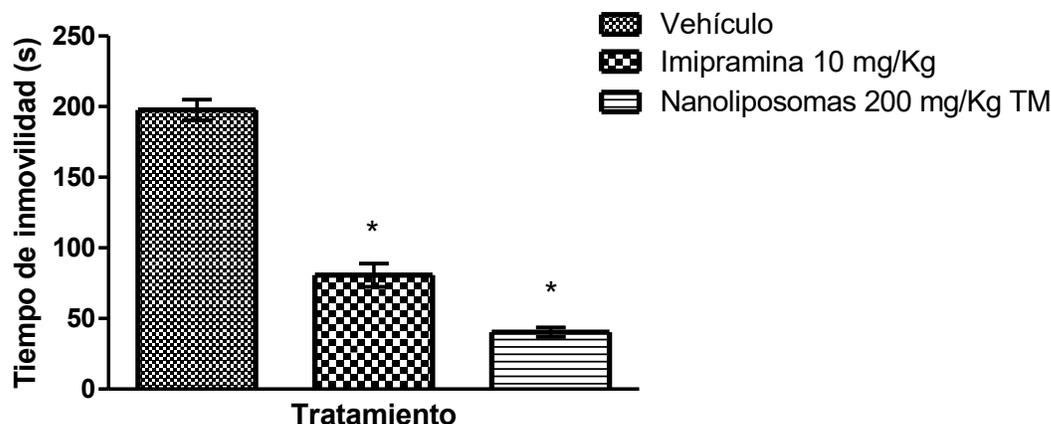


Figura 1. Tiempo de inmovilidad de los nanoliposomas del extracto de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* a dosis de 200 mg/Kg, Imipramina 10 mg/kg y vehículo, los valores indican la media \pm DS con una $n=3$ en cada grupo con una $p<0.05^{**}$ en comparación con el vehículo.

En la Figura 1 se presentan los resultados obtenidos en la prueba de nado forzado, en la cual se evaluó el tiempo de inmovilidad de los tratamientos administrados en un modelo *in vivo*. Los nanoliposomas que contienen el extracto de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* mostró un tiempo de inmovilidad significativamente menor (40.33 ± 5.85 s/5 min) en comparación con el observado para la imipramina (80.66 ± 14.15 s/5 min). Estos resultados indican que existe una diferencia significativa entre el tratamiento con nanoliposomas y el grupo vehículo.

La prueba de nado forzado, que evalúa la desesperanza conductual, se basa en la reducción de la inmovilidad como indicador de actividad antidepresiva. En esta prueba, se registran comportamientos activos como la natación, el escalamiento y el buceo dentro de un cilindro con agua. La administración de fármacos antidepresivos generalmente disminuye el tiempo de inmovilidad, lo que sugiere una posible actividad antidepresiva del extracto. No obstante, se recomienda realizar pruebas complementarias que evalúen la desesperanza, con el fin de descartar posibles falsos positivos o negativos (Molendijk *et al.*, 2015). Diversos estudios han demostrado que muchos flavonoides poseen

efectos farmacológicos, especialmente con actividad neuroprotectora y antitumoral. Recientemente, se ha evidenciado que los flavonoides extraídos de plantas naturales también presentan efectos antidepresivos, tanto en estudios celulares como en modelos animales. Estos efectos se han asociado con la modulación de neurotransmisores como la serotonina (5-HT), noradrenalina (NA), dopamina (DA) y el ácido 5-hidroxiindolacético (5-HIAA) (Haq *et al.*, 2021). Con base en los resultados de la prueba de nado forzado, se sugiere que el extracto de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* podría ejercer un efecto similar al de los antidepresivos convencionales, al reducir el tiempo de inmovilidad y aumentar la actividad motora en los ratones. Sin embargo, aún no se ha determinado el mecanismo de acción exacto, y no se ha confirmado si los flavonoides presentes en esta especie actúan sobre los mismos receptores serotoninérgicos que los fármacos antidepresivos.

En la Figura 2 se presentan los datos del tiempo de nado de la actividad antidepresiva de los nanoliposomas cargados con extracto hidroalcohólico de toronjil morado, el tiempo de nado de los ratones a los que se les administro los nanoliposomas con el extracto hidroalcohólico de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* fue menor en



Artículo de investigación

Hurtado-Mariles et al., 2025

comparación con el control, y mayor que al grupo que se le administró Imipramina (control positivo, fármaco antidepresivo).

En la Figura 2 se muestra el tiempo de nado registrado en ratones tratados con nanoliposomas encapsulados con extracto de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana*, el cual fue de 97.66 ± 17.38 s/5 min. En comparación, el grupo tratado con imipramina a una dosis de 10 mg/kg presentó un tiempo de nado de 139 ± 32.41 s/5 min. Por otro lado, el grupo control tratado con el vehículo mostró un tiempo significativamente menor, de 84 ± 8.71 s/5 min. Estos resultados indican que tanto el tratamiento con nanoliposomas como el de imipramina mejoran el desempeño en la prueba de nado forzado, al aumentar significativamente el tiempo de nado en comparación con el grupo vehículo. El grupo tratado con imipramina a una dosis de 10 mg/kg mostró una diferencia significativa en el tiempo de nado en comparación con los demás

grupos. Esta variación sugiere que la administración de imipramina pudo haber influido en la capacidad de los ratones para nadar, posiblemente como resultado de un aumento en la motivación o en la actividad física inducida por el fármaco. Al comparar estos resultados con los reportados por Robles Molina et al., (2014), se observa una coincidencia parcial en los efectos observados, lo cual respalda la validez de los datos obtenidos en el presente estudio. No obstante, es importante tener en cuenta que, si bien se evidencian diferencias en los tiempos de nado, diversos factores podrían haber influido en los resultados, tales como la variabilidad biológica entre los animales, las condiciones experimentales y la dosificación utilizada. Por ello, se sugiere realizar estudios adicionales que incluyan un mayor tamaño de muestra y diferentes concentraciones de imipramina, con el propósito de confirmar y ampliar los hallazgos obtenidos.

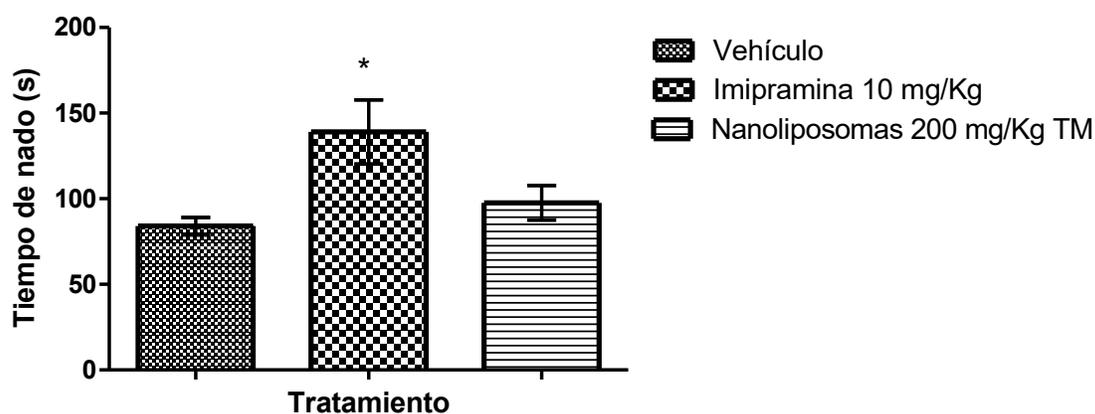


Figura 2. Tiempo de nado de los nanoliposomas del extracto de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* a dosis de 200 mg/Kg, Imipramina 10 mg/kg y vehículo, los valores indican la media \pm DS con una $n=3$ en cada grupo con una $p < 0.05^{**}$ en comparación con el vehículo.

En la figura 3 se muestran los nanoliposomas observados mediante microscopía de contraste de fases. Según el análisis del área superficial realizado con el software ImageJ, se obtuvieron valores promedio de 0.0063 ± 0.00013 cm². Dependiendo de la técnica empleada para la

elaboración de los nanoliposomas, se observaron superficies de 0.0076 y 0.0050 cm², lo cual podría atribuirse al método de goteo utilizado durante su obtención. Además, la presencia del compuesto bioactivo, que consiste en un conglomerado de múltiples metabolitos



Artículo de investigación

Hurtado-Mariles et al., 2025

secundarios de la planta, puede generar variabilidad en las áreas superficiales. Según Lindner et al. (2010), los liposomas con mayor área superficial tienden a liberar el fármaco más rápidamente en respuesta a ciertos estímulos, debido a su menor estabilidad y a una mayor susceptibilidad a interacciones externas. Se ha demostrado que el aumento en el tamaño de la superficie puede modificar tanto los tiempos de liberación como la retención del fármaco en el medio. Según Jaudoin et al. (2023), un menor tamaño y área superficial de los liposomas favorece una liberación más rápida de los principios activos. Por el contrario, un aumento en el tamaño de la superficie puede dificultar la liberación de las biomoléculas activas provenientes de diversas fuentes biológicas. Además, para optimizar la liberación, el tamaño de las partículas liposomales debe ser aproximadamente igual o inferior a 200 nm.

En la Figura 4 se observan los resultados de Espectroscopia FTIR de las muestras analizadas

de nanoliposomas (base), nanoliposomas con extracto y el extracto hidroalcohólico de toronjil morado.

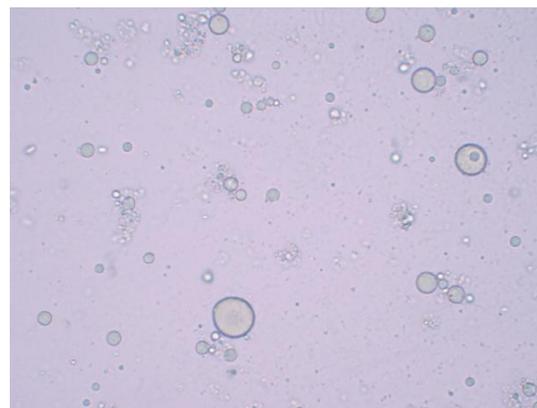


Figura 3. Nanoliposomas observados mediante microscopía de contraste de fases, donde se aprecian vesículas esféricas de diferentes tamaños dispersas en el campo visual.

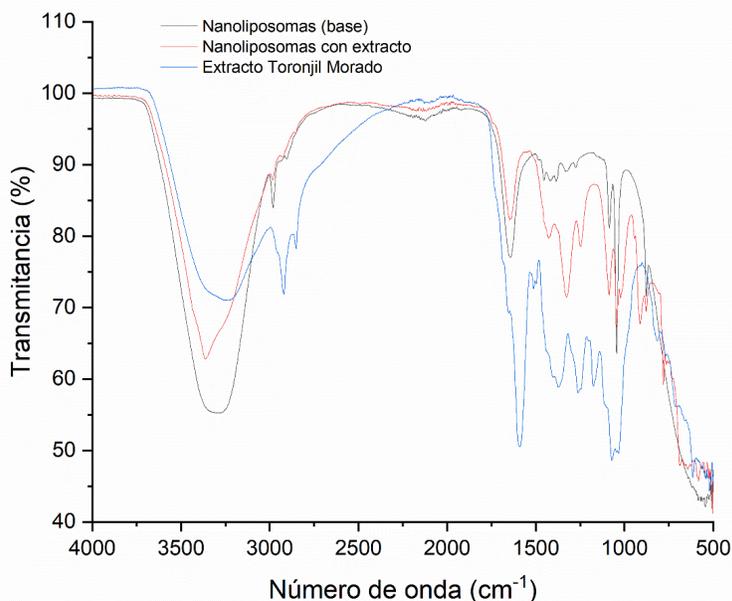


Figura 4. Perfil espectroscópico FTIR de nanoliposomas sin carga, con extracto y del extracto hidroalcohólico de toronjil morado.



Artículo de investigación

Hurtado-Mariles et al., 2025

En la Figura 4 se observan los enlaces los resultados de los grupos funcionales encontrados en las nanoliposomas (base), nanoliposomas con extracto de toronjil morado y el extracto hidroalcohólico de toronjil morado. De acuerdo con Cuesta *et al.*, (2015), la técnica de espectroscopía infrarroja (IR) no se emplea de manera rutinaria para la identificación específica de flavonoides. No obstante, esta técnica permite detectar la presencia de grupos funcionales característicos, como los grupos fenólicos, los cuales se pueden identificar en la región comprendida entre 3500 y 3300 cm^{-1} . De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, se observó una señal en ese rango, correspondiente a la vibración de elongación del grupo hidroxilo ($-\text{OH}$), lo que sugiere la presencia de compuestos fenólicos en la muestra analizada. Los flavonoides se caracterizan por presentar bandas de absorción asociadas a los grupos funcionales que los componen, entre los que destacan los grupos hidroxilo ($-\text{OH}$), propios de fenoles y alcoholes, el grupo carbonilo ($\text{C}=\text{O}$) de cetonas, anillos bencénicos y estructuras de éter cíclico (Matos *et al.*, 2007). Tal como se muestra en la Figura 4, el extracto de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* presentó señales correspondientes a estos grupos funcionales. Estos resultados se ven respaldados por el tamiz fitoquímico, en el cual se obtuvo una reacción positiva para flavonoides. De acuerdo con Cruz (2014), la banda de absorción en 2854 cm^{-1} corresponde a las vibraciones asimétricas de los enlaces CH_2 y CH_3 , grupos funcionales presentes en diversos flavonoides, entre ellos la rutina. Al comparar esta información, se identificó una señal correspondiente al grupo CH_2 , lo que sugiere la posible presencia de dicho flavonoide en el extracto analizado.

4. Conclusiones

Los nanoliposomas con extracto hidroalcohólico de *Agastache mexicana* ssp. *mexicana* (toronjil morado) demuestran un alto potencial terapéutico, evidenciado por su riqueza en compuestos fenólicos y flavonoides, su notable capacidad antioxidante y sus efectos antidepresivos comparables a los de un fármaco

convencional. Estos hallazgos respaldan su uso tradicional y sugieren que el toronjil morado podría ser una fuente natural valiosa para el desarrollo de nuevos agentes antioxidantes y antidepresivos, aunque se requieren investigaciones adicionales para confirmar y ampliar estos resultados.

Agradecimientos

Al Programa Especial de Consolidación de Investigadores del IPN por el proyecto 20250922. Al Laboratorio de Farmacología del Departamento de Bioprocesos de la UPIBI-IPN por las facilidades prestadas para realizar los experimentos. Al CONAHCYT y la SECIHTI por el otorgamiento de beca posdoctoral.

Declaraciones y afirmaciones

Fondos: Al Programa Especial de Consolidación de Investigadores del IPN por el proyecto 20250922.

Conflicto de interés: Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Aprobación de ética: Aprobación con el código DQB/003/2025, aprobado por el comité de ética e investigación (CEI) – comité interno para el cuidado y uso de los animales de laboratorio (CICUAL) de la Universidad Tecnológica de Tecámac.

Disponibilidad de los datos: Contactar a los autores en caso de requerir las bases de datos de esta investigación.

Contribución de los autores:

Alejandro Jonathan Hurtado-Mariles: Conceptualización, Recursos, Curación de datos, Redacción-revisión-edición, Supervisión y administración del proyecto.

Abigail Martínez-Jahuey: Metodología, Investigación.



Artículo de investigación

Hurtado-Mariles et al., 2025

Alondra Isabel Torres-Martínez: Metodología, Investigación.

Erika Adriana Villeda-Gutiérrez: Curación de datos, Redacción-revisión-edición.

Cristian Jiménez-Martínez: Análisis formal, Supervisión, Supervisión y administración del proyecto.

Yolanda de las Mercedes Gómez-y Gómez: Análisis formal, Recursos, Supervisión, Supervisión y administración del proyecto.

Marcos Ignacio Jiménez-Zuñiga: Conceptualización, Software, Recursos, Curación de datos, Redacción-revisión-edición, Supervisión y administración del proyecto.

Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final del artículo.

Referencias

- Alexander, A., Ajazuddin, N., Patel, R. J., Saraf, S., & Saraf, S. (2016). Recent expansion of pharmaceutical nanotechnologies and targeting strategies in the field of phytopharmaceuticals for the delivery of herbal extracts and bioactives. *Journal Of Controlled Release*, 241, 110-124. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.09.017>
- Cruz, J. E. (2014). *Determinación de fenoles y flavonoides en extractos de hojas de plantas con actividad antioxidante empleando espectroscopia FTIR y análisis multivariado* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, CIBA, Tlaxcala].
- Cuesta, O., Márquez, I., & Campo, M. (2015). *Introducción a la caracterización estructural de flavonoides*. Universidad Técnica de Machala.
- Dasilva, A., Deandrade, J., Bevilaqua, L., Desouza, M., Izquierdo, I., Henriques, A., & Zuanazzi, J. (2006). Anxiolytic-, antidepressant- and anticonvulsant-like effects of the alkaloid montanine isolated from *Hippeastrum vittatum*. *Pharmacology Biochemistry And Behavior*, 85(1), 148-154. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2006.07.027>
- Díaz-Montes, E., Cerón-Montes, G. I., & Vargas-León, E. A. (2023). Encapsulación de compuestos bioactivos: una revisión sistemática. *PÄDI Boletín Científico de Ciencias Básicas E Ingenierías del ICBI*, 10(20), 17-28. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i20.9575>
- Espada Domínguez, L., Ferrer Serrano, A., Padró Rodríguez, L., Arias Rosales, L., & León Duharte, L. (2020). *Dendropanax arboreus: Estudio fitoquímico de la savia del tronco*. *Revista Cubana de Química*, 32(1), 74-87.
- Estrada-Reyes, R., Ubaldo-Suárez, D., & Araujo-Escalona, A. G. (2012). Los flavonoides y el Sistema Nervioso Central. *Salud Mental*, 35(5), 375-384. <https://www.medigraphic.com/pdfs/salmen/sam-2012/sam125d.pdf>
- Ezhilarasi, P. N., Karthik, P., Chhanwal, N., & Anandharamakrishnan, C. (2012). Nanoencapsulation Techniques for Food Bioactive Components: A Review. *Food And Bioprocess Technology*, 6(3), 628-647. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0944-0>
- Figueroa-Robles, A., Antunes-Ricardo, M., & Guajardo-Flores, D. (2020). Encapsulation of phenolic compounds with liposomal improvement in the cosmetic industry. *International Journal Of Pharmaceutics*, 593, 120125. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.120125>
- Gamage, E., Orr, R., Travica, N., Lane, M. M., Dissanayaka, T., Kim, J. H., Grosso, G., Godos, J., & Marx, W. (2023). Polyphenols as novel interventions for depression: Exploring the efficacy, mechanisms of action, and



Artículo de investigación

Hurtado-Mariles et al., 2025

- implications for future research. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 151, 105225. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.105225>
11. Haq, S., Grondin, J. A., & Khan, W. I. (2021). Tryptophan-derived serotonin-kynurenine balance in immune activation and intestinal inflammation. *The FASEB Journal*, 35(10). <https://doi.org/10.1096/fj.202100702r>
 12. Jaudoin, C., Gehrke, M. M., Grillo, I., Cousin, F., Ouldali, M., Arteni, A., Ferrary, E., Siepmann, F., Siepmann, J., Simelière, F., Bochot, A., & Agnely, F. (2023). Release of liposomes from hyaluronic acid-based hybrid systems: Effects of liposome surface and size. *International Journal Of Pharmaceutics*, 648, 123560. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.123560>
 13. Lindner LH, Hossann M. Factors affecting drug release from liposomes. *Curr Opin Drug Discov Devel.* (2010) Jan;13(1):111-23. PMID: 20047152.
 14. Matos, S., Legrá, S., Ortega, G. M., Bermello, A., Guerra, M., Michelena, G. L., ... & Crespo, D. (2007). Estudios de separación y caracterización de pigmento en caldos de fermentación de *Botryodiplodia theobromae*. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 41(3), 27-34.
 15. Molendijk, M. L., & De Kloet, E. R. (2015). Immobility in the forced swim test is adaptive and does not reflect depression. *Psychoneuroendocrinology*, 62, 389-391. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2015.08.028>
 16. Murakami, T., Yamane, H., Tomonaga, S., & Furuse, M. (2008). Forced swimming and imipramine modify plasma and brain amino acid concentrations in mice. *European Journal Of Pharmacology*, 602(1), 73-77. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2008.10.049>
 17. Nechita, M., Toiu, A., Benedec, D., Hanganu, D., Ielciu, I., Oniga, O., Nechita, V., & Oniga, I. (2023). Agastache Species: A Comprehensive Review on Phytochemical Composition and Therapeutic Properties. *Plants*, 12(16), 2937. <https://doi.org/10.3390/plants12162937>
 18. Pereira, V. A., De Arruda, I. N. Q., & Stefani, R. (2014). Active chitosan/PVA films with anthocyanins from *Brassica oleraceae* (Red Cabbage) as Time-Temperature Indicators for application in intelligent food packaging. *Food Hydrocolloids*, 43, 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.05.014>
 19. Porsolt, R. D., Pichon, M. L., & Jalfre, M. (1977). Depression: a new animal model sensitive to antidepressant treatments. *Nature*, 266(5604), 730-732. <https://doi.org/10.1038/266730a0>
 20. Porsolt RD, Bertin A, Jalfre M. Behavioral despair in mice: a primary screening test for antidepressants. (1977). *Arch Int Pharmacodyn Ther.* Oct;229(2):327-36.
 21. Ribeiro, A. M., Shahgol, M., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2020). Microencapsulation of Vitamin A by spray-drying, using binary and ternary blends of gum arabic, starch and maltodextrin. *Food Hydrocolloids*, 108, 106029. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106029>
 22. Robles Molina, H., & Sanchez Meza, J. C. (2014). Estudio Del Efecto Antidepresivo De Imipramina En Combinación Con Rapamicina (Neuroprotector) En El Modelo De Depresión Inducida Por El Nado Forzado.
 23. Tolve, R., Galgano, F., Caruso, M. C., Tchuembou-Magaia, F. L., Condelli, N., Favati, F., & Zhang, Z. (2016). Encapsulation of health-promoting ingredients: applications in foodstuffs. *International Journal Of Food*



Artículo de investigación

Hurtado-Mariles et al., 2025

Sciences And Nutrition, 67(8), 888-918.
<https://doi.org/10.1080/09637486.2016.1205552>

24. Xu, Y., Ku, B., Yao, H., Lin, Y., Ma, X., Zhang, Y., & Li, X. (2005). The effects of curcumin on depressive-like behaviors in mice. *European Journal Of Pharmacology*, 518(1), 40-46.
<https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2005.06.002>
25. Zuniga, M. I. J., Mariles, A. J. H., Flores, J. L. C., Herrera, J. A. M., Sotelo, M. G. R., Montes, G. I. C., & De las Mercedes Gomez y Gomez, Y. (2019). Antidepressant-Like Effects of *Dracocephalum moldavica* L. in Mouse Models of Immobility Tests. *Pharmacognosy Journal*, 11(5), 976-983.
<https://doi.org/10.5530/pj.2019.11.154>



Artículo de investigación

<https://doi.org/10.61767/mjte.004.2.5367>

López-Martínez et al., 2025

Recibido: 12-06-2025

Revisado: 17-07-2025

Aceptado: 13-08-2025

Publicado: 30-08-2025

Descriptorios sensoriales de hongos endémicos *Hypomyces lactifluorum* y *Lactarius indigo* s.l. de Acaxochitlán, Hidalgo, México

Sensory Descriptors of Endemic Fungi *Hypomyces* *lactifluorum* and *Lactarius indigo* s.l. from Acaxochitlan, Hidalgo, Mexico

María de los Ángeles López-Martínez¹, Paul Misael Garza-López¹, Víctor León Espitia-López¹ y Josefa Espitia-López^{1*}

¹ Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias Hidalgo, Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales, México, CP 43600

*Correspondencia: josefa_espitia11153@uaeh.edu.mx

Resumen

Los hongos comestibles silvestres (HCS) son parte fundamental del patrimonio biocultural y genético de México, pues alberga cerca de 200,000 especies, las cuales son valoradas por sus propiedades nutricionales, funcionales y sensoriales. La presente investigación analizó los descriptorios sensoriales de dos especies endémicas recolectadas en el municipio de Acaxochitlán, Hidalgo: *Hypomyces lactifluorum* y *Lactarius indigo* s.l. (sensu lato), seleccionadas por ser las especies más ocupadas en la gastronomía local, por sus características sensoriales. Para fines comparativos, se incluyeron dos especies cultivadas comercialmente (*Pleurotus ostreatus* y *Agaricus bisporus*). Para el estudio se aplicó la metodología Check-all-that-apply (CATA) con 50 jueces no entrenados, quienes analizaron una lista de atributos creada con base en una búsqueda bibliográfica y agrupadas en tres categorías: textura, sabor y aroma. El análisis estadístico se realizó mediante una prueba de Q de Cochran y Análisis de Correspondencias Múltiples (MCA) por pares mediante el procedimiento de diferencia crítica (Sheskin) para cada categoría, mediante el software XLSTAT® 2024.4 Sensory. En resultados, *H. lactifluorum* destacó por su textura carnosa, sabores a marisco, nuez, acre, almendra, dulce y zanahoria cocida, así como aromas a miel, harina húmeda y floral. *L. indigo* s.l. presentó sabores amargos debido a los alcaloides existentes en esta especie, además de aromas terrosos y metálicos. Los resultados evidencian la complejidad sensorial de estos HCS frente a especies cultivadas, resaltando su valor en la gastronomía local y su relevancia para la conservación de la biodiversidad micológica.



Artículo de investigación

López-Martínez et al., 2025

Palabras clave: Hongos comestibles silvestres, alimentos funcionales, atributos sensoriales, micogastronomía.

Abstract

Wild edible mushrooms (WEM) are a fundamental part of Mexico's biocultural and genetic heritage, as the country is home to nearly 200,000 species, which are valued for their nutritional, functional, and sensory properties. This research analyzed the sensory descriptors of two endemic species collected in the municipality of Acaxochitlán, Hidalgo: *Hypomyces lactifluorum* and *Lactarius indigo s.l.*, selected for being the species most used in local cuisine due to their sensory characteristics. For comparative purposes, two commercially cultivated species (*Pleurotus ostreatus* and *Agaricus bisporus*) were included. For the study, the Check-all-that-apply (CATA) methodology was employed with 50 untrained judges, who analyzed a list of attributes created through a bibliographic search and grouped into three categories: texture, flavor, and aroma. Statistical analysis was performed using Cochran's Q test and Multiple Correspondence Analysis (MCA) by pairs, employing the critical difference procedure (Sheskin) for each category, as implemented in XLSTAT 2024.4 Sensory software. In the results, *H. lactifluorum* stood out for its meaty texture, flavors of seafood, walnut, acrid, almond, sweet, and cooked carrot, as well as aromas of honey, damp flour, and floral. *L. indigo s.l.* presented bitter flavors due to the alkaloids present in this species, in addition to earthy and metallic aromas. The results demonstrate the sensory complexity of these WEM compared to cultivated species, highlighting their value in local cuisine and their relevance for the conservation of mycological biodiversity.

Keywords: Wild edible mushrooms, functional foods, sensory attributes, micogastronomy.

1. Introducción

Los hongos comestibles silvestres (HCS) han formado parte de la dieta de comunidades originarias desde hace 6,000 años, son tan relevantes en la historia de la humanidad que los romanos se referían a ellos como "alimento de los Dioses". Actualmente se cultivan en más de 100 países y China es responsable del 70% de la producción mundial (Barroetaveña, 2024; Reséndiz, 2023; Yuan, 2022). La importancia de los HCS radica en que tienen múltiples beneficios en sustentabilidad, pues generan relación simbiótica con las raíces de muchas especies vegetales (Merino, 2025), nutricional, ya que tienen altas concentraciones de proteína, fibra, vitaminas D y B, aminoácidos esenciales y compuestos bioactivos, necesarios para cubrir funciones fisiológicas humanas, lo que los convierte en alimentos funcionales (Estrada, 2025; Reséndiz, 2023); por estas propiedades los

HCS son ocupados para el tratamiento de algunas enfermedades, como es el caso de *Lentinula edodes* (Shiitake en China) que se utiliza en el tratamiento para disminuir los síntomas de cáncer gástrico, carcinoma de laringe y adenocarcinoma cervical (Morales, 2024) y por último sus atributos sensoriales variados en aroma, sabor, color, forma y textura que los convierte en un ingrediente atractivo para la gastronomía gourmet y de alto valor comercial, puesto que algunos presentan sabores que incluyen frutales, florales, grasos y tostados (Barroetaveña, 2024; Jiang, 2023; Zhang, 2021).

Hoy en día, debido a nuevos patrones de consumo y la fragilidad de la seguridad alimentaria debido al cambio climático, la sociedad (en especial la urbana) demanda alimentos naturales no sólo de buen sabor e inocuos, sino que además sean nutritivos, con



Artículo de investigación

López-Martínez et al., 2025

propiedades benéficas para la salud y ambientalmente sustentables (Molina, 2022). Estas tendencias han dado origen al consumo mundial de más de mil variedades de HCS generando una industria multimillonaria que se extiende globalmente, por lo que el cultivo y aprovechamiento sustentable de HCS ofrecen una alternativa ideal para unir sabor, economía y conservación de nuestros bosques (Merino, 2025).

Se estima que a nivel mundial existen de 2.2 a 165.6 millones de especies pertenecientes al reino *Fungi*, de las cuales se han reportado 2,300 como hongos comestibles o medicinales (Reséndiz, 2023). México es uno de los principales centros de diversidad biocultural y genética respecto a hongos comestibles a nivel mundial, se estima que se albergan cerca de 200,000 especies, de estas se ha identificado 450 especies comestibles que se comercializan en mercados locales o ferias micológicas en temporadas de lluvia y sirven como un ingreso adicional a las comunidades más marginadas (Pérez, 2021; Reséndiz, 2023). Sin embargo, a pesar de que la micofagia o el consumo de hongos está muy arraigado en la cultura popular del país, sólo se ha explorado la composición química y actividad biológica de 21 especies (Perete, 2023; Reséndiz, 2023). Los hongos más cultivados son las setas (*Pleurotus spp*) y el champiñón (*Agaricus bisporus*), este último es más consumido en Europa, Norteamérica y México (Merino, 2025); cabe mencionar que estas especies no destacan sensorialmente en comparación con los HCS, esto se ve reflejado en grupos originarios o mestizos de México donde iniciativas de producción a pequeña escala de las especies setas y champiñón fueron rechazados por no tener las características sensoriales que las nativas de la región (Moreno, 2014).

Hidalgo cuenta con 126 especies de HCS, colocándolo en el cuarto lugar de entidades mejor estudiadas a nivel nacional, después del Estado de México, la Ciudad de México y Veracruz. En el municipio de Acaxochitlán, Hidalgo los HCS se comercializan en su mayoría

por mujeres, denominadas nanacateras, quienes se encargan de la recolección e identificación de especies comestibles y venenosas durante la temporada de lluvias entre los meses de julio a septiembre (Montes, 2024). De las especies registradas *Hypomyces lactifluorum* L. (trompa de cochi) y *Lactarius indigo* s.l. (hongo azul) destacan ser frecuentemente ocupadas en los platillos tradicionales de la región a causa de su disponibilidad y propiedades sensoriales pues *H. lactifluorum* tiene textura carnosa y un distintivo sabor a marisco, además de un color anaranjado brillante o anaranjado rojizo. Es importante mencionar que *H. lactifluorum* es un hongo parásito microscópico que infecta a especies de los géneros *Russula* y *Lactarius* y en el caso de *Russula* sus propiedades sensoriales cambian antes de ser infectado pues tiene un sabor picante y consistencia frágil (Escutia, 2022). Por otra parte, *L. indigo* s.l. se ha recolectado en los estados de Chiapas, Hidalgo y Querétaro, contiene altos niveles de Vitamina B₂ (>300 µg 100 g⁻¹ DW, dry weight) (Pacheco, 2024; Reséndiz, 2023); es uno de los hongos silvestres mejor cotizados dentro de la gastronomía gourmet, por su llamativo color azul y sus compuestos fenólicos como ácido clorogénico, ácido *p*-hidroxibenzoico, kaempferol y miricetina, los cuales tienen actividad antioxidante, antibacteriano, antiinflamatorio y anticancerígeno (Monter, 2021; Navarro, 2024). Sumado a esto, ambas especies de hongos conservan más del 50% de sus propiedades antioxidantes después de un procesamiento térmico (Espejel, 2021). No se ha reportado alguna restricción o indicación previa a su consumo en ambas especies únicamente indicaciones de lavado, como retirar residuos de tierra y que la mayoría de las personas prefieren comer el hongo completo, además de que *L. indigo* s.l. suele comerse en caldo y *H. lactifluorum* se le retira la piel y posteriormente se lava (Vázquez, 2023).

La seguridad de los alimentos es un aspecto de observancia obligatoria y la evaluación de éstos involucra desde análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales; éste último



Artículo de investigación

López-Martínez et al., 2025

permite medir y entender las percepciones sensoriales de los consumidores respecto a diversos atributos como sabor, textura, aroma y apariencia. Este tipo de análisis adquiere una relevancia para innovar nuevos productos de hongos en el mercado global, ya que están emergiendo como alimentos del futuro y una alternativa a la carne u otros productos de origen vegetal y de esta forma potenciar el consumo (García, 2023; Oh, 2024). El objetivo de este trabajo fue generar los descriptores sensoriales específicos de estos dos HCS, *H. lactifluorum* y *L. indigo s.l.*, recolectados en los bosques del municipio de Acaxochitlán en el estado de Hidalgo.

2. Materiales y métodos

2.1 Recolección de muestras

Las muestras de las especies *H. lactifluorum* y *L. indigo s.l.* se adquirieron en el mes de agosto del 2024 en la cabecera municipal del municipio de Acaxochitlán, estado de Hidalgo México, las muestras de setas (*Pleurotus ostreatus*) y champiñón (*Agaricus bisporus*) de la marca Monte Blanco® se compraron en la tienda Walmart®, ubicada en el municipio de Tulancingo, Hidalgo. Las muestras de hongos se lavaron y desinfectaron de acuerdo con la Norma General del Codex para los Hongos Comestibles y sus Productos Codex Stan 38-1981, la cual indica que para su preparación previo al consumo deberá ser inmediatamente después de ser recogidos, además de estar en estado indemne, es decir, no tener ningún tipo de daño o lesión y estar limpios de cualquier tipo de impureza externa, por consiguiente, se lavaron las muestras a chorro de agua por 2 min. para retirar algún residuo, posteriormente se desinfectaron utilizando Microdyn® (microbicida compuesto por plata ionizada o plata coloidal) y siguiendo las indicaciones del fabricante, se sumergieron por 10 min. en una solución con una concentración al 0.04% de plata coloidal (0.4 mL) por L de agua, una vez desinfectados los hongos se pasaron a papel secante para eliminar exceso de agua. Finalmente, se cortaron las muestras en tamaños de 1 cm², para darle homogeneidad

2.2 Preparación de muestras

Se colocaron las muestras codificadas por separado sobre platos redondos blancos, con la misma cantidad y posición para ambas, se proporcionó una botella de agua para que los jueces se limpiaran el paladar entre cada muestra y un cubierto desechable para evitar que las muestras se contaminara al tomarse con las manos evitando algún tipo de aromas que pudieran tener los jueces en las mismas. La aplicación de la prueba sensorial se realizó en el laboratorio de Análisis Sensorial del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Es importante mencionar que toda la preparación del material, así como el lugar donde se aplicó el análisis sensorial fueron variables controladas para que las diferencias que encontraron los jueces fueran propias de las muestras y no debidas al efecto de variables externas a ellas (Severiano, 2019).

2.3 Análisis sensorial check-all-that-apply (CATA)

En el estudio participaron 50 jueces no entrenados, a quienes se les dio una plática previa a la evaluación acerca de cómo se distinguen sensorialmente los atributos. El instrumento utilizado para la prueba fue un listado de atributos por el método CATA (Tabla 1), el cual se realizó mediante una revisión bibliográfica de hongos comestibles de diferentes especies, este listado se clasificó según los siguientes atributos: aroma, sabor, textura y color tanto externo e interno, para la sección de color se implementó una rueda de colores (Beeler, 2024) para la identificación de la coloración interna y externa de la muestra (Figura 1). Los jueces tenían que seleccionar todos aquellos atributos que percibieran para cada una de las muestras (Alvarado, 2015; Arora, 1986; Cano, 2016; Enríquez, 2023; Jiang, 2023; Jordan, 2015; López, 2014; Martínez y col., 2007; Morales, 2024; Moreno, 2016; Palacios, 2015; Schrei, 2019; Zhuang, 2020).

2.4 Análisis estadístico

Para analizar los datos obtenidos con el método CATA (Damiani, 2021) se codificaron como 0 y 1 si seleccionaron el atributo de la carta de



Artículo de investigación

López-Martínez et al., 2025

descriptores (Tabla 1) para cada muestra, posteriormente se utilizó la prueba de Q de Cochran, se empleó el software XLSTAT® 2024.4 Sensory para análisis de los datos; el cual está

diseñada para evaluaciones sensoriales de productos.



Figura 1. Rueda de colores empleados para identificación de la coloración interna y externa de los hongos comestibles en la metodología CATA (Beeler, 2024). Se presenta un marco de colores que se pueden encontrar en los hongos, con el fin de que los jueces puedan identificar los colores de cada muestra.



Artículo de investigación

López-Martínez et al., 2025

Tabla 1. Descriptores sensoriales de hongos comestibles empleados en la metodología CATA.

Color	Apariencia Externa, uniformidad de color, textura aterciopelada, apariencia externa, color diferente al externo.
Aroma	Ahumado, mantecoso/grasa, amaderado, seta fresca, dulce, nueces, metálico, hierba, cítrico, frutal, malta, acre, anís, floral, harina húmeda, descomposición, miel, albaricoque, almendra, terroso, rancio.
Sabor	Fuerte, ligero, insípido, amargo, dulce, salado, umami, mariscos, astringencia, metálico, zanahoria cocida, acre, anís, almendras, nueces, picante, berros, pollo.
Textura en boca	Crujiente, suave, duro, fibroso, polvoriento, carnoso, gelatinoso.

3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos de las cuatro muestras de estudio, que fueron *H. lactifluorum*, *L. indigo s.l.*, *P. ostreatus*, *A. bisporus* se agruparon en tres categorías sensoriales: textura, sabor y aroma (Tabla 1). Se realizó un Análisis de Correspondencias Múltiples (MCA) por pares, mediante el procedimiento de diferencia crítica (Sheskin) para obtener las Tablas 2, 3 y 4 correspondientes a cada categoría (textura, sabor y aroma). En ellas se identifica que atributos tuvieron diferencias significativas entre las muestras, esto con el fin de analizar las relaciones y diferencias entre las mismas. Además, se generaron mapas biplot a partir del MCA para cada categoría de los cuales corresponden a las Figuras 2, 3 y 4.

3.1 Textura

De acuerdo con la Tabla 2 donde se muestran los atributos que presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) de la categoría "Textura" (crujiente, suave, duro, fibroso, polvoriento, carnoso y gelatinoso) para cada muestra. *A. bisporus* tuvo diferencias significativas en los atributos crujiente y suave, además de suave con crujiente, duro, fibroso, polvoriento y gelatinoso, en *H. lactifluorum* se encontraron diferencias significativas en crujiente y suave, *P. ostreatus* se obtuvieron diferencias significativas en crujiente con duro, fibroso y carnoso, mientras que *L.*

indigo s.l. no mostró diferencias significativas, además de que los atributos fibroso, carnoso, duro y suave fueron percibidos en mayor proporción por los jueces en todas las muestras. Estas texturas se deben al contenido de proteínas filamentosas y fibrosas que contienen los hongos comestibles lo que los convierte en una alternativa viable como sustituto de la carne (Moreno, 2001; Singh, 2023). Se debe mencionar que todas las especies presentadas para nuestro análisis contienen proteínas (Loga, 2023; Moreno, 2014; Rodríguez, 2021; Vargas, 2023).

La Figura 2 muestra la información resultante de los descriptores percibidos por los jueces, esta muestra los atributos de la categoría "Textura", previamente mencionados y cuales se acercan más a cada una de las muestras. En el caso de *H. lactifluorum* contiene los atributos de gelatinoso y polvoriento mientras que Manrique (2022) destaca que es de textura carnosa, en *L. indigo s.l.* se acerca al atributo suave y polvoriento lo cual se asemeja con lo mencionado por Lligüisupa (2022) que lo describe con una textura arenosa y que al comerlo las láminas se desintegran en la boca. Para *A. bisporus* al igual que *L. indigo s.l.* se acerca a atributo suave, lo cual se asemeja con textura agradable y jugosidad mencionado por Flores (2024) y, por último, *P. ostreatus* se encuentra entre los atributos fibroso y duro, comparable a grueso y firme descrito por Furci (2007), estas diferencias encontradas se deben a



Artículo de investigación

López-Martínez et al., 2025

que los hongos contienen fibra dietética la cual proporciona propiedades físicas, como textura,

estabilización, emulsión, espesamiento y gelificación (Singh, 2023).

Tabla 2. Prueba Q de Cochran para cada atributo y comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Diferencia crítica (Sheskin), categoría Textura.

Atributos	<i>Agaricus bisporus</i>	<i>Hypomyces lactifluorum</i>	<i>Lactarius indigo s.l.</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i>
Crujiente	0.16 ^a	0.28 ^a	0.18 ^a	0.28 ^a
Suave	0.88 ^b	0.82 ^b	0.68 ^{ab}	0.52 ^a
Duro	0 ^a	0.08 ^{ab}	0.06 ^{ab}	0.16 ^b
Fibroso	0.32 ^a	0.20 ^a	0.40 ^a	0.74 ^b
Polvoriento	0.08 ^a	0.12 ^a	0.10 ^a	0.06 ^a
Carnoso	0.54 ^{ab}	0.54 ^{ab}	0.30 ^a	0.62 ^b
Gelatinoso	0.12 ^a	0.22 ^a	0.12 ^a	0.12 ^a

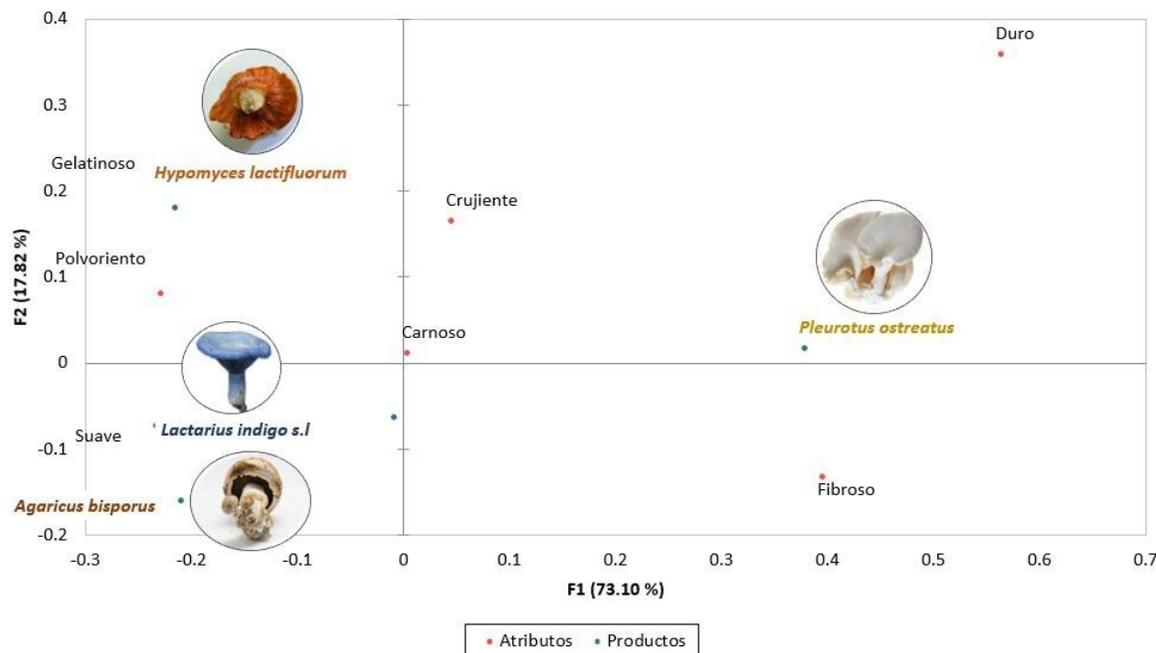


Figura 2 Representación mediante MCA del análisis de atributos de la categoría “Textura” de los datos del método CATA. *L. indigo s.l.* y *A. bisporus* se acerca a atributo suave, *H. lactifluorum* al atributo gelatinoso y *P. ostreatus* al atributo fibroso. Se elaboró con base a los datos sensoriales recolectados.



Artículo de investigación

López-Martínez et al., 2025

3.2 Sabor

En la Tabla 3 muestra los atributos que presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) de la categoría “Sabor” (fuerte, ligero, insípido, amargo, dulce, salado, umami, marisco, astringencia, metálico, zanahoria cocida, acre, anís, almendra, nueces, picante, berro y pollo), para *A. bisporus* tiene diferencia significativa en ligero y umami, además de que el atributo dulce fue percibido por los jueces, esto se compara por Jiang y col. en 2023, que lo reportan con sabores dulces, umami y hongo, en *H. lactifluorum*. La Tabla 3 muestra que los atributos fuerte, ligero y umami comparten diferencias significativas, además los jueces percibieron el sabor a mariscos; el cual lo reporta Escutia (2022), en *L. indigo s.l.* presenta diferencia significativa en los atributos fuerte y amargo; esto es semejante al análisis de Logan (2023), que detectó compuestos fenólicos en *L. indigo s.l.*, de los cuales destacan los alcaloides

los cuales generan sabores amargos para evitar que los animales los consuman (Jiang, 2023; Lustre 2022). Finalmente *P. ostreatus* comparte diferencias significativas en el atributo metálico, esto es consecuencia del contenido mineral que tienen los hongos comestibles, de los que destaca el hierro (Fe) que crea sabores metálicos (Álvarez, 2022; Torres, 2020). Sumado a ello se muestra que *L. indigo s.l.* y *H. lactifluorum* no se percibieron algunos atributos, por ejemplo, picante. En el caso de *H. lactifluorum* y *L. indigo s.l.* los atributos de salado, umami y acre, igualmente la Tabla 3 muestra que los jueces percibieron el atributo dulce en todas las muestras, esto nos indica que el dulzor está presente en los hongos y varía según el estado de madurez y el contenido de azúcar soluble de acuerdo con cada especie de hongo (Jiang, 2023).

Tabla 3 Prueba Q de Cochran para cada atributo y comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Diferencia crítica (Sheskin), categoría Sabor.

Atributos	<i>Agaricus bisporus</i>	<i>Hypomyces lactifluorum</i>	<i>Lactarius indigo s.l.</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i>
Fuerte S	0.16 ^a	0.20 ^{ab}	0.60 ^c	0.44 ^{bc}
Ligero S	0.76 ^c	0.64 ^{bc}	0.32 ^a	0.44 ^{ab}
Insípido S	0.28 ^a	0.34 ^a	0.30 ^a	0.38 ^a
Amargo S	0.06 ^a	0.18 ^a	0.64 ^b	0.18 ^a
Dulce S	0.10 ^a	0.18 ^a	0.02 ^a	0.14 ^a
Salado S	0.04 ^a	0.04 ^a	0 ^a	0.04 ^a
Umami S	0.14 ^b	0.04 ^{ab}	0 ^a	0.08 ^{ab}
Mariscos S	0.20 ^a	0.18 ^a	0.08 ^a	0.18 ^a
Astringencia S	0.08 ^a	0.04 ^a	0.08 ^a	0.14 ^a
Metálico S	0.20 ^{ab}	0.02 ^a	0.36 ^b	0.26 ^b
Zanahoria cocida S	0.14 ^a	0.16 ^a	0.06 ^a	0.10 ^a
Acre S	0.02 ^a	0.04 ^a	0 ^a	0.02 ^a
Anís S	0.04 ^a	0.06 ^a	0.08 ^a	0.02 ^a
Almendras S	0.12 ^a	0.16 ^a	0.06 ^a	0.16 ^a
Nueces S	0.24 ^a	0.20 ^a	0.08 ^a	0.08 ^a
Picante S	0.02 ^a	0 ^a	0.02 ^a	0.06 ^a
Berros S	0.16 ^a	0.06 ^a	0.08 ^a	0.18 ^a
Pollo S	0.10 ^a	0.02 ^a	0.02 ^a	0.10 ^a



Artículo de investigación

López-Martínez et al., 2025

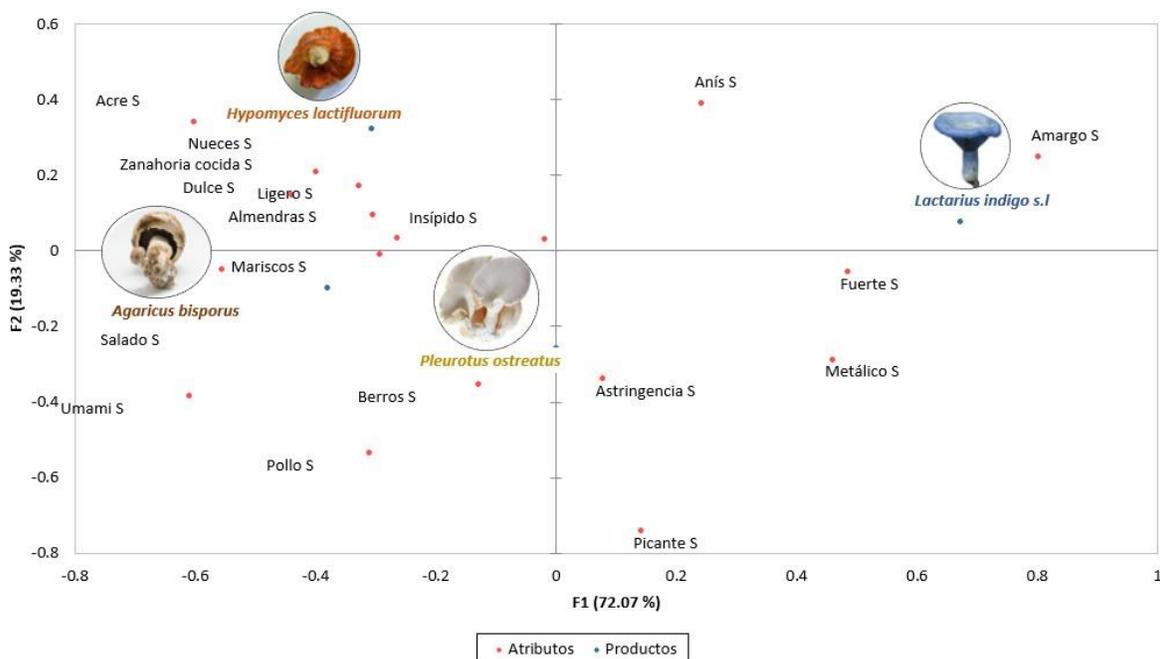


Figura 3. Representación mediante MCA del análisis de atributos de la categoría “Sabor” de los datos del método CATA. *L. indigo s.l.*, se ubica cercano a amargos; *A. bisporus*, a mariscos S y salado S; *H. lactiflorum*, a nueces S y zanahoria cocida S y *P. ostreatus*, a berros. Elaboración con base a los datos sensoriales recolectados.

En Figura 3 se muestra el MCA de la información proporcionada por los jueces al describir los atributos de la categoría “Sabor” que se asociaron más con cada una de las muestras. En el caso de *H. lactiflorum* destacan los atributos: acre, nueces, zanahoria cocida, dulce, ligero y almendras, esto concuerda con lo mencionado por Masterra (2019), que lo menciona con sabores a almendras/frutos secos, azúcar y zanahoria cocida. En el caso de *A. bisporus* se acercó a atributos umami, salado y mariscos. Los hongos presentan contenido de glutamato monosódico (GMS) o umami; el cual es un potenciador de sabor altamente utilizado en la industria alimentaria; pero a pesar de ser una sustancia segura para su ingesta, los consumidores prefieren fuentes naturales que lo contengan; por lo que el contenido de este en los hongos comestibles se vuelve una opción atractiva y en este contexto los champiñones destacan por su riqueza en compuestos umami, *P. ostreatus* se acercó a los atributos berros, pollo

y astringencias (Jiang, 2023; Selani, 2022). De igual forma, Linares (2024) y Paredes (2022) lo presentan con sabor cárnico a pollo y dulzón, añadido a esto el sabor astringente de *P. ostreatus* lo da el contenido de flavonoides que son compuestos fenólicos de acuerdo con (Bulam, 2022; Hernández, 2025; Vázquez, 2012) y por último *L. indigo s.l.* se acercó a sabor amargo y fuerte. Linares (2024) lo presenta con sabor cárnico, ligeramente amargo y astringente, sumado a esto la intensidad de sabor es por el contenido de látex presente en muchas especies de *Lactarius* de acuerdo con Flores (2024).

3.3 Aroma

En la Tabla 4 muestra los atributos que presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) de la categoría “Aroma” (ahumado, mantecoso, amaderado, seta fresca, dulce, nueces, metálico, hierba, cítrico, frutal, malta, acre, anís, floral, harina húmeda, descomposición, miel, albaricoque, almendra, terroso y rancio). En el caso de *A. bisporus*, se



Artículo de investigación

López-Martínez et al., 2025

obtuvo diferencia significativa el atributo terroso, lo cual coincide con lo reportado por Linares (2024) que presenta esta especie con aroma a hierbas y tierra mojada. Por otra parte, *H. lactifluorum* mostró diferencias significativas en anís, lo cual coincide con lo señalado por Linares (2024) y Masterra (2019), quienes lo describen con aroma a chiles secos, tierra mojada y anís. En cuanto a *L. indigo s.l.*, presentó diferencia significativa en terroso, que coincide con Masterra (2019) presenta sabor o aroma que recuerda a la arcilla, ladrillo o tierra. Por otro lado *P. ostreatus* tiene diferencias significativas en

anís, esto se atribuye al contenido de aldehídos, cetonas y pirazinas los cuales son precursores de compuestos aromáticos especiados y que están presentes en esta especie (Martínez, 2023; Tagkouli, 2021). Cabe destacar que en todas las muestras de la Tabla 4 se identificaron entre dos a cinco atributos no percibidos por los jueces. *P. ostreatus* fue la única muestra que presentó cinco atributos no identificados, los cuales fueron: cítrico, descomposición, miel, albaricoque y rancio.

Tabla 4. Prueba Q de Cochran para cada atributo y comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Diferencia crítica (Sheskin), categoría Aroma.

Atributos	<i>Agaricus bisporus</i>	<i>Hypomyces lactifluorum</i>	<i>Lactarius indigo s.l.</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i>
Ahumado A	0.26 ^a	0.12 ^a	0.14 ^a	0.14 ^a
Mantecoso A	0.10 ^a	0.12 ^a	0.06 ^a	0.10 ^a
Amaderado A	0.32 ^a	0.28 ^a	0.18 ^a	0.22 ^a
Seta fresca A	0.56 ^a	0.60 ^a	0.60 ^a	0.64 ^a
Dulce A	0.04 ^a	0.10 ^a	0.06 ^a	0.06 ^a
Nueces A	0.04 ^a	0.04 ^a	0.04 ^a	0.08 ^a
Metálico A	0.08 ^a	0.08 ^a	0.20 ^a	0.08 ^a
Hierva A	0.30 ^a	0.32 ^a	0.48 ^a	0.34 ^a
Cítrico A	0.02 ^a	0 ^a	0.04 ^a	0 ^a
Frutal A	0 ^a	0.06 ^a	0.02 ^a	0.02 ^a
Malta A	0.04 ^a	0 ^a	0 ^a	0.02 ^a
Acre A	0.02 ^a	0.02 ^a	0.02 ^a	0.02 ^a
Anís A	0.02 ^{ab}	0.02 ^{ab}	0 ^a	0.10 ^b
Floral A	0.04 ^a	0.14 ^a	0.12 ^a	0.12 ^a
Harina Húmeda A	0.06 ^a	0.20 ^a	0.16 ^a	0.14 ^a
Descomposición A	0.02 ^a	0.06 ^a	0.04 ^a	0 ^a
Miel A	0 ^a	0.02 ^a	0 ^a	0 ^a
Albaricoque A	0.02 ^a	0.04 ^a	0.02 ^a	0 ^a
Almendra A	0.06 ^a	0 ^a	0.02 ^a	0.08 ^a
Terroso A	0.56 ^b	0.30 ^a	0.52 ^{ab}	0.32 ^{ab}
Rancio A	0 ^a	0.06 ^a	0.06 ^a	0 ^a



Artículo de investigación

López-Martínez et al., 2025

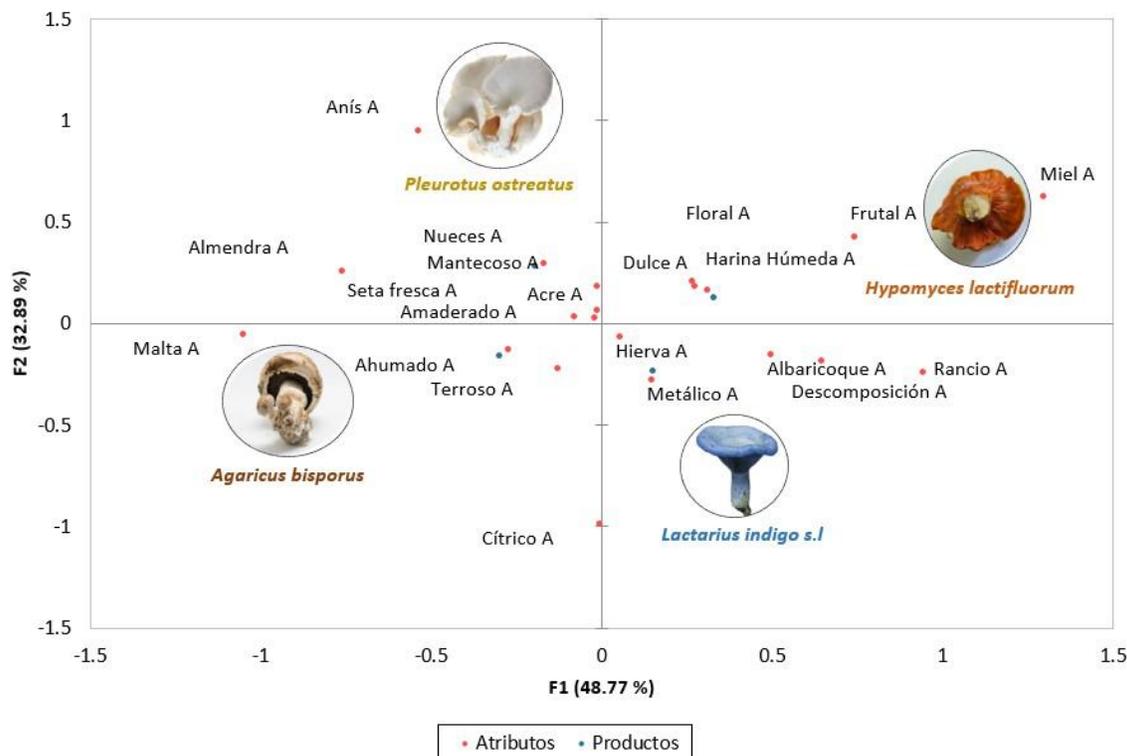


Figura 4 Representación mediante MCA del análisis de atributos de la categoría “Aroma” de los datos del método CATA. *L. indigo s.l.* se acerca a metálico A, *A. bisporus*, con ahumado A, *H. lactifluorum*, con frutal A, miel A y harina húmeda A; *P. ostreatus*, con anís A y nueces A. Se elaboró con base a los datos sensoriales recolectados.

En la Figura 4 muestra los atributos en la categoría “Aroma”, previamente mencionados, que más se acercan a las muestras analizadas. En *P. ostreatus* se acercó a nueces, mantecoso, acre, seta fresca, amaderado, anís y almendra, esta especie contiene compuestos aromáticos como el ácido oleico y linoleico, los cuales también se encuentran en la mantequilla, lo que explica el aroma identificado por los jueces, según Gündoğdu (2024). Además, describen la especie con aroma fúngico, tierra mojada y dulzón (Jiang, 2023; Linares, 2024; Paredes, 2022). En cuanto a *A. bisporus*, se acercó a ahumado, terroso y cítrico; se debe a que la muestra contiene los siguientes compuestos aromáticos 2-metilpentadecano, heptadecano y copaeno los cuales son precursores de compuestos volátiles cítricos, dulces, grasos, cerosos y leñosos (Feng,

2021; Linares,2024); también se ha identificado aroma a hierbas y tierra mojada. En *L. indigo s.l.* se acerca a hierba, metálico, albaricoque, rancio y descomposición, esto concuerda con aroma sutil a dulce, espinaca o hierbas de hojas verdes, piedra mojada o mohos, metálico u óxido descrito por Linares (2024) y Masterra (2019). Finalmente, en *H. lactifluorum* se acercó a miel, frutal, harina húmeda, floral, y dulce; Linares (2024) y Masterra (2019) describen que la especie contiene aromas a tierra mojada, miel de abeja, azúcar blanca procesada, humedad y rosas o florares.

4. Conclusiones

El presente estudio logró caracterizar sensorialmente a dos especies de hongos comestibles silvestres endémicos de



Artículo de investigación

López-Martínez et al., 2025

Acaxochitlán, Hidalgo (*Hypomyces lactifluorum* y *Lactatirus indigo* s.l.), mediante el análisis de atributos de textura, sabor y aroma mediante el método CATA. Los resultados mostraron que ambas especies presentan perfiles sensoriales distintos y un alto potencial como ingredientes gastronómicos únicos. Estos datos representan uno de los principales aportes de esta investigación al contribuir a la valorización de la micogastronomía regional y a la generación de propuestas culinarias que promuevan la conservación del patrimonio biocultural local. Asimismo, se identificó que estas especies poseen características comparables con los hongos cultivados como *Agaricus bisporus* y *Pleurotus ostreatus*, lo que refuerza su viabilidad como alternativas sustentables y nutritivas al consumo de carne, debido a su contenido de compuestos proteicos, vitaminas, minerales y fenólicos.

Este trabajo abre camino a futuras investigaciones en el ámbito de la gastronomía sostenible y el desarrollo de alimentos funcionales a base de hongos endémicos mexicanos.

Declaraciones y afirmaciones

Fondos: Los autores declaran que no recibieron financiamiento para este trabajo.

Conflicto de interés: Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Aprobación de ética: No aplica.

Disponibilidad de los datos: Contactar a los autores en caso de requerir las bases de datos de esta investigación.

Contribución de los autores:

María de los Ángeles López-Martínez: Investigación, Redacción- borrador original, Supervisión.

Paul Misael Garza-López: Redacción – revisión y edición, Validación.

Víctor León Espitia López: Análisis formal, Supervisión, Redacción- revisión y edición.

Josefa Espitia López: Recursos, Supervisión, Redacción – revisión y edición

Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final del artículo.

Referencias

1. Alvarado-Castillo, G., Mata, G., & Benítez-Badillo, G. (2015). Importancia de la domesticación en la conservación de los hongos silvestres comestibles en México. *Bosque (Valdivia)*, 36(2), 151-161. DOI: 10.4067/S0717-92002015000200001
2. Álvarez-Serrano, I. M., Mustelier-Casola, D., González-Zambrano, J. M., & Espinosa-Nieto, L. (2022). Potencialidades de inclusión de *Pleurotus ostreatus* en alimentos cárnicos. *Revista Científica Arbitrada de Investigación en Comunicación, Marketing y Empresa REICOMUNICAR*, 5 (9), 233-245. DOI: 10.46296/rc.v5i9.0046
3. Arora, D. (1986). *Mushrooms demystified: A comprehensive guide to the fleshy fungi*. Ten Speed Press.
4. Beeler, J. (2024). *The Mushroom Color Atlas: A guide to dyes and pigments made from fungi*. Chronicle Books.
5. Bulam, S., Üstün, N., & Pekşen, A. (2022). Oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) as a healthy ingredient for sustainable functional food production. *Mantar Dergisi*, 13(3), 131–143.
6. Cano-Estrada, A., & Romero-Bautista, L. (2016). Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres. *Revista Chilena de Nutrición*, 43(1), 75–80. DOI: 10.4067/S0717-75182016000100011
7. Damiani, C., Amorim-Alves, K., & Dutcosky-Deboni, S. (2021). Check all that apply: A



Artículo de investigación

López-Martínez et al., 2025

- técnica amplamente utilizada em análise sensorial. In *Ciências agrárias: O avanço da ciência no Brasil* (Vol. 1, cap. 14). Editora Científica. DOI: [10.37885/210404110](https://doi.org/10.37885/210404110)
8. Enríquez Pico, J., Ramos Jaramillo, F., & Abril Carvajal, L. (2023). Evaluación de tres métodos de secado en champiñones variedad blanco (*Agaricus bisporus*). *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 5(4). DOI: [10.59169/pentaciencias.v5i4.645](https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i4.645)
 9. Escutia-Manrique, R., Garibay-Orijel, R., & Ramírez-Terrazo, A. (2022). *Hypomyces lactifluorum* [Infografía]. *Hongos Comestibles y Tóxicos de México*, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://hongoscomestiblesytoxicos.ib.unam.mx/imagenes/infografias/hypomyces%20lactifluorum.png>
 10. Feng, T., Yang, M., Ma, B., Zhao, Y., Zhuang, H., Zhang, J., & Chen, D. (2021). Volatile profiles of two genotype *Agaricus bisporus* species at different growth stages. *Food Research International*, 140, 109761. DOI: [10.1016/j.foodres.2020.109761](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109761)
 11. Flores Arroyo, J. E., & Villa Sari, M. E. (2024). *Análisis de la comercialización de champiñones frescos Agaricus bisporus en los principales supermercados de la ciudad de Cuenca-2023* [Tesis de licenciatura, Universidad de Cuenca]. <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/0860a43e-0683-4398-a762-0151e63c4c87/content>
 12. Furci, G. (2007). *Fungi Austral: Guía de campo de los hongos más vistosos de Chile*. CORMA.
 13. García Reyes, N. (2023). *Documentación de los hongos que se venden en el tianguis de San Pedro, Nicolás Romero* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000837829/3/0837829.pdf>
 14. García-Garvía, J. (2023). *El análisis sensorial de alimentos como elemento transversal de los módulos profesionales de los ciclos formativos de la familia profesional agraria* [Tesis de maestría, Universidad de Murcia]. <https://hdl.handle.net/11000/32961>
 15. Gündoğdu, E., & Beşer, M. (2024). Determination of fatty acid, cholesterol, alpha-tocopherol, and aroma components of traditionally and commercially produced Trabzon butters. *Heliyon*, 10(16), e35656. DOI: [10.1016/j.heliyon.2024.e35656](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35656)
 16. Hernández-Carapia, M. Á., Verde-Calvo, J. R., & Malpica-Sánchez, F. P. (2025). La química del vino tinto: compuestos responsables del color, aroma y sabor. *Revista de divulgación científica iBIO*, 7(2), 240. <https://revistaibio.com/ojs33/index.php/main/article/view/240/225>
 17. Jiang, C., Duan, X., Lin, L., Wu, W., Li, X., Zeng, Z., Luo, Q., & Liu, Y. (2023). A review on the edible mushroom as a source of special flavor: Flavor categories, influencing factors, and challenges. *Food Frontiers*, 4, 1561–1577. DOI: [10.1002/fft2.263](https://doi.org/10.1002/fft2.263)
 18. Jordan, P. (2015). *Field guide to edible mushrooms of Britain and Europe*. Bloomsbury Natural History.
 19. Linares Colmenares, L. G., & Ramírez Terrazo, A. (2024). *Diccionario gastronómico de hongos mexicanos*. Elefanta Editorial.
 20. López, C. F. (2014). Descripción microscópica de ejemplares del género *Lactarius* de las secciones *Uvidus* y *Zonarii* en Guatemala [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala].
 21. Lustre Sánchez, H. (2022). Los superpoderes de las plantas: Los metabolitos secundarios



Artículo de investigación

López-Martínez et al., 2025

- en su adaptación y defensa. *Revista Digital Universitaria*, 23(2). DOI: 10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.2.10
22. Martínez Álvarez, O. L., Ardila Castañeda, M. P., Ocampo Arango, C. M., Álzate Tamayo, L. M., Bedoya Vergara, C., Monsalve Fonnegra, Z. I., & Lizarazo Medina, P. X. (2023). Cacao antioqueño: La sinfonía microbiana, química y sensorial: Un deleite de aromas y sabores de la mano del cuidado y cultivador. Universidad de Antioquia y Universidad Corporación Universitaria Medellín.
 23. Martínez-Carrera, D., Morales, P., Sobal, M., Bonilla, M., & Martínez, W. (2007). México ante la globalización en el siglo XXI: el sistema de producción consumo de los hongos comestibles. En J. E. Sánchez, D. Martínez-Carrera, G. Mata, & H. Leal (Eds.), *El cultivo de setas Pleurotus spp. en México* (Cap. 6.1, pp. 1-20). Ecosur-Conacyt.
 24. Merino Galindo, I. V., & Márquez Molina, O. (2025). Conocimiento tradicional de hongos comestibles en comunidades indígenas del mundo y límites planetarios, revisión sistemática actual. *Revista Construyendo Paz Latinoamericana*, 10(21). DOI: 10.35600/25008870.2025.21.0368.1
 25. Molina Castillo, S., Espinoza Ortega, A., Thomé Ortiz, H., Moctezuma Pérez, S., & Martínez García, C. G. (2022). Los hongos comestibles silvestres: Entre las neofilias y neofobias de los consumidores mexicanos. *Bosque (Valdivia)*, 43(3), 231–241. DOI: 10.4067/S0717-92002022000300231
 26. Monter-Camacho, I., Ramírez-Terrazo, A., & Garibay-Orijel, R. (2021). *Lactarius Indigo s.l.* [Infografía]. Hongos comestibles y tóxicos de México, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://hongoscomestiblesytoxicos.ib.unam.mx/imagenes/infografias/Lactarius-indigo-sl.png>
 27. Montes-Rodríguez, L. F., Romero-Bautista, L., & López Ramírez, M. (2024). Algunos aspectos etnoecológicos de los hongos comestibles silvestres en el mercado de Acaxochitlán, Hidalgo. *Pädi Boletín de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 13. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10158653>
 28. Morales Tovar, A., Rangel Patiño, C., Cordero Olivo, M., Villanueva Mendoza, E., Alvarado Vázquez, M., & Salcedo Martínez, S. (2024). Hongos medicinales de Nuevo León. *Revista Planta*, 16(28). <https://revistaplanta.uanl.mx/index.php/p/article/view/156>
 29. Moreno Arroyo, B., Gómez Fernández, J., & Pulido Calmaestra, E. (2001). *Setas comestibles de Andalucía: Manual de identificación* (2.ª ed.). Editorial Jabalcz.
 30. Moreno Fuentes, Ángel. (2014). UN RECURSO ALIMENTARIO DE LOS GRUPOS ORIGINARIOS Y MESTIZOS DE MÉXICO: LOS HONGOS SILVESTRES. *Anales De Antropología*, 48(1), 241–272. DOI: 10.1016/S0185-1225(14)70496-5
 31. Moreno-Cuevas, J. (2016). Los hongos: Héroes y villanos de la prosperidad humana. *Revista Digital Universitaria*, 17(9). <https://www.revista.unam.mx/vol.17/num9/art69/art69.pdf>
 32. Palacios-Romero, I. (2015). *Extracción y caracterización de polisacáridos y estudio del perfil de compuestos volátiles en hongos comestibles* [Tesis doctoral, Universidad de Valladolid].
 33. Paredes Lligüisupa, J. J. (2022). *Alternativas de uso de los hongos secos (Suillus luteus) en cocina de autor, para la “Señora Pizza Restaurante” de la ciudad de Guaranda* [Tesis de licenciatura, Universidad Regional Autónoma de los Andes].



Artículo de investigación

López-Martínez et al., 2025

34. Pérez-Moreno, J., Martínez-Reyes, M., Hernández-Santiago, F., Ramírez-Carbajal, E., & Luciano-Dorado, K. I. (2021). Innovación para la revalorización y conservación del patrimonio biocultural de los hongos comestibles y medicinales de México. *Agro-Divulgación*, 1(1). DOI: [10.54767/ad.v1i1.27](https://doi.org/10.54767/ad.v1i1.27)
35. Reséndiz, T. (2023). *Propiedades nutricionales y potencial nutracéutico de hongos comestibles del municipio de Zaragoza, Puebla* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Chapingo].
36. Schrei Godoy, E. A. (2019). *Protocolo de conservación de ingredientes regionales en Guatemala para su explotación comercial en la alta restauración* [Trabajo de fin de máster, Mondragon Unibertsitatea].
37. Selani, M. M., Ramos, P. H. B., Patinho, I., França, F., dos Santos Harada-Padermo, S., Contreras-Castillo, C. J., & Saldaña, E. (2022). *Consumer's perception and expected liking of labels of burgers with sodium reduction and addition of mushroom flavor enhancer*. *Meat Science*, 185, 108720. DOI: [10.1016/j.meatsci.2021.108720](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108720)
38. Severiano-Pérez, P. (2019). *¿Qué es y cómo se utiliza la evaluación sensorial?* *Inter disciplina*, 7(19), 47-68. DOI: [10.22201/ceiich.24485705e.2019.19.70287](https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2019.19.70287)
39. Singh, U., Tiwari, P., Kelkar, S., Kaul, D., Tiwari, A., Kapri, M., & Sharma, S. (2023). Edible mushrooms: A sustainable novel ingredient for meat analogs. *Efood*, 4(6), e122. DOI: [10.1002/efd2.122](https://doi.org/10.1002/efd2.122)
40. Tagkouli, D., Bekiaris, G., Pantazi, S., Anastasopoulou, M. E., Koutrotsios, G., Mallouchos, A., Zervakis, G. I., & Kalogeropoulos, N. (2021). *Volatile profiling of Pleurotus eryngii and Pleurotus ostreatus mushrooms cultivated on agricultural and agro-industrial by-products*. *Foods*, 10(6), 1287. DOI: [10.3390/foods10061287](https://doi.org/10.3390/foods10061287)
41. Torres-Silva, S., Tapia-Calvopiña, I., Goetschel-Gomez, L., & Pazmiño-Salazar, E. (2020). Análisis físico-químico e influencia de los minerales disueltos en el sabor del agua potable, de las principales plantas de tratamiento de Quito. *Enfoque UTE*, 11(4), 57-70. DOI: [10.29019/enfoqueute.v11n4.533](https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v11n4.533)
42. Vázquez-Flores, A. A., López-Díaz, J. A., Wall-Medrano, A., & De La Rosa, L. A. (2012). *Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo*. *Tecnociencia Chihuahua*, 6(2), 84-93. DOI: [10.54167/tch.v6i2.678](https://doi.org/10.54167/tch.v6i2.678)
43. Vázquez-Jiménez, J. M. (2023). *Conocimiento local acerca del uso de hongos silvestres en El Porvenir, Oxchuc, Chiapas* [Tesis de licenciatura, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas].
44. Zhang, L., Zhang, M., & Mujumdar, A. S. (2021). Development of flavor during drying and applications of edible mushrooms: A review. *Drying Technology*, 39(11), 1685–1703. DOI: [10.1080/07373937.2021.1875231](https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1875231)
45. Zhuang, J., Xiao, Q., Feng, T., Huang, Q., Ho, C., & Song, S. (2020). Comparative flavor profile analysis of four different varieties by instrumental and sensory techniques. *Food Research International*, 136, 109485. DOI: [10.1016/j.foodres.2020.109485](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109485)



Anexos

GUÍA PARA AUTORES

Los autores que sometan artículos a la revista deberán incluir una carta de exposición de motivos donde expongan la congruencia de su manuscrito con la revista, así mismo, en la misma carta, deben exponer que los autores están de acuerdo con las políticas editoriales de la revista.

Tipos de publicación

Artículos de investigación: Estos deberían incluir de forma completa, clara y concisa el estado del arte, metodología y los hallazgos experimentales obtenidos por el autor (o grupo de autores).

Artículos de revisión: Este tipo de publicación deberá ser producto de una rigurosa revisión bibliográfica y, como fruto de ella debe ofrecer una clara prospectiva del tema. La extensión deberá ser entre las 5000 y 15000 palabras (incluyendo bibliografía).

Contribuciones cortas: Esas serán aceptadas cuando se consideren un avance considerable de un hallazgo experimental y, por lo tanto, se hace de forma preliminar. Este tipo de contribución no debe exceder las 3000 palabras. También son aceptables artículos de revisión cortos (mini review) y estos no deben exceder las 5000 palabras (incluyendo bibliografía).

Artículos de divulgación: Se podrán abordar temas acordes a alguna de las áreas de la revista, su redacción deberá ser orientada hacia el público en general. Este tipo de contribución no debe exceder las 5000 palabras.

Lenguaje

La Mexican Journal of Technology and Engineering aceptará indistintamente contribuciones en español e inglés. Investigadores con lengua materna diferente al inglés, deben presentar un certificado de revisión emitido por alguna agencia de servicio de traducción y corrección de estilo.

Envío de manuscritos

Para enviar manuscritos a la revista es necesario que uno de los autores sea designado como autor de correspondencia. La dirección postal completa y correo electrónico debe señalarse dentro del manuscrito sometido. El autor de correspondencia deberá asegurarse de que el manuscrito sometido cumpla con todos los requerimientos señalados en la guía para autores y asegurarse de tener los siguientes documentos antes del envío:

- El Archivo en Word del manuscrito.
- Archivos individuales de las imágenes utilizadas en el manuscrito en formato JPG o TIFF.
- Archivo JPG o TIFF con el resumen gráfico (opcional).



Anexos

- En caso de utilizar recursos visuales provenientes de otras fuentes debe incluir una carta de permiso para el uso del material de los autores originales o de la editorial responsable.
- Carta de presentación del manuscrito dirigida al editor.

Todos los archivos deberán enviarse al correo electrónico editorial@mexicanjournalte.com. Las notificaciones relacionadas con la decisión del editor y el proceso de revisión serán enviadas al correo electrónico del autor de correspondencia.

Árbitros

En todos los casos los manuscritos sometidos serán arbitrados de forma independiente. Para ello, los autores pueden enviar junto con el documento sometido, un escrito donde sugieran hasta tres árbitros; proporcionando, el nombre del investigador, adscripción y correo electrónico.

Revisión por pares

La revista opera con un proceso de revisión de doble ciego. Todas las contribuciones serán revisadas por el editor de área y, una vez determinada la idoneidad del escrito sometido, se enviará para su revisión a un mínimo de dos revisores expertos quienes evaluarán la calidad científica. El editor del área será el responsable de la decisión final (aceptación o rechazo) de cada manuscrito.

Estructura y formato de las contribuciones

Aspectos generales

Todas las contribuciones que se propongan para su publicación en la *Mexican Journal of Technology and Engineering* deberán ser escritas a doble espacio (incluyendo tablas, figuras y referencias) y, usando Calibri (cuerpo), tamaño 11 en todo el manuscrito. Los márgenes en todos los costados serán de 2.5 cm. Los renglones deben estar numerados (con numeración consecutiva) en todo el manuscrito.

Los artículos deben estar divididos en secciones y subsecciones del artículo deben estar claramente definidas y debidamente numeradas (secciones: 1, 2, 3, ...; subsecciones: 1.1, 1.2, 1.3...). Los apartados básicos de la estructura principal del manuscrito se definen a continuación:



Anexos

Página de encabezado

Título. El título debe estar redactado en español e inglés. Deberá ser breve (20 palabras o menos), conciso e informativo, reflejando de forma sustanciosa el contenido de la contribución. Colocar el título en la página de encabezado. Evitar las abreviaciones, símbolos y fórmulas a medida de lo posible. Cuando sea el caso, nombres científicos deben escribirse en itálicas.

Lista de autores. Los autores deben enlistarse uno por uno colocando en renglones separados el nombre del autor (nombre y apellido), su afiliación, correo electrónico y ID-ORCID. No colocar grados académicos ni cargos laborales.

Las afiliaciones de cada autor deben especificarse colocando el departamento, la institución, estado, país y código postal.

Dentro del listado señalar claramente al autor de correspondencia colocando un asterisco en forma de superíndice al final de su nombre.

Secciones del manuscrito

Resumen. Debe ser redactado en español e inglés, con un máximo de 300 palabras de extensión. Debe estar redactado en el idioma en el que está escrito el artículo.

Palabras clave. Incluir términos que faciliten la búsqueda del artículo en línea, se aceptarán de tres a seis términos simples o compuestos, con mayúscula sólo los nombres propios, separados por comas, con punto al final de la última. Se ubicarán abajo del resumen alineadas al margen izquierdo del texto.

Introducción. Redactar el estado del arte que sustente la relevancia de la investigación y establecer de forma clara los objetivos del artículo. Esta sección no debe contener subsecciones.

Materiales y métodos. Redactar de forma detallada los procedimientos utilizados en el trabajo experimental y, en el caso de realizar procedimientos provenientes de otras fuentes de información, referenciarlos adecuadamente.

Resultados y discusión. Se presentarán los hechos derivados de la aplicación de las metodologías descritas, ordenados de manera lógica y objetiva. Los resultados deben ser descritos de forma clara y precisa, sin recurrir a la repetición de datos de tablas y figuras. En la discusión, se debe interpretar la relevancia de los resultados obtenidos y su comparación con la literatura publicada.

Conclusiones. Deben presentarse de forma categórica, breve y precisa, mencionando las aportaciones específicas al conocimiento con base en los resultados más relevantes del manuscrito.

Agradecimientos. En caso de que los autores lo consideren adecuado, en esta sección podrán reconocer a personas o instituciones que financiaron, asesoraron o auxiliaron en la investigación.



Anexos

Declaraciones y afirmaciones. En esta sección se deben colocar las siguientes declaraciones por separado:

- *Fondos:* Colocar la fuente de financiamiento de su investigación. Si los autores no recibieron financiamiento pueden colocar “Los autores declaran que no recibieron financiamiento para este trabajo”.
- *Conflicto de interés:* Colocar si existen intereses financieros o no financieros relacionados directa o indirectamente con el trabajo sometido. En caso de no existir alguno se puede colocar “Los autores declaran que no existe conflicto de interés”.
- *Aprobación de ética:* Aquellas investigaciones que involucren humanos o animales como objeto de estudio deben incluir una declaración que confirme que el estudio fue aprobado (o se le otorgó una exención) por el comité de ética de investigación institucional y/o nacional correspondiente (incluido el nombre del comité de ética y el número de referencia, si está disponible). En el caso de investigaciones que involucran animales, sus datos o material biológico, los autores deben proporcionar información detallada sobre el tratamiento ético de sus animales en su presentación. En el caso de que la investigación no involucre humanos o animales como objeto de estudio se puede colocar “No aplica”.
- *Disponibilidad de los datos:* Los autores deben declarar sobre la disponibilidad de los datos incluyendo información sobre dónde se pueden encontrar los datos que respaldan los resultados informados en el artículo. Pueden colocar hipervínculos de repositorios de los datos o sugerir que se contacte a los autores colocando la leyenda “Contactar a los autores en caso de requerir las bases de datos de esta investigación”
- *Contribución de los autores:* Incluya la contribución específica de cada autor para la investigación y elaboración del manuscrito. Información acerca de la contribución de los autores puede consultarse en <https://credit.niso.org/>.

Referencias. Las referencias deben presentarse en formato APA.

Tablas. Colocar las tablas al final del manuscrito (como texto editable), en orden de aparición y debidamente numeradas. Las tablas deben de referenciarse en el manuscrito. Colocar encima de la tabla su descripción.

Figuras. Las figuras deben referenciarse en el manuscrito. Colocar al final del manuscrito los pies de imagen y enviar las imágenes en archivos independientes en formato JPG o TIFF. Las imágenes deben contener de 300 a 1000 dpi.

*NOTA: Por su naturaleza, los artículos de divulgación y de revisión bibliográfica están exentos de las secciones de materiales y métodos y, resultados y discusión. Las secciones y subsecciones del cuerpo del manuscrito son determinadas por los autores.